



Institut Universitaire  
de Technologie  
Aix\*Marseille Université



## Recueil des publications

# Congrès National de la Recherche des IUT 2018 (CNRIUT2018)

7-8 Juin 2018

IUT AIX-MARSEILLE

*Aix-en-Provence, France*

## Accueil de la Directrice de l'IUT d'Aix-Marseille



L'IUT d'Aix Marseille accueille cette année le Congrès National de la Recherche des Instituts Universitaires de Technologies. Ce congrès annuel est un lieu d'échange et de partage pour tous les personnels des IUT concernés par les aspects de recherche, qu'elle soit appliquée ou fondamentale. Regroupant ainsi plus de 150 personnes issues des domaines tertiaires et secondaires, il favorise chaque année des échanges scientifiques et suscite les collaborations.

L'implication forte des enseignants-chercheurs des IUT dans les activités de recherche représente un atout pour les IUT aussi bien en matière de développement des formations, que pour le transfert de technologie en liaison avec les dynamiques territoriales.

Je remercie l'ensemble des participants à ce congrès et souhaite une belle réussite à cette manifestation.

Sophie Lengrand-Jacoulet

## Rendez-vous annuel de la Recherche du réseau des IUT à Aix en Provence

Chères et Chers Collègues,

Le Congrès National de la Recherche des IUT se déroule cette année à Aix-en-Provence et nous sommes très heureux de vous y accueillir.

L'esprit du CNRIUT se fonde sur le partage des connaissances à travers la diversité des thématiques couvertes par les Enseignants-Chercheurs de nos Instituts. Tous les secteurs de la recherche en IUT sont présents et valorisés. Les conférences orales et les séances de posters sont articulées autour de 6 conférences plénières. Pour permettre les échanges interdisciplinaires, un effort pédagogique vous a été demandé afin de rendre accessible vos contributions à l'ensemble de l'auditoire.

Nous vous souhaitons un excellent séjour parmi nous et vous remercions de votre venue et de vos contributions à ce rendez-vous annuel. Soyez créatifs et heureux !

Le Comité d'organisation

## Les Thématiques

-  **Chimie – Biologie – Santé**
-  **Energie – Environnement**
-  **Informatique – Robotique – Imagerie – Electronique – Mathématiques**
-  **Matériaux – Mécanique**
-  **Sciences Humaines et Sociales – Lettres – Langues – Communication**
-  **Economie – Gestion - Droit**

## Les Prix décernés

Trois prix seront décernés à l'issue du colloque :

- le prix du **meilleur poster CNRIUT2018**,
- le prix du **meilleur poster « Doctorant » CNRIUT2018**
- le prix de la **meilleure présentation orale « Doctorant » CNRIUT2018**.

Lors des sessions Posters, les participants sont invités à voter pour le poster de leur choix grâce au bulletin de vote « **rose** » en leur possession. Une urne sera placée à l'accueil.

L'équipe du Comité scientifique de l'ADIUT sélectionnera la meilleure communication orale parmi les présentations des Doctorants.

---

## Exposés & plénières

---

# Jeudi 7 Juin

8h30	<b>Accueil Café dans le grand Hall</b>		
9h00	Discours d'inauguration par Madame Sophie Lengrand-Jacoulet, Directrice de l'IUT d'Aix Marseille et Monsieur Rodolphe Dalle, Président de l'ADIUT (Amphi Ouest, salle A)		
9h15	Discours d'ouverture par Madame Dominique Augey, Conseillère Régionale PACA, Adjoint au Maire d'Aix-en-Provence		
9h30	<b>Plénière 1 : Les Enjeux de la Recherche Photovoltaïque.</b> Daniel Lincot, médaille d'Argent du CNRS, CNRS Paris		
10h00	<b>Plénière 2* : Expositions professionnelles et domestiques dans la viticulture, approche ergonomique et anthropologique.</b> Fabienne Goutille, Doctorante IUT de Bordeaux		
10h30	<b>Pause-Café et Session Posters dans le grand Hall – Démonstrateur en salle A020</b>		
11h00	A1 : La logistique événementielle : des opérations à la stratégie. - Une illustration par le festival de Woodstock - Vincent Salaun, IUT de Saint-Nazaire	B1 : Analyses de mélanges complexes en chromatographie bidimensionnelle couplée à la spectrométrie de masse : traitement de données. Myriam Bonose et al., IUT d'Orsay	C1 : Règlement de compte par Twitter interposé : les 30 ans du festival « Chalon dans la rue ». Magali Bigey et al., IUT de Besançon-Vesoul
11h15	A2 : Dyscommunication et langage outillé : Le projet COMM'HANDI. Patrick Abellard et al., IUT de Toulon	B2 : Le packaging dans le commerce électronique : une expérience consommateur à enrichir. François Fulconis et al. IUT d'Avignon	C2* : Génération d'onde sphérique par la technique du « Compressed Balloon » Jérémy Alloul et al., IUT de Bourges
11h30	A3 : Vers un modèle intégré de la PME en hypercroissance. La place centrale de l'entrepreneur Visionnaire. Gilles Guieu et al., IUT d'Aix Marseille	B3 : Quand le numérique devient un objet-frontière entre disciplines de recherche : Cas de la Blockchain dans les démarches de Supply Chain Management et de Marketing. Vichara Kin et al., IUT de St Nazaire	C3* : L'implant « Clothilde » pour soigner des fractures de l'épaule. Thibault Goyallon, IUT d'Annecy
11h45	A4* : Commande non linéaire robuste destinée à un parc hydrolien connecté à un réseau de forte puissance. Fabien Oculi, IUT de Villetaneuse	B4 : Chimie atmosphérique de l'iode de l'échelle moléculaire aux modèles de chimie-transport. Valérie Fèvre-Nollet et al., IUT A de Lille	C4 : Industrie 4.0, 3ème révolution industrielle, transition énergétique, etc. l'accélération des mutations technologiques induira-t-elle une métamorphose de la pédagogie ? Jean Vareille et al., IUT de Brest
12h00	A5* : Développement d'un matériau isolant à base de mycélium. Méryl Lagouin et al., IUT de Tarbes	B5 : Conséquences envisageables de la future loi PACTE sur la gouvernance des entreprises. Jean-Yves Juban, IUT de Valence	C5 : Accessibilité des sites web pour les personnes présentant une incapacité visuelle. Katerin Romeo-Pakker, IUT de Rouen
12h15	<b>Repas au CROUS Les Fenouillères</b>		

# Jeudi 7 Juin

13h40	<b>Session Posters dans le grand Hall – Démonstrateur en salle Ao2o</b>		
14h00	<b>Plénière 3 : De la mise en œuvre d'un projet de conception, développement et déploiement d'un « serious game » centré sur la lutte contre le décrochage des jeunes étudiants.</b> Marc Bidan et al., IUT de Nantes		
14h30	A6 : Comprendre l'échec des politiques publiques d'institutionnalisation-sédentarisation des marchands ambulants : le cas du Maroc. Camal Gallouj et al., IUT de St Denis	B6 : Apollo : Modéliser et Simuler les Systèmes de Production Manufacturiers sans Programmer. Georges Habchi, IUT d'Annecy	C6 : Echographie Ultrasonore des matériaux pour la caractérisation non destructive des structures. Jean-François Chaix et al., IUT d'Aix Marseille
14h45	A7 : Propriétés autour de la Polynômisation Algébrique Aléatoire de Signaux Physiologiques. Christophe Corbier, IUT de Roanne	B7 : Les universités face au nouvel environnement concurrentiel de l'enseignement supérieur. Aziz Mouline, IUT de Rennes	C7 : Etude expérimentale de l'allumage laser de poudres propulsives à risque atténué. Léo Courty et al., IUT de Bourges
15h00	A8 : Comment communiquer afin d'inciter les personnes à se faire vacciner ? L'importance du contrôle perçu. Véronique Plinchon et al. IUT de Tours	B8* : Développement de Micro-Capteurs pour la détection de vapeurs d'éthanol : Application au suivi du taux d'alcoolémie par perspiration cutanée. Bruno Lawson, IUT d'Aix Marseille	C8 : Modélisation des écoulements de subsurface dans un bassin versant forestier : impact de l'échantillonnage sur l'estimation des paramètres par approche inverse. Benjamin Belfort et al., IUT de Strasbourg
15h15	A9* : Elaboration d'un matériau bioactif par greffage des molécules azidées sur des fibres lignocellulosiques. Zineb Khaldi et al. IUT du Limousin	B9 : Les plateformes internet bifaces : vers une forme alternative d'intermédiation dans les canaux de distribution alimentaires ? David Vidal et al. IUT de Montpellier	C9* : Traitement laser de surface de couches de carbone amorphe obtenues par ablation laser pulsée pour applications optoélectroniques et photovoltaïques. François Stock et al., IUT de Haguenau
15h30	<b>Pause-Café et Session Posters dans le grand Hall - Démonstrateur en salle Ao2o</b>		
15h45	<b>Plénière 4 : Le corps dans la littérature post-féministe et « post-libération sexuelle » : un baromètre des normes et idéaux contemporains,</b> Régine Atzenhoffer, IUT R. Schuman de Strasbourg		
16h15	A10 : Projet AROMATIC : vers une amélioration de la qualité sanitaire des produits laitiers dans les pays chauds de manière durable grâce à des conservateurs naturels. Coralie Dupas et al., IUT de Lyon1	B10 : En quoi les portails fournisseurs améliorent-ils la visibilité et la collaboration dans la chaîne logistique ? Fabienne Garcia, IUT de Tarbes	C10 : Ondes de choc en acoustique non linéaire dans l'air : méthodes de mesure optiques et applications. Sébastien Ollivier et al., IUT de Lyon1
16h30	A11 : L'intérêt des outils d'Aide à la Vente pour un vendeur. Christian Dianoux et al., IUT de Nancy Charlemagne	B11* : Removal of Humidity by Ionic Liquid Filter to Protect Gas Sensors. Xueru Yan et al., IUT d'Aix Marseille	C11 : Mécanisme de tenségrité pour la sécurité en robotique. Gérard Poisson, IUT de Bourges
16h45	A12 : La liaison dans les cristaux, Pauling avait raison ! Robert Valls, IUT d'Aix Marseille	B12 : Points massiques, cubiques Bézier rationnelles et leur points singuliers. Jean-Paul Becar et al., IUT de Valenciennes	C12 : Utilisation de fibres naturelles d'origine marine Posidonia Oceanica pour l'isolation thermique des bâtiments – caractérisation thermique des fibres Ons Hamdaoui, IUT de Créteil-Vitry
17h00	A13* : Etude et fabrication d'un réseau de nanoantennes rectifiantes dans le domaine visible, auto-assemblées par des diodes moléculaires. Clément Reynaud, IUT d'Aix Marseille	B 13* : Conception de nanoparticules efficaces pour la décontamination cutanée contre les agents chimiques. Greta Camilla Magnano et al. IUT de Chartres	C 13 : Exploration de profils types d'étudiants de DUT en vue de la personnalisation d'une application d'apprentissage en ligne. Karim Chibout, IUT de Haguenau
17h15	<b>Départ vers l'Hôtel de Caumont pour visiter l'exposition « Nicolas de Staël en Provence » 3 rue Joseph Cabassol, 13100 Aix-en-Provence</b>		
20h00	<b>Apéritif et Dîner de Gala à l'hôtel AQUABELLA 2 rue des étuves - 13100 Aix-en-Provence</b>		

# Vendredi 8 Juin

8h30	<b>Accueil Café dans le grand Hall</b>		
9h00	Discours d'ouverture par le Professeur Yvon Berland, Président de l'Université d'Aix-Marseille (Amphi Ouest, salle A)		
9h30	<b>Plénière 5 : Bilan des partenariats de Recherche entre Airbus Helicopters et l'IUT d'Aix Marseille dans le domaine mécanique.</b> Emmanuel Mermoz, Airbus Marignane		
10h00	<b>A14 : Solutions matériau et mésostructure obtenues par fabrication additive pour l'optimisation d'un dispositif biomimétique / os cortical.</b> Pascal Laheurte et al., IUT de Moselle-Est	<b>B14 : Contribution des outils numériques à l'amélioration des pratiques logistiques des grossistes.</b> Gilles Paché et al., IUT d'Aix Marseille	<b>C14 : Modèle théorique pour estimer les incertitudes de positionnement de l'effecteur d'un robot parallèle à câble plan.</b> J-F. Fontaine et al., IUT d'Auxerre
10h15	<b>A15 : Recommandation de service Web à base de graphes.</b> Fatma Slaimi, IUT d'Aix Marseille	<b>B15 : Extraction simultanée en milieu aqueux assistée par enzymes, de composés bioactifs lipophiles et hydrophiles de marc de framboise, optimisation par plan d'expérience.</b> Naïma Saad et al., IUT du Limousin	<b>C15 : Mise au point de modèles réduits de la consommation énergétique en exploitation des bâtiments pour la contractualisation de Contrats de Performance Energétique.</b> Patrice Joubert, IUT de la Rochelle
10h30	<b>Pause-Café et Session Posters dans le grand Hall, Démonstrateur en salle A020, votes posters.</b>		
11h00	<b>A16* : Recueil et exploitation de données issues de capteurs connectés dans un contexte de télé-monitoring pour bâtiments intelligents.</b> Aida Boudhaouia et al., IUT de Mulhouse	<b>B16 : Le rôle intermédiaire des sièges régionaux dans la multinationalisation des entreprises.</b> Bruno Amann, IUT de Toulouse	<b>C 16* : Commande basée observateur d'un robot à bras articulé.</b> Noussaiba Gasmi et al., IUT de Longwy
11h15	<b>A17 : La vente directe à domicile : une expérience de convivialité marchande.</b> Audrey Bonnemaizon et al., IUT de Créteil Vitry	<b>B17 : Développement de Micro-Capteurs pour la détection de traces de BTEX : Application au suivi de la qualité de l'air.</b> Thierry Contaret et al., IUT d'Aix Marseille	<b>C 17 : Protection du cœur contre l'infarctus par un exercice physique régulier au cours de l'obésité</b> Sandrine Pons et al., IUT de Créteil
11h30	<b>A18* : Méta-matériau parasismique : vers les capes d'invisibilité sismiques.</b> Lucas Pomot et al., IUT d'Aix Marseille.	<b>B18 : Comment évaluer l'état d'un habitat marin par une approche écosystémique ?</b> Sandrine Ruitton et al., IUT d'Aix Marseille	<b>C 18 : Subdivision de courbes de Bézier appliquées aux cyclides de Dupin</b> Karine Serier, IUT de IUT Dijon Auxerre
11h45	<b>A19 : Les préférences individuelles des seniors pour les technologies : quels déterminants ?</b> Samia Benallah et al., IUT de Reims	<b>B19 : Utilisation de matériaux bois intelligents pour la gestion durable des infrastructures.</b> Marianne Perrin et al., IUT de Tarbes	<b>C 19 : Recombinaison et réparation de l'ADN mitochondrial des plantes</b> Clémentine Wallet, IUT Louis Pasteur de Strasbourg
12h00	<b>A20 : Vers une synergie recherche, formation et monde du travail en langue vivante étrangère.</b> Nicole Lancereau-Forster, IUT de Toulouse	<b>B20 : L'évolution du poids des émotions au cours du temps : le cas des expériences des jeux vidéo.</b> Elodie Mallor et al. IUT d'Aix Marseille	<b>C 20 : Nouveaux capteurs électromagnétiques intégrés large-bande pour l'analyse EMC/EMI des architectures d'électronique de puissance</b> Jean-Marc Dienot, IUT de Tarbes
12h15	<b>Plénière 6 : "les filles naissent dans les romans, les garçons dans les calelottes" : Impact des stéréotypes de genre sur les performances scolaires.</b> Florence Loose, IUT de Montpellier		
12h45	<b>Votes et remise des prix du meilleur poster CNRIUT2018, du meilleur poster Doctorant CNRIUT2018 et de la meilleure communication orale Doctorant CNRIUT2018.</b>		
13h00	<b>Repas au CROUS Les Fenouillères</b>		
14h00	<b>Clôture du Congrès</b>		

---

## Posters et démonstrateur

---

## Liste des Posters

P1	Les nanoparticules d'or : une plate-forme modulable pour des applications dans le domaine de la Santé. <i>Christophe Massard, Yves Sibaud, Vincent Raspal, Komla Awitor</i>
P2	Effet cytoprotecteur de l'Ethyl Protocatechuate contre l'hypoxie induite par le CoCl <sub>2</sub> sur les cardiomyoblastes de rat. <i>Hélène Talarmin</i>
P3	Accès domino à des dihydropyranones 2,3,5-trisubstituées par réaction Pseudo-Multicomposant baso-induite entre le Glutaconate de Diméthyle et des Aldehydes Aromatiques. <i>Erwan Le Gall, Marc Pisset, Eric Léonel</i>
P4*	Le cheveu : un marqueur biologique d'exposition aux agents chimiques de guerre. <i>Clémentine Côte, Anne Piram, Denis Josse, Alexandre Lacoste, Pierre Doumenq</i>
P5	Les Bactéries magnétotactiques, ou comment ne pas perdre le Nord. <i>François Alberto, Xin-Xin Qian, Claire-Lise Santini, Long-Fei Wu</i>
P6	Le Challenge national Mesures Physiques : retour d'une expérience de pédagogie par projet. <i>Rémi Pollès, Emilie Pery</i>
P7	Cartographie de l'évolution du couvert végétal de bassins versants aux marnes noires. <i>Sandrine Alinat</i>
P8	Propriétés photoélectriques de cellules solaires organiques inverses intégrant des nanosphères de type cœur-coquille Ag@SiO <sub>2</sub> . <i>Kékéli N'Konou, Philippe Torchio</i>
P9*	Hygiénisation des intrants de la méthanisation par champs électriques pulsés (CEP). <i>Florent Struyven</i>
P10*	Optimisation de l'électrolyse de l'eau alcaline <i>Robin Le Livec, Damien Le Bideau, Philippe Mandin</i>
P11	Simulation multi-échelle de phénomènes d'adsorption-désorption. <i>Irina Gaur, Frédéric Topin, Caroline Mauriat, Marc Bendahan, Khalifa Aguir</i>
P12*	Active control of generation of bubbles in a biphasic fluid. <i>Mustapha Baba El Gannouni, Philippe Mandin, Damien Le Bideau, Robin Le Livec, Mohamed Benbouzid, Stéphane Paul</i>
P13	Influence of physical-chemical aspects on the performance of lead acid battery. <i>Philippe Mandin</i>
P14	Importance de la connaissance de l'émissivité pour la mesure de température sans contact – exemples d'applications dans le domaine de l'environnement. <i>Laurent Ibos</i>
P15	Adonis : Modéliser la Fiabilité des Composants et des Systèmes. <i>Georges Habchi</i>
P16	Détection de la dépression par analyse de la géométrie faciale et apprentissage automatique. <i>Fan Yang</i>
P17	SHMC - Semantic Hierarchical Multi-label Classification Approche Big Data et Web Sémantique pour la classification automatique de données web et la recommandation d'articles économiques. <i>Christophe Cruz</i>
P18*	Communication LiFi et réception par modules PV. <i>Nominoë Lorrière, Marcel Pasquinelli, Gilles Chabriel, Jean Barrere, Emilie Bialic, Ludovic Escoubas, Jean-Jacques Simon</i>
P19*	Protocole de communication asynchrone à lien radio Ultra-large bande pour les réseaux de capteurs. <i>Abderrahmane Haloua, Nicolas Dehaese, Rémy Vauche, Jean Gaubert</i>
P20	Réalisation d'un dispositif d'échantillonnage non uniforme : approche temps réel interpolée. <i>Frédéric Bonnardot, Halil Ibrahim Cakar</i>

P21	Carte électronique pour enceinte Bluetooth : usage de la suite logicielle libre Kicad. <i>Vincent Raspal, Christophe Massard, Komla Awitor, Yves Sibaud</i>
P22*	Modélisation Orientée Diagnostic des Composants Électroniques Embarqués. <i>Oussama Djedidi, Mohand Djeziri, Nacer M'Sirdi</i>
P23*	Commande basée observateur d'un système LPV : Application à une génératrice asynchrone à double alimentation. <i>Ahlem Sassi</i>
P24*	Filtrage avec fenêtre glissante de mesures : application à un robot à bras articulé. <i>Noussaiba Gasmî</i>
P25*	Pour une Meilleure Estimation de la Qualité Perçue par l'Usager. <i>Amour Lamine, Sami Souihi, Abdelhamid Mellouk</i>
P26	Les imprimantes 3D participent à la créativité des étudiants <i>Jean-Paul Becar, Jean Vareille</i>
P27*	Reproduction de microstructures de soudage de type bainite/martensite sur des éprouvettes massives en acier S355. <i>Cédric Pouvreau, François Josse, William Berckmans, Landry Giraud, Eric Feulvarch</i>
P28*	Characterization of a flow using low-cost temperature sensors. <i>Mustapha Baba El Gannouni, Vicente Henriquez Concepcion, Alejandro Ramos Martin, Philippe Mandin</i>
P29	Mesure par voie optique des fluctuations de densité dans un écoulement compressible <i>Thomas Castelain</i>
P30	Lire, écrire, écouter : les étudiants en Métiers du livre et la musique. <i>Florence Lethurgez</i>
P31*	De la Dissonance à la Résonance Écologique. <i>Andréas Eriksson</i>
P32	Avant ou Pendant : quand les distributeurs doivent-ils former les clients à leurs rôles en magasin ? <i>Lionel Nicod, Sylvie Llosa, Elodie Mallor</i>
P33	A methodology to build funds of funds avoiding computational problems - An application case for funds of funds in bull market. <i>Nadège Ribau-Peltre</i>
P34	L'e-mail marketing de la permission à la relation. <i>Hélène Yildiz</i>
P35	Le système informationnel au secours de la logistique des catastrophes humanitaires. <i>Marc Bidan</i>
P36	Quand le fournisseur libère son entreprise, quels impacts sur la relation clients ? <i>Nathalie Merminod, Thierry Allegre</i>
P37	Pensée magique et superstition : Représentations des joueurs et non joueurs de loterie, une approche exploratoire. <i>Patrice Cottet, Emmanuèle Gardair</i>
P38*	Vers davantage de convivialité en magasin. Un exemple de marketing expérientiel dans le commerce de la librairie. <i>Carole Poirel, Manon Cardinal, Cecile Dunand, Jessica Ray</i>

\* présentation effectuée par un Doctorant

## Démonstrateur

D1	La réalité mixte comme support en recherche, pédagogie et transfert de technologie : une expérience au département informatique de l'IUT Lyon 1, site de Bourg en Bresse. <i>Jean-Philippe Farrugia, Bruno Tellez</i>
----	--

# Table des matières

<b>Chimie / Biologie / Santé</b>	<b>1</b>
Analyses de mélanges complexes en chromatographie bidimensionnelle couplée à la spectrométrie de masse : traitement de données, Bonose Myriam [et al.] . . . .	1
L'implant "Clothilde" pour soigner des fractures de l'épaule, Vacher Pierre . . . .	5
Chimie atmosphérique de l'iode de l'échelle moléculaire aux modèles de chimie-transport, Lebègue Patrick [et al.] . . . . .	8
Développement de MicroCapteurs pour la détection de vapeurs d'éthanol : Application au suivi du taux d'alcoolémie par perspiration cutanée, Lawson Bruno [et al.] . . . . .	11
Elaboration d'un matériau bioactif par greffage des molécules azidées sur des fibres lignocellulosiques, Khaldi Zineb [et al.] . . . . .	14
Projet AROMATIC : vers une amélioration de la qualité sanitaire des produits laitiers dans les pays chauds de manière durable grâce à des conservateurs naturels, Dupas Coralie [et al.] . . . . .	17
La liaison dans les cristaux, Pauling avait raison !, Valls Robert . . . . .	20
Conception de nanoparticules efficaces pour la décontamination cutanée contre les agents chimiques, Magnano Greta Camilla [et al.] . . . . .	23
Solutions matériau et mésostructure obtenues par fabrication additive pour l'optimisation d'un dispositif biomimétique / os cortical., Laheurte Pascal . . . . .	26
Extraction simultanée en milieu aqueux assistée par enzymes, de composés bioactifs lipophiles et hydrophiles de marc de framboise, optimisation par plan d'expérience, Saad Naima . . . . .	29
Protection du cœur contre l'infarctus par un exercice physique régulier au cours de l'obésité, Pons Sandrine [et al.] . . . . .	30

Recombinaison et réparation de l'ADN mitochondrial des plantes, Wallet Clémentine	33
Les nanoparticules d'or : une plate-forme modulable pour des applications dans le domaine de la Santé, Massard Christophe [et al.]	36
Effet cytoprotecteur de l'Ethyl Protocatechuate contre l'hypoxie induite par le CoCl <sub>2</sub> sur les cardiomyoblastes de rat, Talarmin Hélène	39
Accès domino à des dihydropyranones 2,3,5-trisubstituées par réaction Pseudo-Multicomposant baso-induite entre le Glutaconate de Diméthyle et des Aldehydes Aromatiques, Le Gall Erwan [et al.]	42
Le cheveu : un capteur biologique d'exposition aux agents chimiques de guerre, Côte Clémentine [et al.]	45
Les Bactéries magnétotactiques, ou comment ne pas perdre le Nord, Alberto Francois [et al.]	46
Le Challenge national Mesures Physiques : retour d'une expérience de pédagogie par projet, Pollès Rémi [et al.]	49
<b>Economie / Gestion / Droit</b>	<b>52</b>
La logistique événementielle : des opérations à la stratégie. - Une illustration par le festival de Woodstock -, Salaun Vincent	52
Le packaging dans le commerce électronique : une expérience consommateur à enrichir, Fulconis Francois [et al.]	56
Vers un modèle intégré de la PME en hypercroissance. La place centrale de l'entrepreneur visionnaire, Guieu Gilles [et al.]	59
Conséquences envisageables de la future loi PACTE sur la gouvernance des entreprises, Juban Jean-Yves	64
De la mise en œuvre d'un projet de conception, développement et déploiement d'un serious game centré sur la lutte contre le décrochage des jeunes étudiants, Bidan & H Abbad Y Barel A Cholet I Dherment N Mebarki Marc	67
Comprendre l'échec des politiques publiques d'institutionnalisation-sédentarisation des marchands ambulants: le cas du Maroc, Gallouj Camal [et al.]	70
Les universités face au nouvel environnement concurrentiel de l'enseignement supérieur, Mouline Aziz	71

Comment communiquer afin d'inciter les personnes à se faire vacciner ? L'importance du contrôle perçu, Pichon Véronique [et al.] . . . . .	74
En quoi les portails fournisseurs améliorent-ils la visibilité et la collaboration dans la chaîne logistique ?, Garcia Fabienne . . . . .	75
L'intérêt des outils d'Aide à la Vente pour un vendeur, Dianoux Christian [et al.]	79
Contribution des outils numériques à l'amélioration des pratiques logistiques des grossistes, Sirjean Stéphane [et al.] . . . . .	82
Le rôle intermédiaire des sièges régionaux dans la multinationalisation des entreprises, Amann Bruno [et al.] . . . . .	86
La vente directe à domicile : une expérience de convivialité marchande, Cadenat Sandrine [et al.] . . . . .	90
Les préférences individuelles des seniors pour les technologies : quels déterminants ?, Benallah Samia [et al.] . . . . .	94
L'évolution du poids des émotions au cours du temps : le cas des expériences des jeux vidéo, Mallor Elodie [et al.] . . . . .	97
Avant ou Pendant : quand les distributeurs doivent-ils former les clients à leurs rôles en magasin ?, Nicod Lionel [et al.] . . . . .	100
A methodology to build funds of funds avoiding computational problems - An application case for funds of funds in bull market, Ribau-Peltre Nadège . . . . .	103
L'e-mail marketing de la permission à la relation, Yildiz Hélène . . . . .	106
Le système informationnel au secours de la logistique des catastrophes humanitaires, Bidan Marc . . . . .	107
Quand le fournisseur libère son entreprise, quels impacts sur la relation clients ?, Merminod Nathalie [et al.] . . . . .	110
Pensée magique et superstition : Représentations des joueurs et non joueurs de loterie, une approche exploratoire, Cottet Patrice [et al.] . . . . .	113
Vers davantage de convivialité en magasin. Un exemple de marketing expérientiel dans le commerce de la librairie, Poirel Carole [et al.] . . . . .	116

Génération d'onde sphérique par la technique du Compressed Balloon, Alloul Jérémy [et al.] . . . . .	119
Commande non linéaire robuste destinée à un parc hydrolien connecté à un réseau de forte puissance, Oculi Fabien . . . . .	123
Etude expérimentale de l'allumage laser de poudres propulsives à risque atténué, Courty Léo [et al.] . . . . .	126
Removal of Humidity by Ionic Liquid Filter to Protect Gas Sensors, Yan Xueru [et al.] . . . . .	129
Mise au point de modèles réduits de la consommation énergétique en exploita- tion des bâtiments pour la contractualisation de Contrats de Performance Energé- tique, Joubert Patrice . . . . .	132
Comment évaluer l'état d'un habitat marin par une approche écosystémique ?, Ruit- ton Sandrine [et al.] . . . . .	135
Cartographie de l'évolution du couvert végétal de bassins versants aux marnes noires, Alinat Sandrine . . . . .	138
Propriétés photoélectriques de cellules solaires organiques inverses intégrant des nanosphères de type cœur-coquille Ag@SiO <sub>2</sub> , N'konou Kékéli [et al.] . . . . .	141
Hygiénisation des intrants de la méthanisation par champs électriques pulsés (CEP), Struyven Florent . . . . .	144
Optimisation de l'électrolyse de l'eau alcaline, Le Livec Robin [et al.] . . . . .	146
Simulation multi-échelle de phénomènes d'adsorption-désorption, Graur Irina [et al.] . . . . .	149
Active control of generation of bubbles in a biphasic fluid, Baba El Gannouni Mustapha [et al.] . . . . .	152
Influence of physical-chemical aspects on the performance of lead acid battery, Mandin Philippe . . . . .	153
Importance de la connaissance de l'émissivité pour la mesure de température sans contact – exemples d'applications dans le domaine de l'environnement, Ibos Laurent	156

Quand le numérique devient un objet-frontière entre disciplines de recherche : Cas de la Blockchain dans les démarches de Supply Chain Management et de Marketing., Kin Vichara [et al.] . . . . .	159
Accessibilité des sites web pour les personnes présentant une incapacité visuelle, Romeo-Pakker Katerin . . . . .	163
Apollo : Modéliser et Simuler les Systèmes de Production Manufacturiers sans Programmer, Habchi Georges . . . . .	166
Propriétés autour de la Polynômisation Algébrique Aléatoire de Signaux Physiologiques, Corbier Christophe . . . . .	169
Modélisation des écoulements de subsurface dans un bassin versant forestier : impact de l'échantillonnage sur l'estimation des paramètres par approche inverse, Belfort Benjamin [et al.] . . . . .	172
Les plateformes internet bifaces : vers une forme alternative d'intermédiation dans les canaux de distribution alimentaires ?, Vidal David [et al.] . . . . .	175
Mécanisme de tenségrité pour la sécurité en robotique, Poisson Gérard . . . . .	178
Points massiques, cubiques Bézier rationnelles et leur points singuliers, Becar Jean-Paul [et al.] . . . . .	181
Etude et fabrication d'un réseau de nanoantennes rectifiantes dans le domaine visible, auto-assemblées par des diodes moléculaires, Reynaud Clément . . . . .	184
Recommandation de services Web à base de graphes, Slaimi Fatma [et al.] . . . . .	187
Recueil et exploitation de données issues de capteurs connectés dans un contexte de télé-monitoring pour bâtiments intelligents, Boudhaouia Aida [et al.] . . . . .	190
Commande basée observateur d'un système LPV: Application à une génératrice asynchrone à double alimentation, Sassi Ahlem . . . . .	193
Développement de Micro-Capteurs pour la détection de traces de BTEX : Application au suivi de la qualité de l'air, Contaret Thierry [et al.] . . . . .	196
Subdivision de courbes de Bézier appliquées aux cyclides de Dupin, Serier Karine . . . . .	199
Nouveaux capteurs électromagnétiques intégrés large-bande pour l'analyse EMC/EMI des architectures d'électronique de puissance, Dienot Jean-Marc . . . . .	202
Adonis : Modéliser la Fiabilité des Composants et des Systèmes, Habchi Georges . . . . .	205

Détection de la dépression par analyse de la géométrie faciale et apprentissage automatique, Yang Fan . . . . .	208
SHMC - Semantic Hierarchical Multi-label Classification Approche Big Data et Web Sémantique pour la classification automatique de données web et la recommandation d'articles économiques, Cruz Christophe . . . . .	211
Communication LiFi et réception par modules PV, Lorrière Nominoë [et al.] . . . . .	214
Protocole de communication asynchrone à lien radio Ultra-large bande pour les réseaux de capteurs, Haloua Abderrahmane [et al.] . . . . .	217
Réalisation d'un dispositif d'échantillonnage non uniforme : approche temps réel interpolée, Bonnardot Frédéric [et al.] . . . . .	220
Carte électronique pour enceinte Bluetooth : usage de la suite logicielle libre Kicad, Raspal Vincent [et al.] . . . . .	223
Modélisation Orientée Diagnostic des Composants Électroniques Embarqués, Djedidi Oussama [et al.] . . . . .	226
Commande basée observateur d'un robot à bras articulé, Gasmi Noussaiba . . . . .	229
Filtrage avec fenêtre glissante de mesures : application à un robot à bras articulé, Gasmi Noussaiba . . . . .	232
Pour une Meilleure Estimation de la Qualité Perçue par l'Usager, Lamine Amour [et al.] . . . . .	235
La réalité mixte comme support en recherche, pédagogie et transfert de technologie : une expérience au département informatique de l'IUT Lyon 1, site de Bourg en Bresse., Farrugia Jean-Philippe [et al.] . . . . .	238
<b>Matériaux / Mécanique</b>	<b>241</b>
Développement d'un matériau isolant à base de mycélium, Lagouin Méryl [et al.] . . . . .	241
Échographie ultrasonore des matériaux pour la caractérisation non destructive des structures, Jean-François Chaix [et al.] . . . . .	245
Traitement laser de surface de couches de carbone amorphe obtenues par ablation laser pulsée pour applications optoélectroniques et photovoltaïques, Stock François [et al.] . . . . .	248
Ondes de choc en acoustique non linéaire dans l'air: méthodes de mesure optiques et applications, Ollivier Sébastien . . . . .	251

Utilisation de fibres naturelles d'origine marine Posidonia Oceanica pour l'isolation thermique des bâtiments – caractérisation thermique des fibres, Hamdaoui Ons . . . . .	252
Modèle théorique pour estimer les incertitudes de positionnement de l'effecteur d'un robot parallèle à câble plan, Tazi Mohamed [et al.] . . . . .	255
Méta-matériau parasismique : vers les capes d'invisibilité sismiques, Pomot Lucas [et al.] . . . . .	259
Utilisation de matériaux bois intelligents pour la gestion durable des infrastructures, Perrin Marianne [et al.] . . . . .	262
Les imprimantes 3D participent à la créativité des étudiants, Becar Jean-Paul [et al.] . . . . .	265
Reproduction de microstructures de soudage de type bainite/martensite sur des éprouvettes massives en acier S355, Pouvreau Cédric [et al.] . . . . .	268
Characterization of a flow using low-cost temperature sensors, Baba El Gannouni Mustapha [et al.] . . . . .	271
Mesure par voie optique des fluctuations de densité dans un écoulement compressible, Castelain Thomas . . . . .	272
<b>SHS / Lettres / Langues / Communication</b>	<b>273</b>
Règlement de compte par Twitter interposé : les 30 ans du festival Chalon Dans La Rue, Bigey Magali [et al.] . . . . .	273
Dyscommunication et langage outillé : le projet COMM'HANDI, Abellard Patrick	277
Industrie 4.0, 3ème révolution industrielle, transition énergétique, etc. l'accélération des mutations technologiques induira-t-elle une métamorphose de la pédagogie ?, Vareille Jean [et al.] . . . . .	280
Le corps dans la littérature post-féministe et " post-libération sexuelle " : un baromètre des normes et idéaux contemporains, Atzenhoffer Régine . . . . .	283
Exploration de profils types d'étudiants de DUT en vue de la personnalisation d'une application d'apprentissage en ligne, Chibout Karim . . . . .	286
Vers une synergie recherche, formation et monde du travail en langue vivante étrangère, Lancereau-Forster Nicole . . . . .	289
"Les filles naissent dans les romans, les garçons dans les calelottes" : Impact des stéréotypes de genre sur les performances scolaires, Loose Florence . . . . .	292

Lire, écrire, écouter : les étudiants en Métiers du livre et la musique, Lethurgez  
Florence . . . . . 295

Apprendre de l'expérience des professionnels, un dispositif de partage au service  
des étudiants, Durat Laurence . . . . . 298

**Liste des participants** **301**

**Liste des auteurs** **303**

Chimie / Biologie / Santé

---

# Analyses de mélanges complexes en chromatographie bidimensionnelle couplée à la spectrométrie de masse : traitement de données

---

Myriam Bonose  
[myriam.bonose@u-psud.fr](mailto:myriam.bonose@u-psud.fr)

Naira Perez-Vasquez  
[nairaperez@gmail.com](mailto:nairaperez@gmail.com)

Fathi Moussa  
[fathi.moussa@u-psud.fr](mailto:fathi.moussa@u-psud.fr)

IUT d'Orsay, Université Paris Saclay, Univ. Paris Sud, LETIAM

**Thèmes** – Chimie - Santé - Informatique - Imagerie - Mathématiques

**Résumé** – *La chimie analytique est la partie de la chimie qui concerne la mise au point d'instruments et de méthodes d'identification, de caractérisation et de quantification de substances chimiques. La grande quantité de données générées par les techniques analytiques instrumentales modernes nécessite l'utilisation d'outils de traitement fiables et appropriés. Pour illustrer cela, la présente conférence orale vous exposera un cas d'étude développée au sein du Laboratoire d'Études des Techniques et Instruments d'Analyse Moléculaire (LETIAM), situé au sein de l'IUT d'Orsay. Il s'agit de la recherche de marqueurs biologiques urinaires de pathologies neurologiques en utilisant la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse et deux approches automatisées de comparaison des résultats.*

**Mots-Clés** – Chimie analytique, acides organiques, pathologie, profils

## 1 Introduction

L'acidémie organique est une pathologie caractérisée par la présence ou l'augmentation des quantités d'acides organiques éliminées dans les urines. Dans certains cas, le pronostic et le développement des enfants atteints dépendent d'un diagnostic précoce et précis, suivi d'une intervention thérapeutique appropriée. Si les symptômes cliniques peuvent suggérer, parfois, un diagnostic spécifique qui peut être confirmé par des tests métaboliques de dépistage de routine ou par des tests plus spécifiques, il n'en est pas de même dans la majorité des cas. Il est donc urgent de rechercher de nouveaux marqueurs biologiques (dit biomarqueurs) dans le domaine des troubles neurologiques.

Le profilage du métabolome urinaire est une approche incontournable pour la découverte de nouveaux candidats biomarqueurs des troubles métaboliques. Mais le milieu urinaire est un mélange complexe contenant des centaines, voire des milliers, de composés de natures différentes, à des concentrations très variées.

Dès lors, l'objectif principal de ce travail a été d'améliorer la détectabilité des composés constituant les échantillons urinaires avec, pour perspectives, la découverte de nouveaux candidats biomarqueurs d'erreurs métaboliques associés à des troubles neurologiques.

## 2 Développement analytique

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés au protocole de préparation des échantillons. Ainsi, nous avons amélioré la méthode en introduisant une étape enzymatique d'élimination de l'urée qui empêchait la visualisation et la détection complète des composés d'intérêt.

Puis, grâce à l'étude systématique des différentes conditions de séparation en chromatographie en phase gazeuse bidimensionnelle (GCxGC) couplée à un spectromètre de masse simple quadripolaire (nature de la phase stationnaire, mode normal ou inverse, période de modulation, fréquence d'acquisition, ...), nous avons développé une méthode nettement plus sensible et avec une plus grande capacité de pics par rapport à la méthode classique par GC-MS. La méthode par GCxGC-MS ainsi développée et validée a été aussitôt appliquée à l'étude de la stabilité des composés.

Dans un second temps, nous avons évalué l'apport de la GCxGC-MS dans le profilage des composés organiques urinaires présents dans des échantillons urinaires prélevés chez des volontaires sains. Par rapport aux profils obtenus en GC-MS classique, les profils chromatographiques urinaires obtenus par la méthode proposée (Figure 1) ont effectivement présenté une sensibilité et une résolution nettement plus élevées, ce qui a permis la détection d'un

maximum de 92 composés supplémentaires par échantillon analysé individuellement. Cela nous a mené à faire un profilage d'un mélange de plusieurs urines d'enfants sains où nous avons pu détecter 231 molécules silylées.

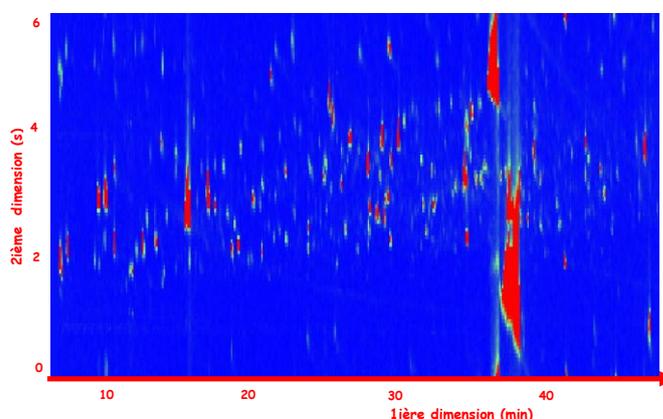


Fig 1 : Carte chromatographique d'un échantillon urinaire obtenue en utilisant la méthode développée.

Parmi les composés supplémentaires détectés et caractérisés, certains sont d'un intérêt diagnostique. Grâce à la GCxGC-MS, nous avons pu détecter, par exemple, de l'acide quinolinique (Figure 2) chez un individu présentant des symptômes neurologiques. L'acide quinolinique est impliqué dans les réponses inflammatoires et apoptotiques associées à des lésions neuronales.

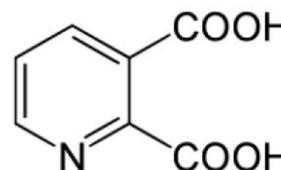


Fig 2 : Structure de l'acide quinolinique

Appliquée à des échantillons urinaires recueillis d'une part chez des enfants sains et d'autre part chez des enfants présentant des troubles neurologiques, la méthode de profilage proposée a montré des résultats qualitatifs et quantitatifs nettement supérieurs à ceux obtenus par la méthode classique par simple GC-MS [1]. L'ensemble des résultats obtenus montre toutes les potentialités de la GCxGC-MS dans le domaine de la découverte de candidats biomarqueurs, malgré les contraintes liées à l'étape de préparation de l'échantillon. En effet, si les techniques séparatives bidimensionnelles sont d'une puissance inégalée pour séparer les composés présents dans un mélange complexe, l'étape de préparation des

échantillons n'en demeure pas moins essentielle pour quantifier de manière précise les substances détectées.

Par ailleurs, la masse de données contenues dans le chromatogramme nécessite l'utilisation d'outils de traitement appropriés. Afin de comparer des profils sains et des profils pathologiques, et de distinguer des candidats biomarqueurs, nous avons testé deux approches automatisées avec quelques échantillons urinaires :

1) Une approche basée sur la comparaison des surfaces et des temps de rétention des pics de chromatogrammes bruts 2 à 2 en utilisant le logiciel LC-GC concordance [2]. Les pics de chacun des deux chromatogrammes comparés sont représentés en miroir par des bâtonnets. Un code couleur bleu indique les pics communs entre les deux chromatogrammes et un code couleur rouge indique les pics manquants. Cependant, ce logiciel ne permet pas la comparaison simultanée de plusieurs échantillons et la grande variabilité des profils urinaires d'un individu à un autre et pour un même individu rend fastidieuse la mise en évidence des composés impliqués dans les pathologies.

2) Une approche basée sur la comparaison d'images comme les cartes chromatographiques 2D [3]. Cette stratégie nous a amené à développer une collaboration avec une équipe de l'ESPCI spécialisée dans le traitement de données. Un programme de détermination de pixels discriminants de profils obtenus en GCxGC-MS en cours d'élaboration a été appliqué. Les chromatogrammes obtenus ont été convertis au format ASCII pour réaliser leur comparaison globale. Après soustraction de la ligne de base et normalisation de l'aire totale à la moyenne de chaque groupe, les potentiels pixels discriminants ont été mis en évidence en utilisant deux critères : le coefficient de corrélation de Spearman et l'utilisation d'un seuil d'intensité des pics.

### 3 Conclusions

L'analyse des échantillons en GCxGC-MS génère des mégadonnées du fait de la complexité de l'urine (divers composés x divers individus avec des particularités génétiques x alimentation diversifiée), de la variété des dérivés formés lors de la préparation d'échantillon et du principe même des techniques utilisées.

Appliquée à des échantillons urinaires recueillis d'une part chez des enfants sains et d'autre part chez des enfants présentant des troubles neurologiques, les résultats de la GCxGC-MS ont montré ses potentialités dans le domaine de la découverte de candidats biomarqueurs mais la masse de données contenues dans le chromatogramme nécessite l'utilisation d'outils de traitement fiables et appropriés.

Ce travail, qui reste à affiner, devrait nous permettre de repérer plus rapidement et plus efficacement d'autres candidats biomarqueurs présents dans les échantillons urinaires.

### 4 Remerciements

Nous remercions nos collaborateurs neurologues et biochimistes de l'hôpital Armand Trousseau, Assistance Publique-Hôpital de Paris ainsi que la société Bioexigence.

### Références

- [1] N. Pérez Vasquez, M. Bonose, N. Lévêque, R. Couderc, E. Thioulouse, D. Doummar, D. Rodriguez, T. Billette de Villemeur, S. Robin, C. Courderot-Masuyer, F. Moussa, *Advances in the metabolic profiling of acidic compounds in children's urines achieved by GCxGC-MS*, Journal of Chromatography B 1002, 2015, p. 130-138.
- [2] G. Guillemin, B.J. Brew, C.E. Noonan, T.G. Knight, G.A. Smythe, K.M. Cullen, *Mass spectrometric detection of quinolinic acid in microdissected Alzheimer's disease plaques*. Int. Congr. Ser., 1304, 2007, p. 404-408.
- [3] A.W. Zimmerman, H. Jyonouchi, A.M. Comi, S.L. Connors, S. Milstein, A. Varsou, M.P. Heyes, *Cerebrospinal fluid and serum markers of inflammation in autism*, *Pediatr. Neurol.*, 33, 2005, p.195-201.

---

## L'implant « Clothilde » pour soigner des fractures de l'épaule

---

Thibault GOYALLON<sup>1</sup>      Pierre VACHER<sup>1</sup>      Éric VITTECOQ<sup>2</sup>  
Christophe DEPRES<sup>1</sup>      Christian ELMO<sup>1</sup>      Laurent GOUJON<sup>1</sup>

Pierre.vacher@univ-smb.fr

<sup>1</sup> IUT Annecy, Université Savoie Mont Blanc  
Laboratoire SYMME, FRANCE

<sup>2</sup> HEPIA, Ecole d'Ingénieur, GENEVE, SUISSE

### **Thèmes** – Biomécanique - Santé

**Résumé** – *Projet Clothilde, développement d'un implant pour le soin des fractures de l'humérus au niveau de l'épaule.*

*Les principaux enjeux de ce projet sont de pouvoir proposer un implant original permettant de conserver le capital osseux, d'anticiper les complications liées à la nécrose, de minimiser la taille des incisions pour un coût et un temps d'intervention comparable ou inférieurs à ceux des implants actuellement utilisés. Ce projet financé par un INTERREG France/Suisse regroupe quatre chirurgiens orthopédistes, deux entreprises spécialisées en orthopédie et deux universités. Un banc de test destiné à tester ce nouvel implant en laboratoire d'anatomie est également développé. Il est composé de l'omoplate supposée fixe et de l'humérus fracturé puis consolidé par l'implant. Huit faisceaux musculaires permettent de solliciter cet os selon diverses orientations. Le pilotage de ce banc s'appuie sur une modélisation musculo-squelettique du comportement de l'épaule afin d'identifier les efforts dans les muscles ainsi que ceux au niveau de la zone fracturée.*

**Mots-Clés** – Biomécanique – implant – épaule – mesure angulaire

## 1 Introduction :

Cet article présente le développement d'un nouveau concept d'implant pour le soin des fractures de l'épaule et plus particulièrement de la tête de l'humérus. Ce projet collaboratif financé par un programme européen INTERREG IV A France-Suisse regroupe des universitaires, quatre praticiens orthopédistes et deux industriels dans le but de concevoir, fabriquer et commercialiser ce dispositif médical.

Ce type de fracture de l'humérus concerne un public varié, parfois jeunes (Accident) ou âgées (Ostéoporose : altération de l'architecture osseuse) Kannus [1], Roux [2]. Ces fractures sont souvent complexes, présentent fréquemment de multiples fragments osseux conduisant à de nombreux cas d'échec, ce qui conduit à de fréquentes ré-opérations, Katthagen [3]. En fonction du type de fracture et de l'âge du patient, le chirurgien peut avoir recours à divers matériels d'ostéosynthèse (implants type plaques, vis, clou) ou arthroplasties (prothèses remplaçant tout ou partie de la zone articulaire). Les implants ont un coût bien inférieur aux prothèses, permettent de conserver le capital osseux, d'être retirés après consolidation de la fracture mais présentent un taux d'échec plus élevé que les prothèses. Ceci est dû entre autre à des problèmes de vascularisation conduisant à la nécrose de l'os. En cas d'échec, la ré-opération consiste le plus souvent en une désimplantation et la pose d'une prothèse dont la durée de vie est limitée à 10~15 ans. Ceci représente bien évidemment un risque pour le patient mais a également un coût non négligeable. L'implant proposé devrait simplifier les modes opératoires, limiter les risques de nécrose et permettre une désimplantation plus aisée.

## 2 Implant et banc de test :

Afin de tester en laboratoire d'anatomie la solidité de ce nouveau dispositif de soin (brevet en cours de dépôt), un banc d'essai a été conçu et réalisé. Il consiste à fixer l'omoplate et à solliciter l'humérus dans des conditions de chargement compatibles avec celles réellement appliquées par un individu. De nombreux muscles entrent en jeu dans le mouvement de l'épaule dont certains, relativement larges (deltoïde, pectorale...) doivent être considérés comme une multitude de faisceaux musculaires, Van der Helm [4], Holzbaur [5]. Les modèles de simulation du mouvement de l'épaule impliquent généralement plus d'une centaine de faisceaux musculaires. Le système apparaît donc fortement hyperstatique. Pour une position donnée du bras, certains muscles sont donc redondants. Dans ces conditions, l'hypothèse généralement admise consiste à activer de façon privilégiée les muscles les moins coûteux d'un point de vue énergétique.

Il semble déraisonnable de réaliser un banc de test post-mortem composé d'un aussi grand nombre d'actionneurs, le pilotage de chaque fibre et le temps d'installation

n'étant pas compatibles avec un test en laboratoire d'anatomie. Un modèle simplifié a donc été réalisé afin de ne conserver que 8 actionneurs au lieu des 138. Le pilotage de ce banc s'appuie sur une modélisation musculo-squelettique du comportement de l'épaule (logiciel OpenSim), Chadwick [6], permettant d'identifier les efforts dans les muscles ainsi que ceux au niveau de la zone fracturée (Figure 1).

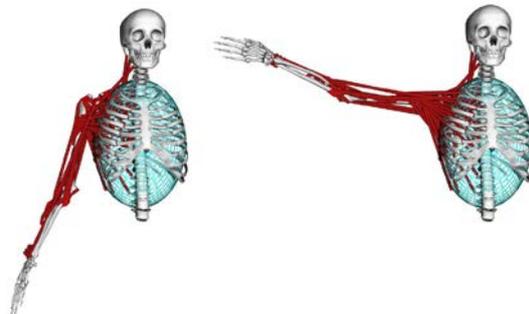


Figure 1 : Mouvement d'abduction du modèle complet avant / après (138 faisceaux musculaires)

Plusieurs types de mouvements ont été simulés (ouverture latérale du bras, ouverture frontale, main à l'épaule opposée, main derrière la tête). Les efforts musculaires ont été identifiés et comparés à un modèle complexe constitué de 138 faisceaux musculaires. Nous observons (Figure 2) que pour un simple mouvement d'ouverture latérale avec 2 kg dans la main et les poids propres de chaque membre, l'un des muscles retenus (l'infra-épineux) devra appliquer plus de 600 N d'efforts sur l'humérus.

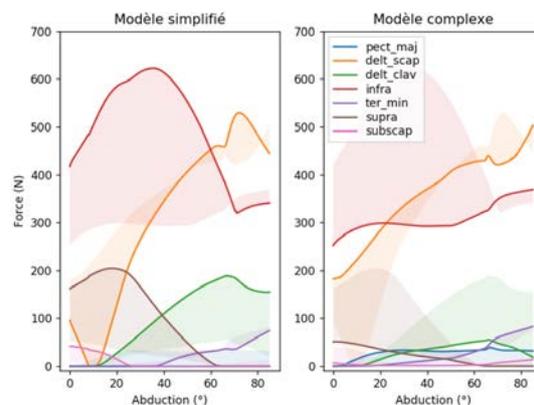


Figure 2 : Courbes d'effort musculaires en fonction de l'angle d'abduction : Comparaison des muscles sélectionnés modèle simple (8 muscles) / complet (138 muscles)

Nous observons, dans cette simulation d'abduction des différences significatives entre ces deux modèles, l'ensemble des actionneurs n'étant pas pris en compte dans le modèle simplifié. Les efforts sur les muscles de ce modèle simplifié sont généralement un peu plus forts que ceux du modèle complet. Malgré ces différences, nous

constatons toutefois que les valeurs d'efforts sont du même ordre de grandeur (entre 0 et 600 N). Ce même type d'analyse a été effectué pour les autres mouvements modélisés et conduisent aux mêmes conclusions. Nous montrons qu'il est possible d'orienter le bras dans n'importe quelle position avec uniquement huit actionneurs.

Un capteur de mesure de position angulaire du bras basé sur l'utilisation de centrales inertielles a également été développé dans le cadre de ce projet. Ce dispositif sans fils (Figure 3) nous permet de définir la position du bras dans l'espace à une fréquence de 6 Hz avec une incertitude de  $\pm 2^\circ$ . Les mouvements imposés sont donc relativement lents mais correspondent assez bien au fonctionnement d'une épaule peu de temps après une opération. Ce capteur original est utilisé pour piloter le banc de test en déplacement et pourra également être utilisé pour suivre en temps réel le mouvement des bras d'un individu durant une journée de travail ou lors de séances de rééducation après une opération par exemple.

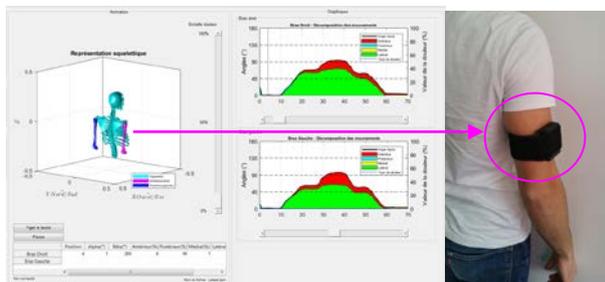


Figure 3 : Logiciel d'analyse + capteur bras droit

L'implant créé doit donc pouvoir supporter de telles charges sans altération, tout en permettant un maintien en position des fragments osseux. Les premiers tests réalisés sur le banc à l'aide d'os artificiels ont permis de valider le principe de fonctionnement du banc (Figure 4). Huit capteurs d'efforts fournissent l'information de tension musculaire en temps réel.



Figure 4 : Banc de test cadavérique

L'implant proposé permet de fixer plus simplement les éléments fracturés. Par ailleurs, un dispositif original de fixation du clou au cœur même de l'humérus permet d'optimiser le mode opératoire.

### 3 Conclusion

Les premiers tests réalisés avec le nouveau dispositif montrent de réelles avancées en termes de simplification opératoire et de caractère minimalement invasif. Les essais in-vivo permettront de valider plus complètement ce nouveau dispositif médical.

**Remerciements :** Ce projet est financé par un contrat European Interreg France Suisse. Nous remercions également les chirurgiens orthopédistes Yvan Arletaz (Monthey Suisse), Arnaud Dodelin (Rouen) et Benoît Schenck (Strasbourg) pour leurs conseils avisés ainsi que les sociétés Oneortho médical (Christophe Alépée) et Chirmat (Christian Bonjour) pour leur investissement dans ce projet.

### Références :

- [1] Kannus P, Palvanen M, Niemi S, Parkkari J, Järvinen M, Vuori I., "Osteoporotic fractures of the proximal humerus in elderly Finnish persons: sharp increase in 1970—1998 and alarming projections for the new millennium.", *Acta Orthop Scand*, vol. 71(5), pp. 465-70, 2000.
- [2] A. Roux, L. Decroocq, S. El Batti et al., "Epidemiology of proximal humerus fractures managed in a trauma center," *Orthopaedics and Traumatology: Surgery and Research*, vol. 98, no. 6, pp. 715–719, 2012.
- [3] JC Katthagen, M. Huber, S. Grabowski et al. "Failure and revision rates of proximal humeral fracture treatment with the use of a standardized treatment algorithm at a level-Itrauma center", *J Orthop Traumatol*, vol. 18, pp. 265–274, 2017.
- [4] F. C. van der Helm, "A finite element musculoskeletal model of the shoulder mechanism," *J. Biomech.*, vol. 27, pp. 551–569, May 1994.
- [5] K. R. S. Holzbaur, W. M. Murray, and S. L. Delp, "A model of the upper extremity for simulating musculoskeletal surgery and analyzing neuromuscular control." *Ann. Biomed. Eng.*, vol. 33, pp. 829–840, Jun. 2005.
- [6] Edward K. Chadwick and Dimitra Blana and Robert F. Kirsch and Antonie J. van den Bogert, "Real-Time Simulation of Three-Dimensional Shoulder Girdle and Arm Dynamics.", *IEEE transactions on bio-medical engineering*, vol. 1, no.7, pp. 1947-56, 2014.

# Chimie atmosphérique de l'iode de l'échelle moléculaire aux modèles de chimie-transport

---

Valérie Fèvre-Nollet<sup>1,4</sup> Patrick Lebègue<sup>1,4</sup> Florent Louis<sup>2,4</sup> Camille Fortin<sup>2,4</sup> Frédéric Cousin<sup>3,4</sup>

{valerie.nollet, patrick.lebegue, florent.louis, camille.fortin}@univ-lille.fr frederic.cousin@irsn.fr

<sup>1</sup> IUTA, Université de Lille

Physicochimie des Processus de Combustion et de L'Atmosphère (PC<sub>2</sub>A) , UMR 5822

<sup>2</sup> Université de Lille

Physicochimie des Processus de Combustion et de L'Atmosphère (PC<sub>2</sub>A), UMR 8522

<sup>3</sup> Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN)  
PSN-RES, Cadarache

<sup>4</sup> IRSN-CNRS-Université de Lille  
Cinétique Chimique, Combustion, Réactivité (C<sup>3</sup>R), Cadarache

**THÈMES** – *Énergie - Environnement*

**RÉSUMÉ** – *Les outils de modélisation sont couramment utilisés afin de prédire les conséquences radiologiques du relâchement de produits de fission suite à un accident nucléaire. Après l'accident de Fukushima, des désaccords importants ont été observés entre les concentrations mesurées et modélisées pour l'iode 131. Le but de ces travaux est de développer une méthodologie permettant de conduire à une meilleure compréhension de la chimie de l'iode. Cette méthodologie intègre des outils de modélisation appartenant à des domaines de recherche très spécifiques tels que les calculs de chimie théorique pour compléter les bases de données thermocinétiques, la modélisation 0D pour étudier la réactivité chimique et la modélisation chimie-transport 3D. L'étude de la réaction entre les atomes d'iode et H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> montre que l'abstraction du radical OH est la voie préférentielle. L'étude via le modèle 0D a mis en lumière l'importance des concentrations de polluants ambiants tels que l'ozone ou les oxydes d'azote sur la formation des oxydes et nitroxydes d'iode. La modélisation 3D de la qualité de l'air est utilisée pour interpréter les retombées de l'accident de Fukushima.*

**MOTS-CLÉS** – *Iode, atmosphère, chimie, modélisation*

## 1 Introduction

L'iode est un élément chimique relativement rare dans le milieu naturel. Dans l'atmosphère, on le trouve sous forme de trace, sa source principale est d'origine marine (algues, planctons). C'est un oligo-élément essentiel au bon fonctionnement de l'organisme chez l'homme mais sa carence ou son excès peuvent mener à des pathologies sévères. En cas d'accident grave sur un réacteur de centrale nucléaire, des quantités importantes de radionucléides dont l'iode fait parti peuvent être relâchées. L'inhalation, l'ingestion ou le contact avec cet élément radioactif sous ces différentes formes chimiques peut avoir des conséquences dramatiques. Des modèles sont développés pour prédire les rejets, réactivité, transport et rabattement d'iode radioactif dans l'atmosphère afin de prédire rapidement l'exposition des populations en situation d'urgence. L'objectif de ces travaux de recherche est de développer une méthodologie comprenant un ensemble d'outils computationnels nous permettant d'interpréter les valeurs de dépôts mesurés pour l'iode lors de l'accident de Fukushima. Nous présentons des outils de modélisation tels que les calculs de chimie théorique pour compléter les bases de données thermocinétiques, la modélisation 0D pour étudier la réactivité chimique et la modélisation chimie-transport 3D pour l'étude spatio-temporelle du panache d'iode rejeté par la centrale.

## 2 Les calculs de chimie théorique

La chimie théorique se base sur un raisonnement théorique fondamental et permet de calculer à l'aide des mathématiques et de la physique des données moléculaires et thermocinétiques pour des espèces chimiques ou des réactions encore non explorées en science expérimentale. Le code de calcul utilisé est GAUSSIAN09 [1]. La figure 1 présente les résultats de calculs réalisés pour la réaction entre I et  $H_2O_2$  [2].

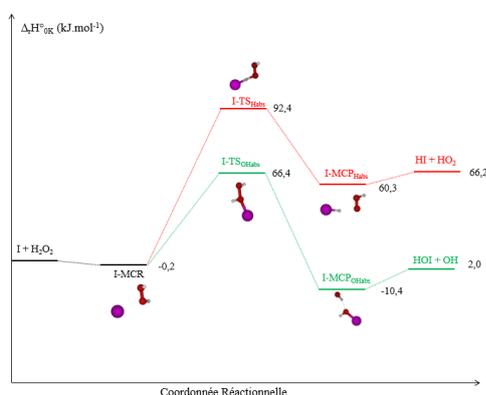


FIGURE 1 – Schéma énergétique représentatif de la réaction entre I et  $H_2O_2$

Les énergies ont été calculées au niveau de théorie CCSD(T)/CBS(T,Q) sur les géométries obtenues par la méthode B3LYP/aug-cc-pVTZ. Elles ont mis en évidence le profil réactionnel et l'identification de la voie préférentielle produisant HOI et OH et permettent de calculer les paramètres thermocinétiques qui serviront par la suite de base de données pour des systèmes chimiques plus complexes.

## 3 La modélisation 0D

La modélisation 0D permet d'appréhender la réactivité de l'iode en s'affranchissant de la variation de la composition de l'atmosphère (conditions météorologiques, émissions, ...). Seules les réactions chimiques sont prises en compte. On obtient une masse en fonction du temps pour les espèces atmosphériques et les espèces iodées. De nombreux paramètres sont fixes : la température, la pression, les conditions initiales de polluants, les apports en polluants et le terme source qui représente le rejet d'iode (Fig. 2). Le code de calcul ASTEC (Accident Source Term Evaluation Code) a été choisi prenant en compte le solveur chimique SOPHAEROS. A partir d'un relâchement d'iode sous la

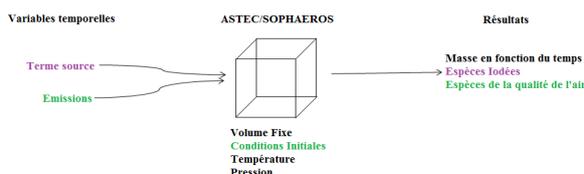


FIGURE 2 – Schéma de fonctionnement du modèle 0D

forme de  $I_2$  ou de  $CH_3I$ , on met en évidence une réactivité importante de l'iode en interaction avec les oxydes d'azote ( $NO_x$ ), les composés organiques volatils (COV) et l'ozone ( $O_3$ ) présents dans l'atmosphère qui conduit à la formation de nitroxydes ( $IONO_2$  et  $INO_2$ ) et d'oxydes ( $I_2O_5$ ,  $HIO_3$ ) d'iode ainsi que de composés iodés organiques [3].

## 4 La modélisation 3D

La modélisation de chimie-transport (CTM) permet d'étudier la réactivité de l'iode à grande échelle dans des conditions les plus proches des conditions atmosphériques. Les modèles CTM sont des modèles déterministes eulériens, ils sont basés sur la description mathématique des phénomènes atmosphériques. Ils utilisent des grilles pour calculer l'évolution temporelle et spatiale de la concentration d'espèces chimiques choisies sur un domaine défini. Ce code prend en compte de nombreux paramètres représentatifs du domaine et de son environnement tels que la nature des sols, les concentrations initiales et aux limites de polluants, les émissions, la météo etc... Nos calculs sont réalisés à l'aide du code Polair3D de la plateforme Poly-

phémus [4] développée par le CEREIA (Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique). Avant d'effectuer les divers tests dans le cas d'un rejet d'iode suite à un accident nucléaire, il est nécessaire de valider le modèle sur les données météorologiques et de qualité de l'air. Pour ce faire, les concentrations calculées pour les principaux polluants de l'air ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_3$ ) ainsi que les paramètres météorologiques sont comparés avec ceux mesurés par les stations de surveillance de l'air. Cette étude est réalisée sur un large territoire centré sur la zone de l'accident afin de réaliser plusieurs jours de simulation en continu. Lorsque les valeurs calculées sont en concordance avec les mesures des stations, le rejet accidentel d'iode est simulé. Les rejets de Fukushima se sont déroulés sur plus de 25 jours et la quantité d'iode relâchée est estimée à environ 1,5 kg [5]. A titre d'exemple est représenté sur la figure 3, le résultat d'une modélisation de la dispersion d'un panache d'iode 46 heures après un rejet de 1,5 kg. En abscisses et ordonnées sont respectivement indiquées les longitudes ( $^\circ\text{E}$ ) et latitudes ( $^\circ\text{N}$ ) et la palette de couleur indique les concentrations de  $\text{I}_2$  en ppb.

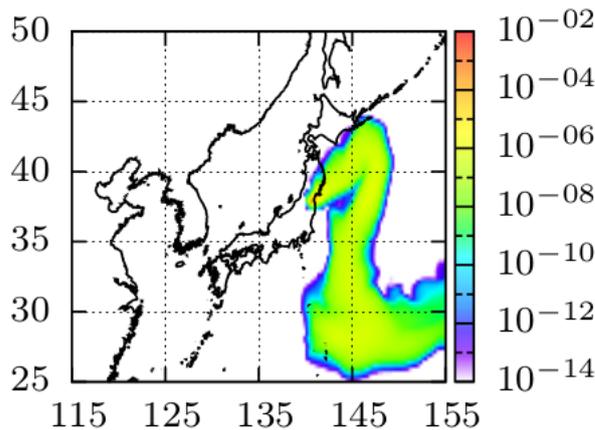


FIGURE 3 – Modélisation de la dispersion du rejet d'iode de Fukushima Daiichi 46h après l'accident

## 5 Conclusions

La méthodologie que nous avons développée afin d'interpréter les valeurs de dépôts mesurés pour l'iode lors de l'accident de Fukushima intègre des méthodes de calcul relativiste de haut niveau, des modélisations 0D et 3D. Elle peut être complétée par le développement d'outils expérimentaux permettant de compléter nos bases de données et nos résultats dans le cadre de l'étude de l'iode d'origine nucléaire et d'origine naturelle. Cette méthodologie peut également s'appliquer à l'étude d'autres éléments chimiques

gazeux ou sous la forme d'aérosols en chimie atmosphérique comme en combustion.

## 6 Remerciements

Ce travail fait partie du projet CaPPA (Chemical and Physical Properties of the Atmosphere), financé par l'ANR (ANR-11-LABX-0005-01), par la région Nord-Pas de Calais et le FEDER. Il prend place également au sein d'une collaboration internationale entre le "Department of Physical and Theoretical Chemistry" de l'Université de Comenius en Slovaquie, l'IRSN, l'Université de Lille et le CNRS. Les auteurs remercient également le Centre de Ressources Informatiques (CRI) de l'Université Lille ainsi que le Centre de Ressources Informatiques de Haute Normandie (CRIANN).

## Références

- [1] Michael J. Frisch, Gary W. Trucks, H B. Schlegel, Gustavo E. Scuseria, Michael A. Robb, James R. Cheesman, Giovanni Scalmani, Vincenzo Barone, Benedetta Mennucci, George A. Petersson et al, *Gaussian 09, revision D01*, Gaussian INC. Wallingford CT, 2013
- [2] Camille Fortin, Sarah Khanniche Dora Khiri Valérie Fèvre-Nollet, Patrick Lebègue, Frédéric Cousin, Ivan Cernusak, Florent Louis, *Reactivity of Hydrogen Peroxyde with Br and I Atoms*, The Journal of Physical Chemistry A 122(4), 2018, p. 1053 - 1063
- [3] Florent Louis, Camille Fortin, Sarah Khanniche, Arnaud Villard, Valérie Fèvre-Nollet, Patrick Lebègue, Laurent Cantrel, Frédéric Cousin, Ivan Cernusak, *Atmospheric Chemistry of Iodine from molecular level to chemistry-transport modelling*, International Conference on Aerosol Cycle (ICAC), Villeneuve d'Ascq, 21-23 mars, 2017
- [4] Vivien Mallet, Denis Quélo, Bruno Sportisse, Meryem Ahmed de Biais, Edouard Debry, Lin Wu, Yelva Roustan, Karine Sartelet, Marilyne Tombette, *Technical Note : The air quality system Polyphemus*, Atm. Chem. Phys., 7, 2007, p. 5479
- [5] Victor Winiarek, Marc Bocquet, Olivier Saunier, Anne Mathieu, *Estimation of errors in the inverse modeling of accidental release of atmospheric pollutants : Application to the reconstruction of the cesium-137 and iodine-131 source terms from the Fukushima Daiichi power plant*, Journal of geophysical Research : Atmospheres (1984-2012), vol. 117, D5, 2012

---

## Développement de MicroCapteurs pour la détection de vapeurs d'éthanol : Application au suivi du taux d'alcoolémie par perspiration cutanée

---

Bruno Lawson, Khalifa Aguir, Virginie Martini-Laithier, Tomas Fiorido,  
Rachid Bouchakour, Marc Bendahan

bruno.lawson@im2np.fr, khalifa.aguir@im2np.fr, virginie.laithier@im2np.fr, tomas.fiorido@im2np.fr,  
rachid.bouchakour@im2np.fr, marc.bendahan@im2np.fr

Aix Marseille Univ, Université de Toulon, CNRS, IM2NP, Marseille, France

**Thèmes** – *Physico-Chimie - Microélectronique - Matériaux- Santé*

**Résumé** – *Savez-vous que la peau dégage plusieurs gaz qui peuvent être dans certains cas des biomarqueurs de notre état de santé ? Précisons tout de suite, que ces vapeurs sont émises à de très faibles concentrations, inférieures au seuil olfactif humain pour être ressenties. Mes travaux de recherches consistent à développer des microcapteurs et multicapteurs de gaz à base d'oxydes métalliques (MOX) pouvant détecter des vapeurs d'alcool à la surface de la peau (phénomène dit de perspiration). Après estimation précise de la concentration de l'alcool cutanée, ces capteurs seront dotés d'un algorithme pouvant corrélérer cette concentration à l'alcoolémie sanguine. L'originalité de ces travaux repose particulièrement sur l'aspect non invasif du dispositif et la mesure en continue, comparativement aux techniques de détection d'alcoolémie qui existent (prise de sang, échantillon d'urine, air expiré), mais aussi par sa portabilité (dimensions des puces multicapteurs 2mm\*2mm) et sa faible énergie de consommation.*

**Mots-Clés** – *Capteurs à base d'oxydes métalliques, perspiration, alcool transdermique, détection d'éthanol, bracelet connecté.*

## 1 Introduction

L'alcoolisme représente en France la deuxième cause de mortalité avec près de 49000 décès (cancer, cirrhose, psychose alcoolique) par an. L'alcool est responsable d'un tiers des accidents de la route. Pour lutter contre ce fléau, le projet de recherche APPRISE (Assitant Personnel de Prévention Santé) financé par la fondation A\*MIDEX s'est consacré au développement de capteurs à base d'oxydes métalliques ( $\text{SnO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{ZnO}$ ...) [1] pour surveiller d'une manière non invasive et en continu, l'alcoolémie sanguine en mesurant la concentration d'éthanol émise par la perspiration. La Perspiration Insensible Epidermique (PIE) est une vapeur insensible et imperceptible, continue émise au niveau de la couche cornée par les membranes cellulaires épidermiques et constituée d'environ 400 différents Composés Organiques volatiles (COV), dont l'éthanol. Se basant sur les travaux de Nyman et Palmlov, cette concentration d'éthanol accroît en fonction de la quantité d'alcool ingérée. En effet 1% de l'alcool consommé est éliminé par la peau sous état pur (éthanol) [2]. L'objectif est d'une part de démontrer la faisabilité de cette détection par des essais cliniques réalisés avec des capteurs commerciaux à base d'oxydes métalliques et d'autre part de réaliser par la suite des capteurs à base de dioxyde d'étain ( $\text{SnO}_2$ ) pour une meilleure détection de l'alcool transdermique (plus sensible, à faible consommation et sélectif à l'éthanol).

## 2 Essais cliniques

Avant la mise en place des essais cliniques, des études préliminaires concernant la sélection et la calibration des capteurs commerciaux à base d'oxydes métalliques ont été réalisées sur un banc de génération de vapeur d'éthanol décrit ci-dessous.

### 2.1 Description du dispositif expérimental

Le banc de génération de vapeur d'éthanol est un banc automatisé, composé de 3 parties :

- Un système de génération de vapeur d'éthanol par un dispositif à perméation, avec différentes étapes de dilutions via plusieurs Mass Flow Controllers.
- Une enceinte thermostatée avec contrôle de température (fixée à  $33^\circ\text{C}$  : température moyenne de la surface de la peau) et d'humidité intégrant une chambre de test recevant le flux d'éthanol pour la caractérisation des capteurs.
- Un système de contrôle et d'acquisition de signaux, composé de plusieurs source-mètres et d'une alimentation programmable.

### 2.2 Calibration d'un capteur commercial

De nombreux capteurs commerciaux à base d'oxydes métalliques ont été caractérisés dans le banc de test décrit précédemment. Le capteur le plus sensible à l'éthanol et présentant la plus faible consommation (MICS 5524 : SGX Sensor) a été retenu pour être intégré dans le bracelet destiné aux essais cliniques.

Des concentrations d'éthanol comprises entre 1 ppm et 100 ppm ont été étudiées pour une exposition de 30 s (figure 1). La réponse du capteur est définie par la suite comme le rapport de la résistance sous air (gaz vecteur) et de la résistance sous éthanol ( $R_{\text{air}}/R_{\text{ethanol}}$ ).

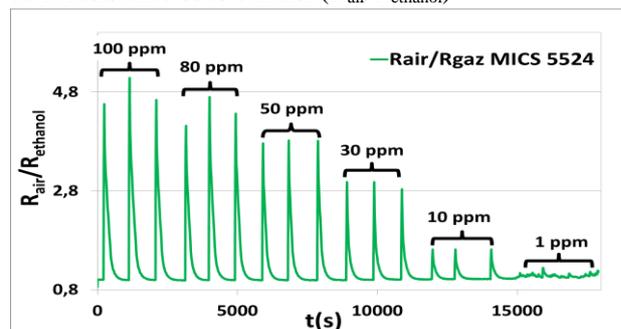


Figure 1- Réponse des capteurs MOX sous différentes concentrations d'éthanol

Rappelons que les mécanismes de détection à la surface des oxydes métalliques sont essentiellement basés sur la chimisorption qui est principalement constituée de réactions d'oxydo-réduction qui font intervenir des échanges d'électrons entre le gaz (l'éthanol) et le matériau sensible (l'oxyde métallique) entraînant la variation de la conductance du capteur.

### 2.3 Réalisation des essais cliniques

Les essais cliniques ont été réalisés en collaboration avec l'équipe de pharmacologie CPCET (Centre de Pharmacologie Clinique et Evaluations Thérapeutiques) de l'hôpital de la Timone (Marseille). La CPCET était d'une part en charge du recrutement des volontaires sains, suivant différents critères d'inclusions tels que l'âge, le sexe, l'indice de masse corporelle, etc...Ainsi, six volontaires sains (3 hommes, 3 femmes) ont été recrutés et 2 cohortes d'alcoolémies sanguines ont été appliquées durant ces essais cliniques (0.5g/l et 0.8 g/l) en rapport avec la législation en France concernant l'alcool au volant (0,5g/l = 140 ppm d'éthanol dans l'air expiré). D'une autre part, elle était en charge de la préparation de la dose d'alcool (Vodka + jus d'orange) ingérée par chaque volontaire, de l'analyse du sang et de l'air alvéolaire.

Nous avons intégré le capteur sélectionné dans un bracelet comportant une cavité de recueil (0.5  $\text{cm}^3$  de volume) de la perspiration et nous avons conçu un banc mobile pour les essais cliniques. Précisons que tous les protocoles ont été approuvés par le comité d'éthique de l'Agence Nationale pour la Sécurité des Médicaments et

des Produits de Santé (ANSM).



Figure 2- a) Bracelet intégrant le capteur MOX (MICS 5524)  
b) Banc mobile réalisé pour les essais cliniques

Des prélèvements simultanés de sang et d'air expiré sur chaque volontaire ont été effectués à différents instants, après la consommation d'alcool à T 0', 15', 30', 45', 60', 1h30, 2h, 2h30, 3h, 4h, 6h, 8h, 10h. Nous présenterons par la suite la comparaison entre l'alcoolémie sanguine, l'alcoolémie dans l'air expiré et les mesures de l'éthanol transdermique effectuées à l'aide du bracelet que nous avons développé.

### 3 Résultats des essais cliniques

Sur la figure 3, nous avons représenté les résultats des différents tests réalisés sur un des volontaires ayant consommé l'équivalent de 0,8g d'alcool par litre de sang en suivant le taux d'alcoolémie par trois techniques :

- Prélèvement sanguin,
- Air expiré (éthylomètre DRAGGER 7410),
- Perspiration (bracelet-capteur MOX).

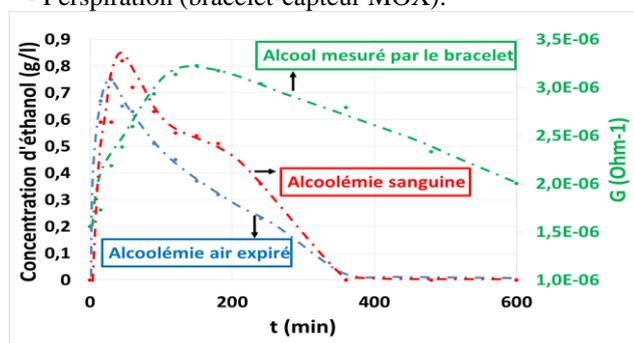


Figure 3 – Comparaisons des concentrations d'alcool pour le sang, l'air expiré et le capteur MICS 5524

A partir de la figure 3, nous remarquons une variation significative de la conductance du capteur après ingestion de l'alcool. Au bout de 6h les traces d'alcool dans le sang et dans l'haleine se sont dissipées. En revanche, la peau émet toujours de l'éthanol 10h après la consommation. Ceci est expliqué par la cinétique très lente de l'évacuation de l'alcool par la peau. Le retard entre le pic alcoolémie sanguine et le pic éthanol transdermique est estimé à 80 minutes. Ces mesures démontrent qu'il est donc possible d'estimer le taux d'alcoolémie sanguine par l'utilisation de capteurs MOX à la surface de la peau.

Après avoir démontré la pertinence de cette méthodologie en utilisant un capteur MOX commercial

(MICS 5524) ; nous avons poursuivi notre étude en développant nos propres capteurs MOX à base de SnO<sub>2</sub>, afin d'améliorer les performances de détections de l'éthanol (forte sensibilité à l'éthanol en présence de humidité comme interférent : HR 50%).

### 4 Capteurs réalisés à base de SnO<sub>2</sub>

Des couches sensibles de SnO<sub>2</sub> (50nm) ont été réalisées par pulvérisation cathodique magnétron sur des transducteurs (2x2mm) brevetés par l'équipe Microcapteurs et Instrumentations (MCI) de l'IM2NP. La figure 4 montre la réponse de ces capteurs sous éthanol dans les mêmes conditions de tests que le capteur commercial MICS 5524.

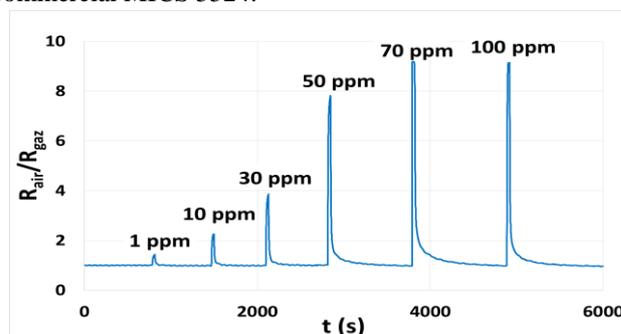


Figure 4 - Réponse du capteur à base de SnO<sub>2</sub> sous éthanol

Réponses	1 ppm	10 ppm	30 ppm	50 ppm	100 ppm
Capteur MICS	1,22	1,59	2,95	3,80	4,84
Capteur IM2NP	1,43	2,26	3,84	7,82	9,17

Tableau 1 : comparaison des réponses capteurs IM2NP-capteur industriel MICS5524 (mêmes conditions de tests)

Nous constatons que les capteurs à base de SnO<sub>2</sub> sont beaucoup plus sensibles (tableau 1), plus stables, et avec une consommation (55mW) inférieure à celle du capteur MICS 5524 (65mW).

### 5 Conclusions et perspective

Cette étude a permis de démontrer la faisabilité d'une surveillance non invasive de l'alcoolémie sanguine en utilisant un capteur MOX commercial. Les capteurs à base de SnO<sub>2</sub> réalisés au sein de notre équipe sont beaucoup plus sensibles, plus stables pour une détection de l'éthanol transdermique.

Par la suite, des études de sélectivité seront réalisées pour l'optimisation de la détection.

### Références

- [1] J. Zhan, Facile Synthesis of highly ethanol-sensitive SnO<sub>2</sub> nanoparticles, Sens. and Act. B 139, 2009, p. 369-374.
- [2] J.C. Anderson and Al, The kinetics of transdermal ethanol exchange, Appl Physiol., 100, 2006, p. 649-655.

---

## Elaboration d'un matériau bioactif par greffage des molécules azidées sur des fibres lignocellulosiques

---

Zineb Khaldi <sup>1,2</sup>  
zineb.khaldi@unilim.fr

Tan-Sothea Ouk <sup>1,2</sup>  
tan-sothea.ouk@unilim.fr

Rachida Zerrouki <sup>1</sup>  
rachida.zerrouki@unilim.fr

<sup>1</sup> Laboratoire PEIRENE (EA7500), Université de Limoges  
Bâtiment J, Faculté des Sciences et Techniques  
123, avenue Albert Thomas 87060 Limoges

<sup>2</sup> IUT du Limousin, Université de Limoges  
Département Génie Biologique  
Allée André Maurois 87065 Limoges

**Thèmes** – Chimie - Biologie - Environnement - Matériaux

**Résumé** – *Les contaminations des surfaces constituent un problème de santé public rencontré dans plusieurs secteurs tels que les hôpitaux et l'industrie alimentaire. Cette contamination consiste en l'adhésion de bactéries pathogènes ou opportunistes qui peuvent former des biofilms. Un biofilm représente une communauté de bactéries entourées d'une matrice polymérique. Les bactéries au sein d'un biofilm sont plus résistantes aux antibiotiques et aux désinfectants que les cellules bactériennes planctoniques (non-organisées en biofilm). Une voie efficace de lutte contre cette contamination est l'élaboration de surfaces antibactériennes visant à empêcher ou diminuer l'adhésion bactérienne. Le présent article décrit la conception de matériaux antibactériens par greffage covalent des petites molécules aromatiques portant un groupement azoture sur des fibres lignocellulosiques. Les tests microbiologiques avec deux souches bactériennes confirment l'effet antimicrobien de certains matériaux élaborés. Ce projet entre dans la thématique de l'élaboration de matériaux bioactifs à partir de fibres lignocellulosiques en utilisant des méthodes respectueuses de l'environnement.*

**Mots-Clés** – *Fibres celluloses ; matériaux antibactériens ; chimie « click »*

## 1 Introduction

Les contaminations des surfaces par des bactéries et l'émergence de souches résistantes aux antimicrobiens constituent des problématiques très préoccupantes qui conduisent à la mise en place de diverses stratégies pour leur propagation. Le développement de nouvelles classes d'agents bioactifs, avec une structure et un mode d'action différents des biocides conventionnels, s'avère prometteur pour l'inactivation de microorganismes résistants.

Le 1,2,3 triazole et ses dérivés constituent, à cet effet, des substrats de base pour la conception et la synthèse d'une grande variété de composés d'intérêt pharmacologique. Ils sont largement connus pour leurs propriétés anti-inflammatoires [1], fongicides [2] et anti-bactériennes [3]. Des dérivés du triazole ont été utilisés pour développer des matériaux antibactériens [4,5].

Dans le cadre de la valorisation de la biomasse, et pour répondre aux problèmes de bio-contamination des surfaces, nous nous sommes intéressés au greffage covalent de différents aryles portant des substituants ( $R'$ ) avec différents effets donneurs et attracteurs, sur des fibres lignocellulosiques.

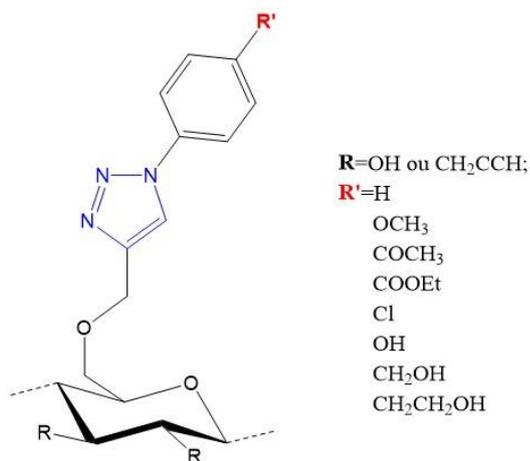


Figure 1 – Matériaux développés

L'activité antibactérienne du support obtenu (Figure 1) a été évaluée sur deux souches bactériennes référencées, *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli*.

## 2 Résultats et discussion

Dans un premier temps, on procède à la synthèse de l'aryle azidé, puis ce dernier est couplé à la pâte Kraft propargylée, par réaction de cycloaddition de Huisgen catalysée par le cuivre I, entre l'azoture ( $-\text{N}_3$ ) et l'alcyne ( $-\text{C}\equiv\text{CH}$ ) (Figure 2), permettant la création d'un lien triazole.

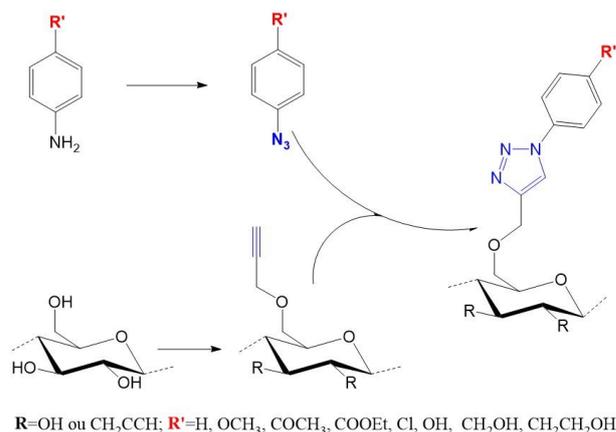


Figure 2 – Schéma général de synthèse

Les matériaux obtenus après greffage sont caractérisés par spectrométrie Infra Rouge (FTIR) et par spectroscopie photoélectronique X (XPS). Les analyses confirment le greffage des différents aryles sur les fibres cellulosiques de pâte Kraft. Un Degré de Substitution (DS) de 0,2 a été déterminé, c'est-à-dire 2 molécules aryles greffées pour 10 unités anhydroglucose (UAG).

A la suite de l'obtention des différents matériaux, des feuilles ont été préparées à partir de ces derniers et des tests microbiologiques ont été effectués afin d'évaluer leur activité antibactérienne. Les tests microbiologiques ont été réalisés sur deux souches bactériennes : une souche Gram-positive, *S. aureus* CIP 76.25 et une souche Gram-négative, *E. coli* CIP 54.8T.

L'évaluation de l'activité antibactérienne des matériaux obtenus a été réalisée selon une méthode basée sur la norme AATCC100 « *Assessment of Antibacterial Finish Textile Materials* ». C'est une méthode quantitative normalisée pour les textiles qui se déroule en deux étapes, un dénombrement des bactéries à  $t_0$  suivi d'un dénombrement à  $t_{24}$ , permet de tester l'activité antibactérienne après 24h de contact entre les différents matériaux et les bactéries. Au cours de ces tests, nous avons utilisé, comme contrôles négatifs, la pâte Kraft non modifiée (PK) et la pâte Kraft propargylée (PK-Prop).

Pour *E.coli*, après 24 heures de contact avec les matériaux greffés avec les aryles triazoles portant les substituants  $R' = \text{CH}_2\text{OH}$  et  $R' = \text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ , un effet bactériostatique a été observé. La croissance bactérienne est bloquée, elle est similaire à celle observée à  $t_0$  (Figure 3).

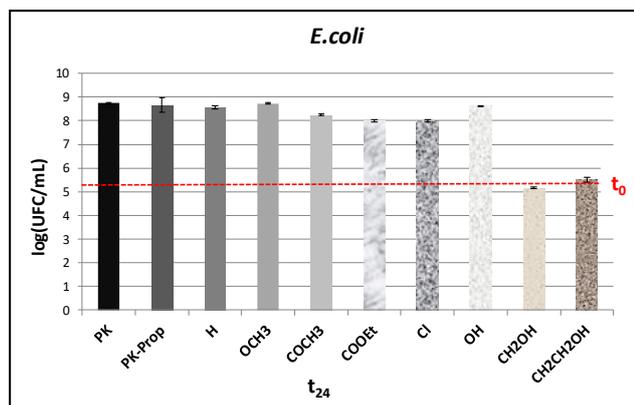


Figure 3 – Dénombrement bactérien (log UFC/mL) après 24h de contact d'*E.coli* avec les différents matériaux. UFC = Unité Formant Colonies.

Pour *S.aureus*, un effet bactériostatique a été observé pour les matériaux greffés avec les aryles triazoles portant les substituants  $R'=\text{OCH}_3$  et  $R'=\text{COCH}_3$ . Pour le composé portant le substituant  $R'=\text{COOEt}$ , un effet bactéricide a été observé avec un taux d'inhibition de 45% par rapport à  $t_0$  (Figure 4).

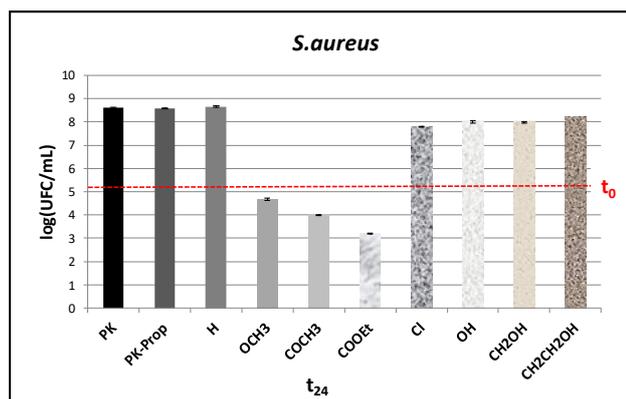


Figure 4 – Dénombrement bactérien (log UFC/mL) après 24h de contact de *S.aureus* avec les différents matériaux.

### 3 Conclusions

Dans cette étude, nous avons développé de nouveaux matériaux antimicrobiens en greffant différents arylazides sur des fibres lignocellulosiques de pâte Kraft, en utilisant la réaction de cycloaddition de Huisgen catalysée par le cuivre (I) (CuAAC). Les tests microbiologiques indiquent que, selon le motif greffé, les matériaux élaborés acquièrent un pouvoir bactériostatique voire bactéricide. Ces nouveaux matériaux bloquent la croissance des bactéries, limitant leur prolifération et donc la formation de biofilm.

Les matériaux développés sont obtenus par une méthode simple qui respecte les principes de la chimie verte.

### Références

- [1] R. De Simone, MG. Chini, I. Bruno, et al. *Structure-based discovery of inhibitors of microsomal prostaglandin E2 synthase-1, 5-lipoxygenase and 5-lipoxygenase-activating protein: promising hits for the development of new anti-inflammatory agents*. J Med Chem, 54, **2011**, 1565-75.
- [2] W. Junqi, N. Tingjunhong, C. Xiaoyun, et al. *Molecular docking, design, synthesis and antifungal activity study of novel triazole derivatives*. European Journal of Medicinal Chemistry, 143, **2018**, 1840-1846.
- [3] D. Kumar, Beena, G. Khare, et al. *Synthesis of novel 1,2,3-triazole derivatives of isoniazid and their in vitro and in vivo antimycobacterial activity evaluation*. European Journal of Medicinal Chemistry 81, **2014**, 301-313
- [4] Q. Li, W. Tan, C. Zhang, G. Gu, et al. *Novel triazolyl-functionalized chitosan derivatives with different chain lengths of aliphatic alcohol substituent: Design, synthesis, and antifungal activity*. Carbohydrate Research, 418, **2015**, 44–49.
- [5] Q. Li, W. Tan, C. Zhang, G. Gu, et al. *Synthesis of water soluble chitosan derivatives with halogeno-1,2,3-triazole and their antifungal activity*. International Journal of Biological Macromolecules 91, **2016**, 623–629.

---

## Projet AROMATIC : vers une amélioration de la qualité sanitaire des produits laitiers dans les pays chauds de manière durable grâce à des conservateurs naturels

---

Coralie Dupas-Farrugia<sup>1</sup>, Isabelle Adt<sup>1</sup>, Halima El Hatmi<sup>2</sup>, Samir A. Mahgoub<sup>3</sup>,  
Emilie Dumas<sup>1</sup>

coralie.dupas-farrugia@univ-lyon1.fr isabelle.adt@univ-lyon1.fr elhatmihalima@yahoo.fr  
mahgoub.samir@gmail.com emilie.dumas@univ-lyon1.fr

<sup>1</sup> IUT Lyon 1, Université Claude Bernard Lyon 1  
Laboratoire BioDyMIA, EA 3733

<sup>2</sup> Institut des Régions Arides (Tunisie)  
Laboratoire d'Élevage et de la Faune Sauvage.

<sup>3</sup> Zagazig University (Égypte)  
Department of Agricultural Microbiology

**Thèmes** -- *Biologie - Santé – Autres : Agroalimentaire*

**Résumé** – *Les produits laitiers jouent un rôle primordial dans l'apport de nutriments essentiels tels que protéines, vitamines et minéraux. Cependant, la mauvaise qualité sanitaire du lait cru destiné à la consommation directe dans certains pays méditerranéens, combinée à des conditions climatiques défavorables, entraîne des rejets de déchets lorsque la surproduction de lait est associée à un manque d'industries de transformation et / ou de mauvaises conditions de réfrigération. Le projet AROMATIC (ARIMNET 2 France-Tunisie-Egypte) vise à développer des méthodes simples et efficaces utilisant des conservateurs naturels, en puisant dans les méthodes traditionnelles de production des fromages et le potentiel des plantes, pour mieux protéger le lait cru contre la contamination microbienne, avant la consommation directe ou la fabrication de fromages. Le projet devrait fournir des méthodes simples pouvant être appliquées par les petits producteurs pour améliorer la sécurité et la qualité du lait cru et de ces produits dérivés, même en l'absence d'installations laitières industrielles.*

**Mots-Clés** – *Produits laitiers, composés phénoliques, peptides bioactifs*

## 1 Contexte du projet

Le secteur des produits laitiers se caractérise par des volumes de production élevés et une importante diversité des produits en France, mais aussi dans beaucoup de pays méditerranéens. Ces produits jouent un rôle primordial dans l'alimentation des consommateurs locaux de tous âges pour l'apport de nutriments essentiels tels que protéines, vitamines et minéraux, et représentent également une ressource intéressante pour la subsistance économique des zones marginales dans les pays chauds tels que la Tunisie et l'Égypte.

Cependant, dans ces pays, les conditions climatiques, combinées à de mauvaises conditions hygiéniques et de réfrigération peuvent entraîner des problèmes de conservation du lait cru liés à un développement microbien important. Ceci pose des problèmes de sécurité sanitaire mais également économique et écologique avec des rejets de déchets lors d'une surproduction de lait, associée à un manque d'industries de transformation. De plus, cette courte durée de conservation constitue un obstacle à une distribution sur de plus longues distances. Enfin, dans des pays tels que l'Égypte, une croyance populaire profondément enracinée fait que de nombreux consommateurs considèrent le lait cru comme un produit plus sûr que le lait traité thermiquement. Or, sa consommation, notamment par des nourrissons, peut avoir des conséquences dramatiques [1].

Ces facteurs constituent une menace importante pour l'environnement et posent un véritable problème de santé publique dans ces pays. Ces problématiques sont dans une moindre mesure transposables à la France, car le nombre de consommateurs qui achètent directement le lait cru au producteur est en augmentation dans les pays développés à cause de la méfiance envers les aliments transformés, propagée notamment par les réseaux sociaux.

Le projet AROMATIC (ARIMNET 2 France-Tunisie-Egypte, 2018-2020) vise à développer des méthodes simples et efficaces utilisant des composés antimicrobiens et / ou des antioxydants issus de plantes ou du lait lui-même, en puisant dans les procédés traditionnels de fabrication des fromages et le vivier des plantes à usage médicinal traditionnel, pour mieux protéger le lait cru contre la contamination microbienne, avant la consommation directe ou la fabrication de fromages.

## 2 Comment conserve-t-on le lait cru ?

Le lait cru et les fromages à base de lait cru peuvent être une source majeure de bactéries potentiellement dangereuses pour l'homme, comme *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* ou les *Escherichia coli* pathogènes [2]. Il existe deux façons principales de le conserver :

- Soit tel quel, sans transformation,
- Soit sous forme transformée.

### 2.1 Conservation du lait cru sans transformation

Selon un Guide de bonnes pratiques Pratique édité par la Fédération Internationale de Laiterie (FIL) et approuvé par la Commission du Codex Alimentarius en 1991 (CAC / GL 13-1991), les seules techniques autorisées actuellement sont la réfrigération (ce qui pose le problème du maintien de la chaîne du froid dans les pays chauds) et l'activation du système lactoperoxydase (LPS), le système antibactérien naturel du lait. Tout autre ajout est interdit, mais de telles pratiques existent dans les faits.

En effet, si dans les pays européens, la distribution de lait cru est strictement réglementée et surveillée conformément au règlement (UE) n °852/2004, en Égypte, le lait cru est essentiellement fourni directement au consommateur par de nombreux petits producteurs laitiers qui le collectent et le transportent dans des conditions souvent peu hygiéniques, sans respect de la chaîne du froid. Pour maintenir la qualité microbiologique des substances laitières, des substances dangereuses telles que le formaldéhyde et le peroxyde d'hydrogène sont généralement ajoutés au lait en quantité non maîtrisées. En 2009, la Chambre égyptienne des industries alimentaires a estimé que ces pratiques concernaient jusqu'à 80% de l'industrie laitière de ce pays [3].

### 2.2 Conservation du lait cru sous forme transformée

La plus ancienne forme de conservation du lait cru est sa transformation par fermentation en différents produits (laits fermentés, yaourts, fromages...). En Europe et en France en particulier, de nombreux produits traditionnels (fromages surtout) sont fabriqués à partir de lait cru. L'Europe a commencé à édicter des règlements dans les années 1990, dans le but de permettre la survie de ces productions fromagères tout en garantissant la sécurité des consommateurs (Appellation d'Origine Contrôlée (A.O.C.)/ Appellation d'Origine Protégée (A.O.P.) par exemple). Cependant, en dépit de ces efforts, les fromages au lait cru demeurent une source d'intoxications alimentaires. Par exemple, *Listeria monocytogenes* (bactérie responsable de la listériose, maladie potentiellement mortelle pour les personnes immunodéprimées) a été mise en évidence dans du Pecorino Siciliano (PS) «primosale», un fromage sicilien frais au lait cru. Ceci indique de mauvaises pratiques d'hygiène notamment lors de la collecte et de la transformation du lait qui pourraient être communes à des produits artisanaux similaires [4]). C'est le cas en Égypte, concernant des fromages artisanaux locaux à base de lait cru (Karish et Ras) [2].

En Tunisie cependant, le problème est légèrement différent. Alors que la production de lait a considérablement augmenté [5] ces dernières années, le nombre d'unités de traitement thermique du lait reste insuffisant, ce qui entraîne des rejets dans la mer (environ 80 000 litres par jour ont été détruits à Beja en 2016 au plus haut de la crise) et favorise l'adultération du lait. Ainsi, le développement de productions fromagères à base de lait cru (actuellement quasi-inexistantes dans ce pays, avec moins de 800 g de fromage consommé par habitant et par an [5]) pourrait constituer un nouveau marché et une alternative au manque d'infrastructures.

Ces constats soulignent la nécessité d'améliorer l'hygiène de production dans toute la chaîne alimentaire des produits laitiers au lait cru, mais aussi d'introduire de nouvelles pratiques pour en améliorer la qualité sanitaire, notamment dans les zones rurales où l'acquisition de connaissances adéquates sur les questions de sécurité par les petits producteurs artisanaux est particulièrement difficile.

### 3 Vers une amélioration de la conservation du lait de manière naturelle et durable

#### 3.1 Des conservateurs naturels

Les plantes disposent d'un large arsenal de molécules leur permettant de se protéger des attaques microbiennes. Parmi elles, plusieurs classes de protéines ayant des propriétés antibactériennes et / ou antifongiques ont été proposées comme conservateurs naturels possibles pour le lait cru, notamment par l'équipe égyptienne impliquée dans le projet. Leurs travaux précédents ont montré que la supplémentation de lait cru ou pasteurisé avec des protéines de légumineuses méthylées ou natives, appliquées à deux concentrations différentes (0,1 et 1%) a permis d'améliorer sa qualité microbiologique après conservation à 4 °C pendant 5 jours [6].

L'autre stratégie envisagée consiste à utiliser des feuilles d'arbres et des extraits d'herbes locales pour la biopréservation de lait cru et de fromage dérivé, en se basant sur des pratiques traditionnelles. En effet, même si elles ont maintenant pour la plupart un rôle purement décoratif, les feuilles d'arbres ont longtemps été utilisées dans la transformation et l'emballage du fromage [7]. Elles sont parfois encore utilisées pour l'affinage du fromage comme c'est le cas pour le fromage de Banon, affiné 10 jours dans des feuilles de châtaigner [7]. Leur potentiel en tant que conservateurs pendant le stockage et la maturation du fromage est en cours d'évaluation au laboratoire BioDyMIA.

Enfin, les peptides antimicrobiens d'origine laitière apparaissant lors de l'affinage du fromage ou naturellement présents dans certains types de lait sont des sujets déjà explorés par les partenaires français et tunisiens et

devraient trouver des applications dans ce projet.

#### 3.2 Déroutement du projet

Les trois partenaires impliqués dans le projet AROMATIC évalueront le potentiel de ces plantes, extraits végétaux et peptides laitiers à améliorer la conservation du lait cru et de ses produits dérivés à travers une approche compréhensive de leur mode d'action antimicrobien et antioxydant. L'objectif est de sélectionner ceux qui garantissent le mieux la sécurité du consommateur sans inhiber les microorganismes impliqués dans le processus de transformation du lait en fromage et d'optimiser leur utilisation dans des conditions réelles de production. Au terme du projet, la capacité à produire des molécules bioactives à partir de plantes sera évaluée dans un lait contenant des associations microbiennes de bactéries pro-technologiques et de bactéries pathogènes particulièrement préoccupantes pour le lait cru.

### 4 Conclusion

Le projet devrait fournir des méthodes simples et / ou des mélanges antimicrobiens naturels et sûrs, innovants à commercialiser. Ceux-ci pourront être appliqués aux petits producteurs pour améliorer la sécurité et la qualité du lait cru et des produits dérivés, même en l'absence d'installations laitières industrielles. Les préoccupations sont différentes dans les trois pays concernés (intoxications dues au lait cru en Egypte, diminution des rejets de lait en Tunisie, maintien de pratiques traditionnelles en France), mais l'innovation proposée fournira une solution commune.

### Références

- [1] E.H.E. Ayad, N. Omran, et M. El-Soda, *Characterisation of lactic acid bacteria isolated from artisanal Egyptian Ras cheese*, *Le Lait*, 86 (4), 2006, p. 317-331
- [2] S. P. Oliver, B. M. Jayarao, et R. A. Almeida, *Foodborne Pathogens in Milk and the Dairy Farm Environment: Food Safety and Public Health Implications*, *Foodborne Pathog. Dis.*, 2 (2), 2005, p. 115-129
- [3] I. El-Kharbotly, *Milk in Egypt: Spotlight on a Dilemma*, *Journal of Global Health*, août 2014
- [4] G. M. Giammanco, A. Pepe, A. Aleo, V. D'Agostino, S. Milone, et C. Mammina, *Microbiological quality of Pecorino Siciliano "primosale" cheese on retail sale in the street markets of Palermo, Italy.*, *New Microbiol.*, 34(2), 2011, p. 179-185
- [5] M. Merdji, S. Tozanli, et M. Kussman, *Le marché des produits laitiers: Etude sur les débouchés internationaux*, *Projet Européen Lactimed*, 2015.
- [6] M. Sitohy, S. Mahgoub, et A. Osman, *Controlling psychrotrophic bacteria in raw buffalo milk preserved at 4 °C with esterified legume proteins*, *LWT - Food Sci. Technol.*, 44(8), 2011, p. 1697-1702.
- [7] J. Froc, *Balade au pays des fromages: Les traditions fromagères en France*. Editions Quae, 2007.

# La liaison dans les cristaux, Pauling avait raison !

Robert VALLS

robert.valls@univ-amu.fr

IUT, Aix-Marseille Université

Institut Méditerranéen de la Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE), CNRS (UMR 7263), IRD (UMR 237), Aix-Marseille Université, Université d'Avignon.

**Thèmes** – Chimie – Chimie du solide.

**Résumé** – Les cristaux ioniques et ionocovalents sont décrits à partir des modèles des sphères dures et du cristal parfait et on utilise des critères comme l'ionocité, le critère stérique et la disponibilité qui découlent des règles de Pauling. On a analysé les caractéristiques de 233 structures et seulement 53 % confirment le critère stérique proposé par Pauling. Bien que les règles de Pauling ne soient suivies au sens strict que par environ la moitié des composés, on montre qu'elles permettent, quand elles ne sont pas respectées, de confirmer la nature des liaisons qui interviennent dans les cristaux et de justifier les distances entre les ions ainsi que le type cristallin. On en conclue que Pauling peut s'appliquer à tous les cristaux et que le non-respect d'une règle n'invalide pas l'ensemble mais renvoie vers une autre des règles et permet de justifier des caractéristiques des structures observées.

**Mots-Clés** – Chimie du solide, liaison chimique, structure du cristal, ionocité, disponibilité, critère stérique.

## 1 Introduction

Les solides ioniques peuvent être étudiés à l'aide des cinq règles proposées par Pauling qui s'appliquent aux cristaux de structure idéale dans lesquels la liaison ionique prédomine. La première règle propose des critères géométriques, la deuxième concerne le principe de la valence électrostatique, la troisième indique la connexion des polyèdres de coordination anioniques, la quatrième précise le type de connexion des polyèdres et la cinquième postule l'homogénéité de l'environnement des ions. Mais les trois dernières règles souffrent de nombreuses exceptions.

## 2 Présentation des critères utilisés

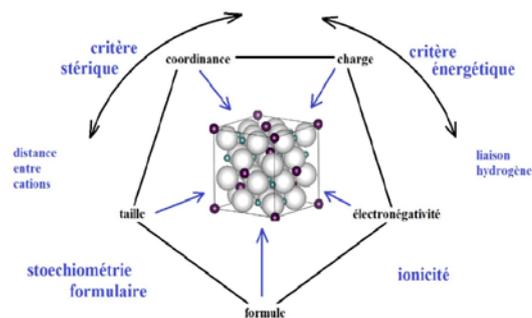
Dans une première approche, on peut proposer cinq interactions prédominantes indiquées sur la figure 1 qui vont imposer au cristal sa structuration. On peut en proposer d'autres comme la distance entre cations, la liaison hydrogène, etc. mais elles relèvent généralement de cas particuliers.

La difficulté ne vient pas du nombre des interactions considérées, mais du fait de leur interdépendance que l'on a visualisée dans la figure par des flèches.

Comprendre une structure consistera donc à mettre en évidence les interactions importantes sachant qu'il y aura toujours, dans une série, des composés particuliers pour lesquels une interaction mineure devient prédominante ou ne peut plus être négligée.

En général, les interactions les plus importantes dans un cristal sont évaluées à partir du critère stérique ( $R^+/R^-$ ) dont on a défini les limites en utilisant la médiane des valeurs de l'ensemble des composés présentés [1] (soit une valeur de 7,5 pm) et de l'ionocité (selon Pauling).

Figure 1 : Interactions définissant la structure du cristal



Mais dans quelques cas la stoechiométrie formulaire intervient et ne permet pas certaines structures type. Enfin, le rôle du critère énergétique sera identifié (sans qu'il soit calculé), par ses effets et donc l'existence ou pas, de plusieurs structures type pour un même composé.

Il faut avoir à l'esprit que la chimie est une science expérimentale et que l'observation des cristaux est indispensable pour conclure sur une structure simplement par l'analyse de sa transparence, sa fragilité, sa solubilité, sa conductivité, sa température de fusion, etc.

Par exemple, l'apparition de propriétés conductrices dans un cristal confirme l'évolution vers le caractère métallique de la liaison ou simplement la perte de la transparence indique une évolution vers une liaison plus covalente.

L'utilisation du critère stérique (règle 1 de Pauling) doit être un simple outil d'aide, non un moyen de justifier les structures. En effet, sur l'ensemble des 327 structures citées [1], 233 sont concernées par les cinq règles et seulement 53 % confirment le critère stérique proposé par Pauling (il est inférieur à la valeur théorique pour 31 % des composés et supérieur pour 16 %).

On peut penser que cette règle est peu utile, mais il n'en est rien car on va considérer que si elle s'applique, on a affaire à des composés ioniques et si elle ne s'applique pas, on va l'analyser sous un autre angle et obtenir des informations sur les liaisons.

En observant avec ce double objectif les cristaux, cette règle devient bien plus efficace qu'il n'y paraît et permet d'analyser l'ensemble des composés binaires.

On s'appuie sur les modèles (cristal parfait et sphères dures) pour calculer des critères (ionicté, critère stérique et disponibilité ou disponibilité modifiée [1]) et l'on détermine le critère dominant dans la structuration du cristal considéré. Si certains critères ne justifient plus une structure dans une série, on proposera l'intervention d'autres critères qui seront devenus prédominants.

Sur l'ensemble des composés, 77 % sont ionocovalents et seront concernés par le critère stérique, pour les 5 % de composés intermétalliques et les 18 % de non ioniques le critère stérique n'a pas de sens car il concerne des ions.

Le modèle des sphères dures sera appliqué à l'ensemble des composés pour calculer, selon le cas, la disponibilité (à partir des rayons ioniques) ou la disponibilité modifiée (à partir des rayons covalents ou métalliques).

### 3 Composés de type NaCl

Seuls les composés de type NaCl sont détaillés car ils sont nombreux et permettent d'illustrer nos propos.

Pour interpréter les valeurs de la table 1, on va se baser sur les trois critères décrits.

Table 1 – Quelques composés de type NaCl à critère stérique conforme à la première règle de Pauling

Composés	$R^+/R^-$	Ionicté	Disponibilité (pm)
NaCl [3]	0,564	71%	-1,0
MnO [4]	0,593	61%	-0,8
KI [5]	0,627	57%	-4,7
CoO [6]	0,464	48%	+7,0
BaTe [5]	0,611	31%	-6,7
CaTe [5]	0,452	26%	-3,8
PbS [4]	0,647	15%	-6,2
SrTe [5]	0,534	28%	-15,5

On constate que le modèle est adapté car le critère stérique ( $R^+/R^-$ ) est respecté (compris entre 0,414 et 0,732) et correspond à la coordinance 6. Le cation dispose au centre de l'octaèdre formé par les anions de l'espace disponible pour s'y insérer ( $0 > \text{disponibilité} > 7,5 \text{ pm}$ ).

C'est le cas pour la plupart des composés et le modèle des sphères dures est parfaitement adapté pour les décrire.

On constate que la disponibilité du derniers est supérieure à la limite fixée et que son ionicté est faible. Plutôt que d'invalider le modèle on propose de considérer le caractère en partie covalent de la liaison dans ce composé qui provoque une interpénétration des nuages électronique et conduit à une disponibilité négative. On dispose donc d'un indicateur qui sans la quantifier montre le caractère partiellement covalent de certains cristaux qui est significatif lorsque l'ionicté devient faible.

Pour les composés du tableau 2, le critère stérique est inférieur à la valeur minimale attendue ( $R^+/R^- < 0,414$ ) avec une disponibilité correcte. Le modèle des sphères dures est donc respecté sans que la première règle de Pauling le soit.

Table 2 – Quelques composés de type NaCl à critère stérique inférieur (première règle de Pauling)

Composés	Ionicté	$R^+/R^-$	Disponibilité
LiBr [7]	62%	0,388	+3,1
LiI [7]	51%	0,345	+4,0
ZrS [5]	34%	0,402	+6,5
MgSe [5]	34%	0,364	+2,6
MgS [5]	34%	0,391	+4,2
ZnTe [8]	5%	0,335	+10,2
ZnTe (s) [8]	5 %	0,271	-16,8
ZnTe (w) [5]	5 %	0,271	-19,4

Dans ce cas, le critère énergétique et la stœchiométrie formulaire l'emportent sur le critère stérique et les composés ne basculent pas en coordinance 4.

Leur seule possibilité serait de basculer vers les types ZnS sphalérite ou wurtzite qui présentent des environnements équivalents pour les deux ions mais qui sont aussi fortement covalents et non compatibles avec la valeur de l'ionicté de certains composés de cette série.

Le seul composé (ZnTe) qui est au-delà de la tolérance pour le critère stérique et qui, de plus, présente une très faible ionicté existe en coordinance 4 sous les types cristallins ZnS sphalérite [8] et wurtzite [5]. Il constitue bien l'exception qui confirme la règle et montre la part de covalence dans la liaison.

Dans le tableau 3, les composés présentent une valeur du critère stérique supérieure à la valeur maximale de 0,732 pour la coordinance 6. Ils sont classés par valeur décroissante de l'ionicté et l'on constate que la disponibilité est toujours correcte bien que le rapport soit aussi grand ( $R^+/R^- > 0,732$ ).

Le maintien de la coordinance 6 pour ces composés minimise l'énergie du cristal et le critère stérique devient secondaire. L'ionicité n'intervient plus car elle est importante pour tous les composés et permet de penser qu'ils sont principalement ioniques et donc que le modèle des sphères dures s'applique également dans ce cas.

Table 3 – Quelques composés de type NaCl à critère stérique supérieur (première règle de Pauling)

Composés	Ionicité	R <sup>+</sup> /R <sup>-</sup>	Disponibilité
CsF [5]	92%	1,278	-2,6
NaF [5]	91%	0,767	-4,0
BaO [5]	82%	0,964	+1,1
SrO [9]	80%	0,843	+0,1
RbBr [5]	68%	0,776	-5,3
RbCl [5]	75%	0,840	-3,9
AgF [5]	66%	0,865	-2,0
RbCl <sub>CsCl</sub> [5]	75 %	0,840	-9,1

Le composé RbCl qui est de type NaCl mais aussi de type CsCl permet de montrer le rôle du critère énergétique sans aucun calcul. En effet, ce composé est stable sous le type NaCl et n'existe en type CsCl que sous forte pression [4] ce qui confirme que le critère énergétique prédomine sur le critère stérique.

La disponibilité en type NaCl est dans la tolérance et valide le modèle des sphères dures, alors qu'en type CsCl elle est de -9,1 pm (voir table 3) et donc incompatible avec la valeur importante de l'ionicité (75 %). Cette disponibilité négative confirme non pas une part de covalence mais qu'il y a une contraction des ions dans ces conditions extrêmes de pression [4].

#### 4 Conclusions

Pour les composés de type NaCl, on peut proposer que la formation de la structure soit principalement guidée par la taille des ions et donc qu'ils respectent la première règle de Pauling puis immédiatement après par l'ionicité puisque la disponibilité est correcte.

Lorsque l'ionicité est inférieure à 30 %, la disponibilité peut devenir négative (voir table 5) et plutôt que d'invalider les modèles, on propose de considérer que, pour ces composés, la part de covalence de la liaison devienne plus importante.

Les propriétés (conductibilité, fragilité, aspect, etc.) permettent de qualifier avec plus de précision le type de liaison pour chaque composé.

On peut généraliser ces conclusions aux composés intermétalliques avec un certain nombre d'adaptations puisque la notion d'ionicité ne peut être considérée. Par contre, la disponibilité sera conservée en utilisant les rayons covalents ou métalliques [1]. Un certain nombre de précautions sont nécessaires pour l'interprétation des résultats mais on constate que les modèles sont respectés.

#### Remerciements

Ce travail est né d'échange avec de nombreux étudiants, collègues et amis qui m'ont apporté directement ou indirectement des idées, posé des questions et soumis des contradictions. Il s'inscrit dans ma démarche personnelle de diffusion des connaissances aussi, le Handbook [10] a été ma référence et le logiciel VESTA [11] mon outil pour les représentations et la base de données cristallographiques et *Cristallographie Open Database* (COD) m'a permis de proposer des données homogènes, ouvertes à tous et faciles à vérifier.

#### Références

- [1] Valls Robert, *Inorganic chemistry : from periodic classification to crystal*, 2017, Wiley-ISTE. 274 pages.
- [2] Walker D. *et al.*, *Halite-sylvite thermoelasticity. Sample: msl416031, T = 25 °C, P = 0.0 kbar, cell volume = 179.42 Å<sup>3</sup>*, *American Mineralogist*, vol. 89, pp. 204–210, 2004.
- [3] Terzieff P., Ipser H., *A contribution to the ternary phase diagram Co-Sb-Te*, *Monatshefte für Chemie und verwandte Teile anderer Wissenschaften*, vol. 123, pp. 35–42, 1992.
- [4] Wyckoff R.W.G., *Rocksalt structure*, vol. 1, 2nd ed., Interscience Publishers, New York, 1963.
- [5] Redman M.J., Steward E.G., *Cobaltous oxide with the zinc blende/wurtzite-type*, *Nature*, vol. 193, pp. 867–867, 1962.
- [6] Hott H., *Die Raumgitter der Lithiumhalogenide*, *Physikalische Zeitschrift*, vol. 24, pp. 209–213, 1923.
- [7] Holland H., Beck K., *Thermal expansion of zinc telluride*, *Journal of Applied Physics*, vol. 39, pp. 3498–3499, 1968.
- [8] Verbraeken M.C., Suard E., Irvine J.T.S., *Structural and electrical properties of calcium and strontium hydrides*, *Journal of Materials Chemistry*, vol. 19, p. 2766, 2009.
- [9] Hott H., *Die Raumgitter der Lithiumhalogenide*, *Physikalische Zeitschrift*, vol. 24, pp. 209–213, 1923.
- [10] Haynes W.M., *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 96th ed., Boca Raton, 2015.
- [11] Momma K., Izumi F., *VESTA 3 for three-dimensional visualization of crystal, volumetric and morphology data*, *Journal of Applied Crystallography*, vol. 44, pp. 1272–1276, 2011.

---

## Conception de nanoparticules efficaces pour la décontamination cutanée contre les agents chimiques

---

Greta Camilla Magnano<sup>1,2,3</sup>      David Amans<sup>2</sup>      Thierry Devers<sup>3</sup>  
Marie-Alexandrine Bolzinger<sup>1</sup>    Stéphanie Briançon<sup>1</sup>  
greta-camilla.magnano@univ-lyon1.fr

<sup>1</sup> LAGEP, Université Lyon1  
Laboratoire d'Automatique et de Génie des Procédés, CNRS UMR5007

<sup>2</sup> ILM, Université Lyon1  
Institut Lumière Matière, CNRS UMR 5306

<sup>3</sup> IUT de Chartres, Université d'Orléans  
Département GIM, CNRS UMR 7374

**Thèmes** – Chimie - Biologie - Santé - Matériaux

**Résumé** – *Les armes chimiques ont été employées dans les guerres mondiales et dans les attaques terroristes afin de tuer ou de blesser gravement les gens. Malgré la Convention de Paris qui interdit leur utilisation, elles restent une menace omniprésente pour les militaires et un moyen utilisé par des belligérants pour terroriser les civils. Il faut donc lutter contre ces agents chimiques en trouvant une manière d'annihiler leur effet. Ils pénètrent dans notre organisme principalement par voie cutanée. Il existe un besoin urgent de trouver des moyens de décontamination qui pourraient être efficaces et faciles à manipuler en cas de contamination de masse. Les nanoparticules (NPs) d'oxyde métallique, grâce à leurs grandes surfaces spécifiques, montrent une bonne capacité d'absorption et de décomposition des agents chimiques. Le but de cette étude est d'identifier les mécanismes de dégradation des agents chimiques en utilisant des NPs de dioxyde de cérium (CeO<sub>2</sub>), qui sont des solutions potentielles pour la décontamination de la peau. En particulier, le paraoxon (POX), un simulant du VX et son produit de dégradation, le p-nitrophénol (PNP), sont étudiés.*

**Mots-Clés** – dioxyde de cerium, décontamination cutanée, agents chimiques, paraoxon.

## 1 Introduction

La principale voie de pénétration des neurotoxiques organophosphorés, qui représentent la dernière génération d'armes chimiques, est la voie cutanée<sup>1</sup>.

Après l'exposition à un agent chimique, le processus de décontamination cutanée, essentiel pour réduire les risques d'intoxications, doit donc être effectué le plus tôt possible.

Le protocole de décontamination le plus simple prévoit le déshabillage de la victime suivi d'une douche.

Mais les toxiques se retrouvent alors dans l'eau, non dégradés, et donc actifs. Les solutions les plus efficaces, utilisées par l'armée française sont la Terre à Foulon (TAF) et la RSDL (Reactive Skin Decontamination Lotion), mais présentent malheureusement quelques inconvénients.

La RSDL est trop chère et la terre à Foulon n'est pas capable de dégrader l'agent toxique.

Le but de la thèse est de trouver de nouvelles stratégies pour décontaminer, en dégradant les toxiques avant qu'ils ne pénètrent dans la peau.

De nombreuses études ont montré que certaines NPs d'oxydes inorganiques avaient une grande efficacité de décontamination de par leur grande surface spécifique et leur grand nombre de sites réactifs<sup>2</sup>.

Les NPs de dioxyde de cérium ( $\text{CeO}_2$ ), grâce à leurs grandes surfaces spécifiques et réactivité ont montré un fort potentiel de protection cutanée vis à vis des organophosphorés et sont de bons candidats pour la décontamination de la peau<sup>3</sup>.

La recherche est divisée en trois étapes.

La première partie est la synthèse de NPs de  $\text{CeO}_2$  par 2 méthodes : la voie hydrothermale assistée par microonde et l'ablation laser en milieu liquide (PLAL).

La deuxième partie concerne la caractérisation des NPs.

Enfin, la troisième partie concerne l'évaluation du passage percutané du Paraoxon (POX), simulant de l'agent VX ainsi que du pouvoir décontaminant des NPs *in vitro* - *ex vivo*. Les méthodes de synthèses sont comparées (morphologie et taille)

## 2 Synthèse de NPs de $\text{CeO}_2$

Les NPs de  $\text{CeO}_2$  sont synthétisées par différentes méthodes, leurs propriétés pouvant fortement dépendre du mode de fabrication.

La synthèse hydrothermale assistée par microonde a le même principe que la synthèse hydrothermale classique : elle se déroule dans un récipient fermé (four microonde), avec une augmentation de température (90 à 150 °C) et une pression supérieure au point d'ébullition du solvant.

Cette technique permet de réduire le temps de réaction et de précipitation des NPs<sup>4</sup>.

La synthèse par ablation laser (PLAL), consiste à bombarder une cible solide plongée dans un liquide par un faisceau laser. Cela se traduit par une éjection et évaporation de matière (atomes, ions,) suivie de la formation d'un plasma. Le refroidissement de ce plasma va conduire à la formation d'une dispersion colloïdale de NPs<sup>5</sup>. Cette méthode permet la conservation de la stœchiométrie des éléments, la rapide formation des NPs et l'accès aux matériaux qui ne peuvent être synthétisés qu'à haute pression.

## 3 Caractérisation physicochimique de NPs de $\text{CeO}_2$

Les NPs sont caractérisées en termes de taille et de morphologie par différentes méthodes : microscopie électronique à transmission (TEM), diffraction des rayons X (DRX), BET, et spectrométrie photoélectronique X (XPS).

La synthèse hydrothermale assistée par microonde permet l'obtention de polyèdres de  $\text{CeO}_2$  d'une dizaine de nm (Figure 1). Elles sont des octaèdres tronqués et ont une surface spécifique de 21 m<sup>2</sup>/g. (Figure 2).

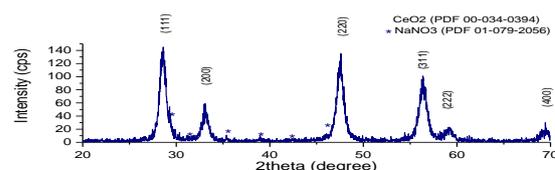


Figure 1 – DRX : Taille des NPs de  $\text{CeO}_2$

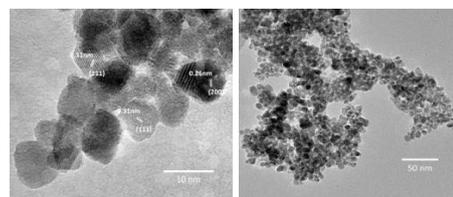


Figure 2 – S(BET) : 20,8 m<sup>2</sup>/g

## 4 Efficacité de décontamination cutanée des NPs

L'évaluation de l'efficacité de décontamination est réalisée *in vitro* (cellule de Franz) sur un modèle de peau (peau d'oreille de porc) après exposition au Paraoxon. Le toxique est ensuite dosé dans les différentes couches de la peau par HPLC-UV. Après 1 heure d'exposition au toxique (POX), la peau est décontaminée avec le topique composé de cérine. Des prélèvements du milieu récepteur sont réalisés pendant toute la durée de l'exposition durant 24h. Après arrêt du test, la surface de la peau est tamponnée à 3 reprises avec 3 papiers : c'est la fraction de POX à la surface de la peau non absorbée (Figure 3). Un premier

strip est ensuite retiré rapidement à l'aide d'une pince à épiler et placé dans un tube et celui-ci représente la fraction de POX sur le premier strip. A l'aide d'une colle cyanoacrylate, le stratum corneum est séparé de l'épiderme viable et du derme. La séparation permet le dosage du POX dans le stratum corneum. L'épiderme viable est séparé du derme. L'épiderme viable et le derme coupés en dés sont placés dans l'éthanol afin de permettre l'extraction du POX dans ces deux couches de la peau. L'étude de la quantité de POX dans chacune des couches de la peau a pour but de quantifier l'effet de la décontamination et d'identifier la concentration de POX dans les couches de la peau.

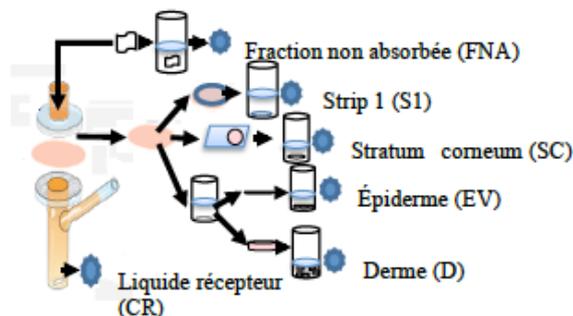


Figure 3 – Protocole des différents prélèvements

## 5 Conclusions

Les NPs de  $\text{CeO}_2$  sont des matériaux prometteurs pour la dégradation du Paraoxon, car ils ont la capacité de décomposer les agents toxiques très rapidement, en moins d'une heure.

Elles sont des bons candidats pour obtenir une formulation galénique compatible avec les contraintes du terrain qui puisse être utilisée pour la défense de demain.

## 6 Remerciements

Les auteurs expriment leur gratitude à la DGA pour sa confiance et son financement pour la thèse en cours.

## Références

- [1] Neha Sharma et Rita Kakkar, *Recent advancements on warfare agent/metal oxides surface chemistry and their simulation study*, Advanced Materials Letters, 2013, p. 508 – 521
- [2] Zenerino Arnaud et al., *New  $\text{CeO}_2$  nanoparticules-based topical formulations for the skin protection against organophosphates*, Toxicology Reports, 2015
- [3] Salerno Alicia et al., *In vitro skin decontamination of the organophosphorus pesticide Paraoxon with nanometric cerium oxide  $\text{CeO}_2$* , Chem Biol Interact, 2017
- [4] Araujo Vinicius et al.,  *$\text{CeO}$  nanoparticles synthesized by a microwave-assisted hydrothermal method : evolution from nanospheres to nanorods*, CrystEngComm 14, 2012, p. 1150-1154

- [5] Amans David et al., *Synthesis of Oxide Nanoparticles by Pulsed Laser Ablation in Liquids Containing a Complexing Molecule : Impact on Size Distributions and Prepared Phases*, The Journal of Physical Chemistry C, 2011, 115(12), p.5131-5139

---

## Solutions matériau et mésostructure obtenues par fabrication additive pour l'optimisation d'un dispositif biomimétique / os cortical.

---

Pascal Laheurte<sup>1,2</sup>   Boris Piotrowski<sup>2</sup>   Marie Fischer<sup>2</sup>

[Pascal.laheurte@univ-lorraine.fr](mailto:Pascal.laheurte@univ-lorraine.fr)

<sup>1</sup> IUT de Moselle-Est / Département SGM Forbach / Université de Lorraine

<sup>2</sup> Laboratoire des Microstructures et Mécaniques des Matériaux (LEM3) - UMR  
Université de Lorraine, F-57000 Metz, France

**Thèmes** – Matériaux - Mécanique - Santé

### Résumé –

Les échecs d'implants sont souvent causés par une inadéquation entre les propriétés élastiques de l'os et celles de l'implant qui génère une déviation des contraintes (stress shielding). Ce problème de biocompatibilité mécanique suscite un intérêt croissant et a conduit au développement d'alliages de titane  $\beta$ -métastables qui possèdent un module d'élasticité beaucoup plus faible que celui de l'alliage Ti-6Al-4V classiquement utilisé dans les applications d'implantologie. De plus, les structures architecturées ou treillis font, elles aussi, l'objet d'intenses recherches. Elles permettent de modifier le module apparent d'élasticité et de maximiser la résistance. Leur réalisation est possible grâce aux possibilités offertes par la fabrication additive: liberté de design, gain matière, pièces complexes, customisation de masse... Ce travail porte sur la mise en œuvre d'un alliage de titane à bas module d'élasticité Ti-26Nb (%at.) par la technologie de fusion laser sur lit de poudres. Une stratégie d'élaboration *in situ* de ces alliages à partir de poudres élémentaires de Ti et de Nb est explorée, à la fois pour permettre d'éventuels ajustements de composition et pour pallier au manque de disponibilité des alliages de titane sous forme de poudres. Les effets des nombreux paramètres de ce procédé (puissance du laser, vitesse et stratégie de balayage...) sur l'homogénéité et la porosité des pièces élaborées sont quantifiés. Un alliage homogène a pu être obtenu sous réserve de l'utilisation d'une densité d'énergie adaptée et d'une granulométrie de poudre tenant compte des températures de fusion respectives des éléments. La caractérisation de la microstructure met en évidence une texture marquée, dépendante de la stratégie de balayage. Les échantillons élaborés présentent des caractéristiques mécaniques comparables à celles obtenues avec une poudre préalliée du même alliage. Par ailleurs, un algorithme d'optimisation a été développé et permet de contrôler les propriétés mécaniques d'une structure architecturée à partir de ses paramètres géométriques (rayon, longueur et orientation des poutres). Cette mésostructure isoélastique peut être qualifiée de biomimétique. Elle permet de reproduire le comportement anisotrope de l'os et pourrait donc diminuer de façon significative la déviation des contraintes en se rapprochant du modèle physiologique.

**Mots-Clés** – Fabrication additive, alliage de titane, structures architecturées, dispositifs médicaux implantables

## I. Introduction

L'adaptation biomécanique des dispositifs implantables dans l'os est encore peu prise en compte. Cette adaptation fonctionnelle conditionne pourtant en grande partie les mécanismes complexes d'ostéointégration et de remodelage osseux ; c'est-à-dire la réponse adaptative du tissu osseux aux nouvelles conditions de chargement mécanique. Dans ce contexte, les propriétés mécaniques élastiques du matériau utilisé sont cruciales puisqu'elles agissent sur la qualité du transfert de contrainte à l'interface prothèse/os. Ce phénomène appelé « stress shielding » se définit comme une redistribution des contraintes dans l'os péri implanté et est proportionnelle à la différence de rigidité os/implant. Largement commenté il est à l'origine de pertes osseuses qui conduisent aux descellements des prothèses et implants [1]. L'utilisation d'alliages de titane bêta à bas module d'élasticité dit de seconde génération constitués d'éléments bioinertes (Ti-Nb-Zr-Ta) [2] constitue une première réponse.

Avec l'essor remarquable de la fabrication additive les chercheurs disposent d'un outil supplémentaire pour maîtriser les propriétés élastiques de l'implant à celles de l'os grâce aux possibilités de réaliser des structures en treillis (lattice) en contrôlant la porosité et donc la rigidité. Cependant, la technologie se heurte à la disponibilité des poudres d'alliages de titane qui se limite au TiCp et Ti6Al4V.

Le but de ce travail est dans un premier temps d'étudier la possibilité d'élaborer, au moment de la réalisation de la pièce par la technologie SLM (selective laser melting), un alliage de titane beta possédant un bas module d'élasticité (environ 60GPa) plus proche de celui de l'os cortical (environ 15 GPa) à partir d'un mélange de poudre. Dans un deuxième temps il s'agit de proposer une structure en treillis permettant d'adapter au mieux les propriétés élastiques anisotropes de l'os [3,4].

## II. Méthode expérimentale

Deux types de poudres sont utilisées : une poudre pré alliée obtenue par atomisation gazeuse d'un lingot d'alliage de titane Ti26Nb (at%) et un mélange de poudre de Ti et de Nb dans les mêmes proportions atomiques (fig 1).

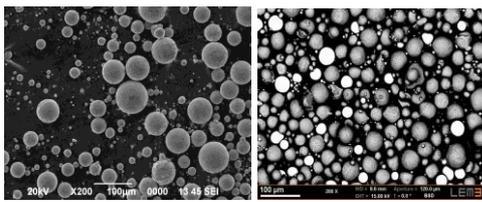


Fig 1. a) Poudre préalliée TiNb b) Mélange de poudre Ti + Nb

La distribution granulométrique de chacune des poudres est résumée dans le tableau 1.

Type de poudre (taille en $\mu\text{m}$ )	D <sub>10</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>90</sub>
TiNb Préalliée	20	65	73
Poudre de Nb	25	33	46
Poudre de Ti	40	56	60

Tableau 1 Répartition granulométrique des poudres utilisées

La technique SLM est schématisée fig 2. Elle consiste à réaliser, couche par couche une fusion laser du lit de poudre étalée avec un râteau et suivant une trajectoire prédéfinie. Ce procédé est multiparamétrique. L'énergie déposée ( $\text{J}/\text{mm}^3$ ) dépend de la puissance du faisceau  $P$  (W), de sa vitesse de balayage  $v$  (mm/s)

de la distance entre hachure balayées  $h$  (mm) et de l'épaisseur de la couche de poudre  $t$  (mm)

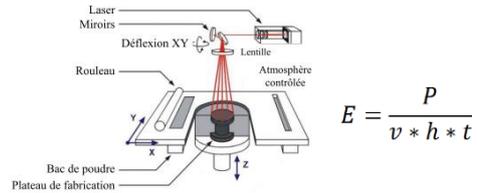


Fig 2. Schéma de principe de la technologie de fusion laser sur lits de poudres (SLM)

Pour ajuster les propriétés de la structure en treillis et prendre en compte l'anisotropie de l'os cortical du fémur (13 GPa dans le sens medio latéral et antéropostérieur (perpendiculaire au sens long) et proximo distal (sens long) un algorithme (fig. 3) a été réalisé permettant de calculer les contraintes de réaction et les déformations pour des conditions de chargement données dans les 3 directions. On compare les valeurs cibles du module de l'os aux modules apparents d'élasticité de la mésostructure que l'on ajuste en faisant varier les dimensions des poutres (diamètre, épaisseur).

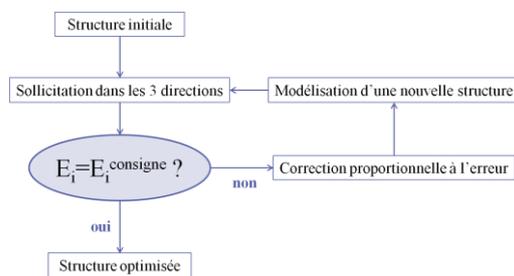


Fig. 3 – Procédure d'ajustement du module d'élasticité pour une structure de type treillis

## III. Résultats / commentaires

### 3.1 Réalisation d'alliage Ti26Nb insitu

Une méthodologie basée sur les plans d'expériences a été utilisée afin de maîtriser les paramètres et quantifier leurs effets sur la compacité des échantillons (cube  $1\text{cm}^3$ ) et sur l'homogénéité de l'alliage). Trois types d'échantillons ont été réalisés afin de caractériser la microstructure et les propriétés mécaniques avec chacune des 2 poudres (fig. 4).



Fig 4 : Echantillons TiXNb obtenus à partir de la poudre pré alliée et le mélange de poudre

La fraction volumique de Nb non fondu ainsi que la porosité en fonction de la densité d'énergie ont été analysées par microtomographie RX et MEB/EDX. Les figures 5, 6 et 7 montrent qu'au-delà d'une énergie de  $500\text{J}/\text{mm}^3$  l'homogénéité et la compacité de l'alliage sont satisfaisantes et comparables à celles obtenues par d'autres procédés tels que le moulage.

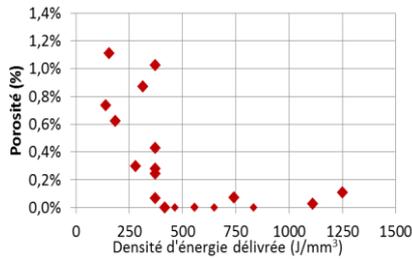


Fig 5. Influence de la densité d'énergie sur la fraction de Nb non fondu

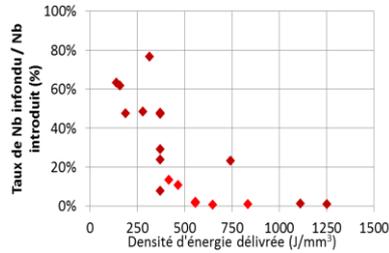


Fig 6. Influence de la densité d'énergie sur la fraction de Nb non fondu.

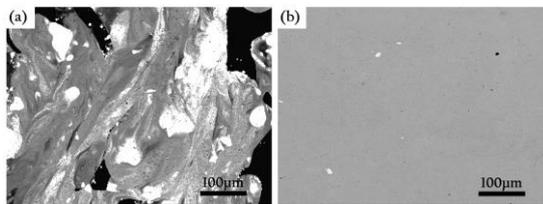


Fig 7 Image MEB des échantillons (a.) n°1 et (b.) n°4. La matrice Ti-Nb apparaît en gris, le Nb en blanc et les porosités en noir

Les analyses EBSD réalisées sur les faces verticales des échantillons cubiques révèlent figure 8 la présence d'une orientation préférentielle des grains et une texture du type {001} <100> dans le sens du gradient thermique qui est aussi le sens de construction

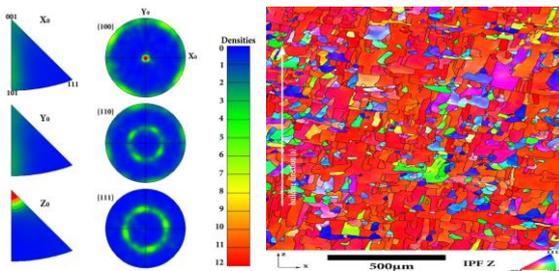


Fig.8 Carte EBSD dans le plan XZ, figures pole inverse et figure de pole. Les courbes de traction (fig.9) réalisées à partir d'éprouvettes prélevées dans les murs (fig. 4) obtenus à partir de la poudre préalliée ou mélangée révèlent un comportement mécanique similaire

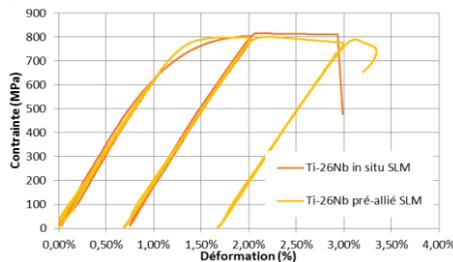


Fig.9 Courbes de traction obtenues avec les deux poudres TiNb

### 3.2 Réalisation d'une mésostructure isoélastique/os cortical

Un algorithme d'optimisation a été utilisé pour concevoir une structure biomimétique qui pourra être intégrée dans un dispositif médical implantable. Son fonctionnement peut être décrit par quatre « blocs » gérés par un programme Python (Erreur ! Source du renvoi introuvable.10). Les données d'entrée de ce programme sont : la géométrie initiale de la cellule ( $a, b, c, r, repeX, repeY, repeZ$ ), une valeur de déformation pour la sollicitation et les trois modules d'élasticité consigne à atteindre. Le programme est écrit pour un type de cellule élémentaire, un matériau et un set de conditions aux limites donnés. Les paramètres recherchés sont les longueurs des côtés  $a$  et  $b$  ainsi que le rayon. La longueur  $c$  reste fixe afin d'éviter des divergences liées à l'infinité de solutions induite par des structures homothétiques.

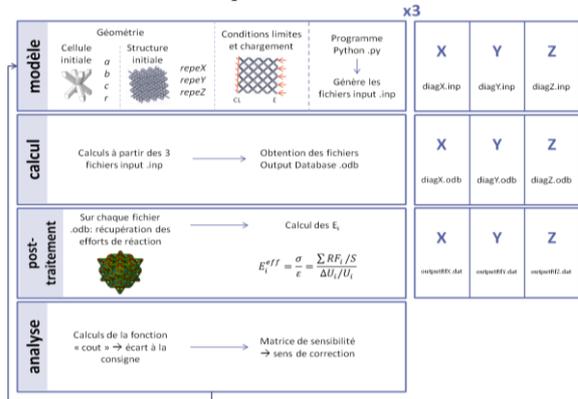


Fig.10 Fonctionnement de l'algorithme d'optimisation des structures lattice

Les propriétés de la structure émanant du programme ont été confrontées après fabrication aux valeurs expérimentales obtenues par essais de compression (fig. 11)



Fig.11 Comparaison modèle-expérience du comportement élastique en compression de la structure

## IV. Conclusions

L'élaboration et la mise en œuvre par fabrication additive d'un alliage de titane Ti26Nb associées au contrôle des propriétés élastiques d'une mésostructure permet de proposer un substitut osseux reproduisant le comportement anisotrope de l'os. Cette mésostructure biomimétique car isoélastique permet de minimiser la déviation des contraintes dans l'os péri implanté à l'origine de phénomènes de perte osseuse et de descellement de la prothèse.

### Références

- [1] M. Abdel-Hady Gepreel and M. Niinomi; *Biocompatibility of Ti-alloys for long-term implantation*, J. Mech. Behav. Biomed. Mater., vol. 20, pp. 407–15, 2013.
- [2] S. G. Steinemann, "Corrosion of surgical implants - in vivo and in vitro tests," in *Evaluation of biomaterials*, Advances in biomaterials, , pp. 1–34, 1980.
- [3] M. Fischer, D. Jougnet, L. Peltier, P. Laheurte; *In situ elaboration of a binary Ti-26Nb alloy by selective laser melting of elemental titanium and niobium mixed powders*; Materials Science and Engineering C, May 1, Volume 62, p.852-9, 2016
- [4] J. Favre, P.Lohmuller, B. Piotrowski, S. Kenzari, P. Laheurte, F. Meraghni, *A continuous crystallographic approach to generate cubic lattices and its effect on relative stiffness of architected materials*, Additive Manufacturing, 2018, in press.

---

## **Extraction simultanée en milieu aqueux assistée par enzymes, de composés bioactifs lipophiles et hydrophiles de marc de framboise, optimisation par plan d'expérience.**

---

SAAD Naïma<sup>1,2</sup>      Louvet François<sup>3</sup>      Bressollier Philippe<sup>1,2</sup>.  
naima.saad@unilim.fr    francois.louvet@unilim.fr    philippe.bressollier@unilim.fr

<sup>1</sup> IUT, Université Limoges

Laboratoire PEIRENE, EA 7500, site IUT, Université de Limoges.

<sup>2</sup>Centre de Valorisation Agro ressources (CVA)- Brive-la-Gaillarde.

<sup>3</sup>ENSIL-ENSCI Formation : Ceramique Industrielle, Université de Limoges, ESTER Limoges

**Thèmes** – *Chimie - Biologie – Santé.*

**Résumé** – Les résidus de pressage ou « marcs » issus de la transformation industrielle de fruits rouges, sont riches en substances biologiquement actives. La valorisation actuelle des marcs réside dans l'extraction de l'huile des graines par pressage à froid. Le tourteau obtenu contient encore plus de 30% de composés lipophiles et ainsi que la majeure partie des polyphénols et fibres. L'objectif de ce travail repose sur le développement d'une méthode d'éco-extraction simultanée de biomolécules lipophiles et hydrophiles à partir de marc de framboise, en milieu 100% aqueux, assistée par voie enzymatique. Dans un 1<sup>er</sup> temps, les performances de différentes combinaisons enzymatiques, cellulases, pectinases, et protéases ont été comparées. Après sélection du meilleur système enzymatique, le procédé a été optimisé grâce à la mise en place d'un plan d'expérience de type Definitive Screening Design. Dans les conditions optimales et comparativement aux procédés conventionnels, 95% des polyphénols et plus de 35% d'AGPI, tocols et phytostérols initialement présents dans le tourteau sont récupérés. L'émulsion obtenue est lyophilisée et présente une activité antioxydante élevée.

**Mots-Clés** – *Marc de framboise, éco-extraction, composés lipophiles et hydrophiles, pouvoir antioxydant.*

---

## Protection du cœur contre l'infarctus par un exercice physique régulier au cours de l'obésité

---

Sandrine Pons<sup>1,2</sup> Caroline Barau<sup>2</sup> Bijan Ghaleh<sup>2</sup> Didier Morin<sup>2</sup>

s.pons@u-pec.fr caroline.barau@aphp.fr bijan.ghaleh@inserm.fr didier.morin@inserm.fr

<sup>1</sup> IUT, Créteil-Vitry, Créteil

<sup>2</sup>INSERM U955 (IMRB)-équipe 3, Faculté de Médecine, Créteil

### Thèmes – *Biologie*

**Résumé** – L'infarctus du myocarde reste l'une des principales causes de mortalité. Malgré les méthodes de reperfusion visant à éliminer le caillot sanguin, la mortalité de cette pathologie reste importante. Il est donc essentiel de développer des stratégies de cardioprotection à associer aux techniques de reperfusion pour réduire davantage la mortalité de cette maladie, et ce en tenant compte des facteurs de co-morbidité associés comme l'obésité. En effet, l'obésité touche 15 % de la population française ; elle est notamment due à la tendance à faire moins d'exercice physique. Par conséquent, les objectifs de ce travail sont d'étudier l'effet de l'exercice physique régulier dans un contexte d'obésité. Nous montrons que, chez des souris obèses, l'exercice sur tapis roulant diminue le taux de dérivés oxydés du cholestérol (oxystérols), favorisant l'activité de protéines impliquées dans des voies de survie, préservant la mitochondrie, et donc protégeant le cœur de l'infarctus. La prévention de l'accumulation de ces oxystérols pourrait protéger le myocarde de l'infarctus.

**Mots-Clés** – *Infarctus du myocarde, obésité, exercice physique régulier*

## 1 Introduction

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, l'infarctus du myocarde reste l'une des principales causes de mortalité dans le monde. Il est causé principalement par l'apparition d'un caillot dans une artère coronaire provoquant une occlusion et donc l'arrêt de la circulation sanguine dans le cœur. Ceci aboutit à la mort des cellules cardiaques, notamment par manque d'oxygène. Le traitement de l'infarctus du myocarde consiste à rétablir rapidement la circulation coronaire, que l'on nomme reperfusion, par l'élimination du caillot sanguin. Cette reperfusion sanguine est indispensable pour permettre la survie des cellules cardiaques mais, paradoxalement, est elle-même potentiellement néfaste. Il est donc essentiel de développer des stratégies de protection du cœur à associer aux techniques de reperfusion classiquement utilisées pour réduire davantage la mortalité de cette maladie. Une des critiques et principale limitation des études fondamentales s'intéressant au développement de ces stratégies réside dans le fait que les animaux inclus dans ces études sont « sains » et dépourvus de tout facteur de co-morbidité. Ceci contraste avec la clinique humaine qui est tout autre, à savoir, que la population concernée présente le plus souvent une hypertension artérielle, une hypercholestérolémie, un diabète ou une obésité.

Dans ce contexte, notre laboratoire s'est intéressé aux conséquences de l'obésité dans le cadre de la cardioprotection. En effet, l'enquête ObEpi-Roche, édition 2012, montre que l'obésité touche 15 % de la population française et que 32,3 % des Français sont atteints de surpoids [1]. Nous savons, par ailleurs, que la morbi-mortalité cardiovasculaire est aggravée par l'obésité avec une incidence élevée d'infarctus du myocarde et que ce facteur de co-morbidité entrave le bon fonctionnement de stratégies cardioprotectrices [2]. Par ailleurs, nous savons que la fréquence de plus en plus grande de l'obésité et du surpoids est due à un déséquilibre énergétique entre les calories consommées et dépensées, et notamment à la tendance à faire moins d'exercice physique en raison en particulier de la nature de plus en plus sédentaire de nombreuses formes de travail. A ce titre, l'ANSES recommande de favoriser la pratique d'activités physiques, de types différents (cardio-respiratoire, renforcement musculaire, souplesse) [3].

Par conséquent, les objectifs de ce travail ont été, dans un contexte d'obésité, d'étudier l'effet de l'exercice physique, de déterminer les mécanismes mis en jeu et d'identifier de nouvelles cibles pour prévenir l'infarctus du myocarde ou en réduire les conséquences.

## 2 Matériel et méthodes

Des souris témoins et obèses sont soumises à un exercice physique chronique sur tapis roulant (20 à 30 cm/s, 5 jours/7) pendant 3 semaines. Parallèlement, des souris témoins et obèses ne sont pas soumises à un exercice physique régulier et sont appelées sédentaires. Au terme de la période de 3 semaines :

- la taille de l'infarctus est évaluée suite à la réalisation chirurgicale d'un épisode d'occlusion-reperfusion ;
- les modifications (phosphorylations) de protéines impliquées dans la survie des cellules cardiaques telles que Akt et Erk sont étudiées ;
- la fonction des mitochondries, organites des cellules cardiaques ayant un rôle très important dans la survie cellulaire (leur atteinte participe aux lésions de reperfusion), est évaluée ;
- l'accumulation dans les mitochondries de dérivés oxydés du cholestérol (oxystérols) nocifs pour la cellule, comme le 7-cétocholestérol, est étudiée.

Par ailleurs, des paramètres biologiques sanguins permettant de caractériser l'obésité sont évalués.

## 3 Résultats

### 3.1 Paramètres biologiques

Les souris obèses ont une masse grasse quatre fois plus importante que les souris témoins et présentent un taux de glucose, de cholestérol et d'insuline dans le sang augmentés. Elles sont donc bien représentatives de la réalité clinique.

### 3.2 Taille de l'infarctus

L'exercice physique chronique réduit la taille de l'infarctus de 60% chez les souris témoins et de 67% chez les souris obèses (Figure 1) et a donc un effet cardioprotecteur.

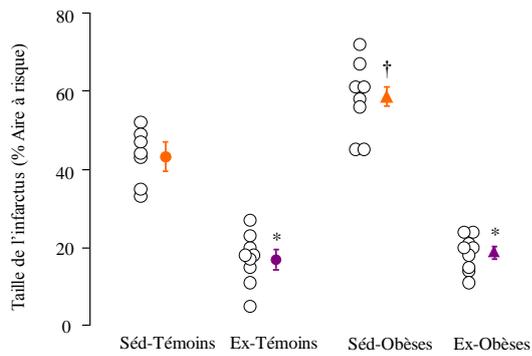


Figure 1 : Taille de l'infarctus

Séd : sédentaire, Ex : exercice, \*,  $p < 0,05$  vs Sédentaires respectifs, †,  $p < 0,05$  vs Témoins respectifs

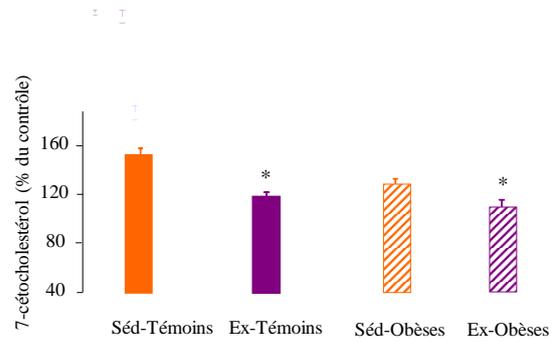


Figure 3 : Accumulation du 7-cétocholestérol

Séd : sédentaire, Ex : exercice, \*,  $p < 0,05$  vs Sédentaires respectifs

### 3.3 Modifications protéiques

L'exercice physique régulier augmente la phosphorylation des protéines Akt et Erk chez les souris témoins mais aussi obèses, démontrant l'activation de voies de survie pour la cellule (Figure 2).

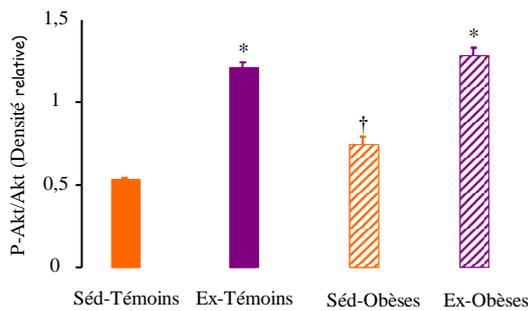


Figure 2 : Phosphorylation d'une protéine de survie, Akt

P : phosphorylée, Séd : sédentaire, Ex : exercice, \*,  $p < 0,05$  vs Sédentaires respectifs, †,  $p < 0,05$  vs Témoins respectifs

### 3.4 Fonction mitochondriale

Chez les souris témoins comme chez les souris obèses, l'exercice sur tapis roulant protège les mitochondries démontrant encore une fois l'effet cardioprotecteur de l'exercice physique chronique.

### 3.5 Accumulation mitochondriale d'oxystérols

L'accumulation de dérivés nocifs du cholestérol, les oxystérols est amoindrie chez les souris qui courent que ce soit chez les sujets témoins ou chez les sujets obèses (Figure 3).

## 4 Conclusions

Nous pouvons conclure de l'ensemble de ce travail que, chez les souris obèses, l'exercice physique régulier diminue le taux d'oxystérols nocifs pour la cellule, augmente la phosphorylation de protéines impliquées dans des voies de survie, protège la mitochondrie, diminue les lésions de reperfusion et donc protège le cœur de l'infarctus. La prévention de l'accumulation de dérivés oxydés de cholestérol pourrait protéger le cœur des patients obèses de l'infarctus.

## Références

- [1] Enquête épidémiologique sur le surpoids et l'obésité, ObEpi-2012, INSERM/KANTAR HEALTH/ROCHE.
- [2] Bouhidel O, Myocardial ischemic postconditioning against ischemia-reperfusion is impaired in ob/ob mice., *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2008, 295 : H1580-6.
- [3] Rapport d'expertise collective : Actualisation des repères du PNNS - Révisions des repères relatifs à l'activité physique et à la sédentarité, ANSES-2016.

# Recombinaison et réparation de l'ADN mitochondrial des plantes

Clémentine Wallet<sup>1</sup>

[clementine.wallet@unistra.fr](mailto:clementine.wallet@unistra.fr)

<sup>1</sup>IUT Louis Pasteur, Université de Strasbourg

DHPI, EA7292

Thèmes- *Biologie*

*Résumé- Les mitochondries sont des sous-unités des cellules animales et végétales produisant l'énergie nécessaire au fonctionnement cellulaire. De par leur origine endosymbiotique, les mitochondries possèdent leur propre génome, distinct du génome nucléaire. Chez l'homme, des mutations ponctuelles de l'ADN mitochondrial ont été identifiées comme étant à l'origine de maladies neurodégénératives ou de myopathies. A l'inverse, très peu de cas de mutations ponctuelles de l'ADN mitochondrial ont été reportés chez les plantes, suggérant que leurs mitochondries possèdent un mécanisme de réparation de l'ADN très efficace. Cela pourrait être lié à la propriété de recombinaison de l'ADN mitochondrial des plantes. Ce génome est en effet très dynamique et sa réorganisation participe à la réparation, mais aussi à l'évolution rapide de l'ADN mitochondrial d'une génération à l'autre. Mais encore peu de choses sont connues sur les facteurs et les mécanismes impliqués dans ces processus de recombinaison. Durant ma thèse j'ai identifié un facteur impliqué dans la réparation, la recombinaison et la réplication de l'ADN mitochondrial des plantes permettant d'assembler une nouvelle pièce au puzzle.*

Mots-clés- *mitochondries; plantes; recombinaison; réparation*

## Introduction

La mitochondrie est un organite présent dans les cellules eucaryotes, animales, végétales ou fongiques. Sa membrane interne est le lieu de mise en place de la chaîne de phosphorylation oxydative produisant de l'ATP, molécule énergétique de la cellule. De par son origine endosymbiotique, la mitochondrie possède son propre génome. Au cours de l'évolution, la plupart de ses gènes ont migré vers le noyau, et des facteurs nucléaires ont été recrutés pour fonctionner dans les mitochondries. Il reste cependant dans le génome mitochondrial quelques dizaines de gènes de protéines essentiels car codant pour des sous-unités de la chaîne de phosphorylation oxydative ou pour des protéines du système de traduction.

L'ADN mitochondrial (ADNmt) des plantes est de grande taille (généralement entre 200 et 700 kb), complexe et dynamique. Pendant longtemps, l'ADNmt a été considéré comme un plasmide. Mais des études structurales ont finalement permis d'affirmer que l'ADNmt pouvait être présent sous forme circulaire mais aussi linéaire, branchée et en forme de sigma. De par cette structure complexe, les mécanismes de répllication sont loin d'être entièrement compris, bien que les formes en sigma pourraient résulter d'un mécanisme de répllication similaire à celui du phage T4. A ce jour, les origines de répllication restent méconnues. Au sein de cet ADNmt, l'on observe des événements de recombinaison homologue. En effet, l'ADNmt contient quelques grandes séquences répétées qui recombinent à fréquence élevée et qui participent à la formation de sous-génomes. A l'inverse, l'on observe une très faible fréquence de recombinaison ectopique impliquant des petites séquences répétées (entre 0,1 et 0,5 kb), présentes en grand nombre dans l'ADNmt de plante. La régulation de la recombinaison de l'ADNmt, sa maintenance et sa dynamique sont contrôlée par des gènes nucléaires dont un grand nombre sont d'origine bactérienne.

La recombinaison ectopique homologue est une conséquence des phénomènes de réparation de l'ADNmt. En effet, une exposition de l'ADNmt à un stress génotoxique, entraîne une activation des processus de recombinaison faisant intervenir des facteurs nucléaires. Parallèlement, cette recombinaison ectopique est rare en conditions normales car finement contrôlée par d'autres facteurs, permettant un bon maintien du génome. La recombinaison ectopique forme des versions alternatives du génome présentes en faible proportion, ce qui contribue à l'hétéroplasmie du génome mitochondrial. Il arrive que ces versions minoritaires deviennent prédominantes par un processus appelé shifting sub-stoechiométrique. Cela participe à l'évolution rapide du génome

mitochondrial et peut former de nouveaux écotypes en une échelle de temps courte. Mais encore peu de choses sont connues sur les facteurs et les mécanismes impliqués dans ces processus de shifting.

Au cours de ma thèse, j'ai identifié une hélicase, RECG1 par comparaison avec la séquence d'une hélicase bactérienne, RecG. Cette protéine a des fonctions importantes dans la réparation par recombinaison de l'ADN bactérien, mais aussi dans le contrôle de sa répllication.

## Résultats et Discussion

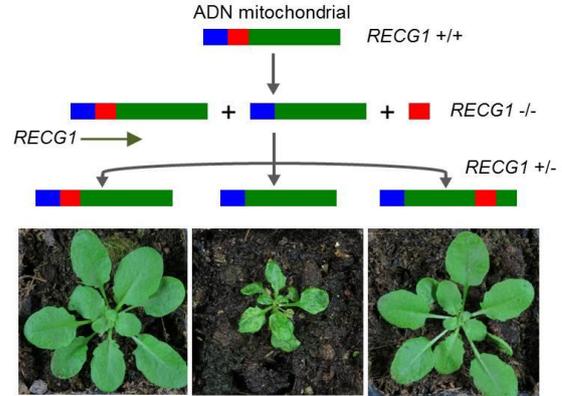
RecG a été bien décrite chez les bactéries, où elle est impliquée dans la réparation par recombinaison et la réparation associée à la répllication. Une étude phylogénétique a montré que cette protéine est très conservée des bactéries aux plantes en passant par les algues, mais absente chez les autres eucaryotes. Nous avons nommé cette protéine RECG1 chez *A. thaliana*. Nous avons d'abord cherché à identifier plus en détail la protéine en étudiant sa localisation intracellulaire et en déterminant dans quels organes de la plante elle est le plus exprimée. Nous avons également fait produire des anticorps contre cette protéine, dans la perspective de manipulations immuno-chimiques. Nous avons conclu que la protéine RECG1 est doublement adressée aux chloroplastes et aux mitochondries, qu'elle est exprimée de façon ubiquitaire, et qu'elle est détectable dans des extraits de plantes entières avec les anticorps.

Pour tester les fonctions de RECG1 dans *Arabidopsis*, nous avons étudié deux mutants *recG1* d'*A. thaliana* dans deux écotypes différents. Nous avons étudié le phénotype de développement de ces mutants et nous avons analysé leur phénotype moléculaire au niveau de l'ADNmt.

Nous avons cherché à établir le rôle de RECG1 dans la recombinaison et la réparation de l'ADNmt par rapport à celui d'autres facteurs nucléaires déjà décrits. La protéine RECG1 ne semble pas essentielle pour les plantes car, dans toutes les conditions que nous avons testées, les mutants ne présentaient pas de phénotype de développement. Pourtant, nous avons observé par qPCR une augmentation de la recombinaison ectopique impliquant les séquences répétées de petite taille de l'ADNmt, ainsi qu'une déficience de la réparation des cassures double-brin de l'ADNmt dans des plantes exposées aux agents génotoxiques. Cela nous a permis de préciser le rôle de RECG1 dans les plantes. Une autre protéine nucléaire, RECA3 a les mêmes effets sur la recombinaison ectopique et sur la réparation [3]. Comme pour RECG1, les mutants *Arabidopsis* de RECA3 ne présentent pas de phénotype particulier mais les

doubles mutants homozygotes *recG1* et *recA3* sont toutes très affectées au point de présenter une stérilité partielle ou totale. L'analyse génétique de ces mutants a montré que la stœchiométrie des différentes régions de l'ADNmt changeait d'une plante à l'autre. Chez les bactéries, RecA et RecG agissent dans des branches alternatives de la même voie de réparation couplée à la réplication. Cela a permis de conclure que RECG1 pourrait être impliquée dans des mécanismes de réparation par recombinaison homologue ainsi que dans la réparation couplée à la réplication.

Le mutant *recG1* knockout a permis de proposer un modèle permettant de mieux comprendre la ségrégation des différentes formes de l'ADN dans les mitochondries de plantes. En effet, nous avons montré que dans ce mutant les processus de recombinaison ectopique ont provoqué la circularisation d'une séquence de 8 kb, contenant le gène *ATP1*. Nous avons voulu tester si ce phénomène était réversible et nous avons effectué un rétrocroisement avec du pollen de plante sauvage pour réintroduire la protéine RECG1 dans un contexte de cytoplasme mutant. Nous avons testé si la molécule circulaire était présente. A notre surprise, les plantes descendantes présentaient trois types de génotype différents (Figure 1). Un premier groupe de plantes avait perdu ce sous-génome circulaire, et le génome était revenu à la conformation sauvage. Un deuxième groupe de plantes avait vu cette forme recombinée circulaire se réintroduire à un endroit différent du génome principal, générant une toute nouvelle conformation fonctionnelle. Enfin, un troisième groupe de plantes présentait un phénotype différent : une taille plus petite, une fertilité moindre et des feuilles tordues et blanchâtres. Ces plantes avaient perdu la forme sauvage du gène *ATP1*, mais la forme recombinée circulaire ne s'était pas réintégrée autre part dans le génome et avait été perdue, entraînant la perte d'*ATP1*. Ceci a été confirmé par Southern blot et nous a permis de déduire que la protéine RECG1 semble contrôler les phénomènes de recombinaison, mais aussi inhibe la réplication de petites molécules circulaires. Enfin, elle semble nécessaire à la ségrégation du génome, c'est à dire à la distribution des différentes formes du génome à la descendance.



**Figure 1 : Ségrégation de différentes configurations de l'ADNmt d'Arabidopsis.** Dans le mutant (*REC1 -/-*) il existe, en plus de la version sauvage, une version alternative du génome générée par recombinaison. La séquence en rouge se circularise pour former une molécule qui se réplique de façon indépendante. Lors de la réintroduction par croisement de l'allèle sauvage *REC1* (*REC1 +/-*), il y a une ségrégation de ces versions dans chacune des plantes de la descendance. Si la molécule rouge est perdue, les plantes sont gravement affectées (photo du centre). Chez les plantes non affectées, la séquence en rouge est réintroduite soit à la même place, soit dans un autre endroit du génome, créant un variant génétique mitochondrial viable (photo de droite).

### Conclusion et perspectives

Nous avons montré l'importance de RECG1 dans la maintenance et l'évolution du génome mitochondrial, ce qui nous permet d'apporter des connaissances nouvelles sur la dynamique de l'ADNmt et de proposer un modèle expliquant la ségrégation de configurations alternatives. Le détail des événements moléculaires impliqués dans ce modèle pourra être analysé par des approches NGS. Le rôle de RECG1 dans les chloroplastes semble différent et pourra également être abordé par des approches NGS impliquant les mutants étudiés. L'étude de TRCF1 montre d'ores et déjà l'implication de cette protéine dans la réparation de l'ADNmt. L'analyse de ses partenaires montrera s'il existe effectivement des mécanismes de réparation couplée à la transcription dans les mitochondries de plante et si, comme chez les bactéries, certains de ces partenaires relèvent de la voie NER ("nucleotide excision repair") que l'on pensait absente des mitochondries.

### Références

- [1] Koulintchenko, M., Konstantinov, Y., and Dietrich, A. (2003). Plant mitochondria actively import DNA via the permeability transition pore complex. *EMBO J.* 22, 1245–1254.
- [2] Mileshina, D., Koulintchenko, M., Konstantinov, Y., and Dietrich, A. (2011). Transfection of plant mitochondria and in organello gene integration. *Nucleic Acids Res.* 39, e115.
- [3] Miller-Messmer, M., Kühn, K., Bichara, M., Ret, M.L., Imbault, P., and Gualberto, J.M. (2012). RecA-Dependent DNA Repair Results in Increased Heteroplasmy of the Arabidopsis Mitochondrial Genome. *Plant Physiol.* 159, 211–226.

---

## Les nanoparticules d'or : une plate-forme modulable pour des applications dans le domaine de la Santé

---

Christophe Massard<sup>1</sup> Vincent Raspal<sup>1</sup> Yves Sibaud<sup>1</sup> Oscar Awitor<sup>1</sup>

christophe.massard@uca.fr vincent.raspal@uca.fr yves.sibaud@uca.fr oscar.awitor@uca.fr

<sup>1</sup> IUT, Clermont Auvergne Université  
Equipe Physico-Chimie des Surface Nanostructurées (PCSN)  
Laboratoire de Physique de Clermont  
Pôle Physique pour la Santé et l'Environnement  
UMR 6533 CNRS/IN2P3 - Université Clermont Auvergne

**Thèmes** – Chimie - Biologie - Santé -

**Résumé** – Ces travaux de recherches ont pour objectifs principaux d'élaborer, de caractériser et d'optimiser différents types de nanoparticules d'or fonctionnalisées en suspension aqueuse. Ces études concernent des nanoparticules d'or obtenues par des procédés de chimie douce. La gestion des paramètres de synthèse dans les différentes variantes des procédés d'élaboration est au cœur des caractéristiques finales des nanoparticules obtenues. Des paramètres comme le contrôle de la cinétique de germination et de croissance, ainsi que la nature des réducteurs utilisés permettent de gérer la taille des nanobjets. La fonctionnalisation chimique de surface, quant à elle, permet d'obtenir des propriétés spécifiques comme par exemple l'émission de fluorescence. Les différentes suspensions stabilisées de nanoparticules d'or permettent d'envisager de nombreuses applications, notamment dans le domaine de la santé, pour la lutte contre le cancer.

**Mots-Clés** – Nanoparticules, or, radiosensibilisation, cytotoxicité.

## 1 Introduction

Les nanoparticules d'or sont des assemblages d'atomes de taille comprises entre 1 et 100 nm représentant quelques dizaines à quelques millions d'atomes. A cette échelle de taille, il y a une rupture entre les propriétés de l'or macroscopique et celui de l'or nanométrique. Ainsi l'or nanoparticulaire ne possède plus l'inertie chimique qui le caractérise à l'état massif, des propriétés nouvelles apparaissent à l'échelle nanométrique (voir figure 1) :

- Prédominance des effets de surface :
- Effet de confinement électromagnétique
- Effet quantique



Figure 1 – a) Or massif b) nanoparticules d'or en suspension

Les suspensions de nanoparticules d'or synthétisées au laboratoire ont pour principale vocation de s'insérer dans de nouveaux procédés thérapeutiques de lutte contre le cancer utilisant des synergies entre la présence de nanoparticules (à numéro atomique élevé) et les traitements conventionnels, notamment de type radiothérapie. Dans le cadre particulier de la radiothérapie, les nanoparticules d'or doivent permettre de diminuer les doses de rayonnement tout en améliorant l'efficacité anti tumorale, ce phénomène se nomme radiosensibilisation (voir figure 2) :

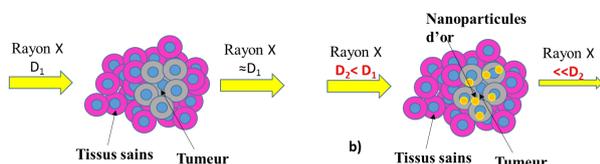
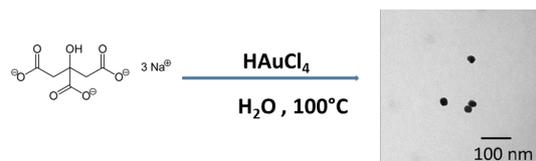


Figure 2 – a) radiothérapie conventionnelle b) radiothérapie avec effet radiosensibilisant des nanoparticules d'or

Nous avons montré que les nanoparticules d'or pouvaient également exercer une certaine cytotoxicité intrinsèque sur une lignée de cellules cancéreuses du sein [1].

## 2 Elaboration des suspensions nanoparticulaires d'or

De manière générale, les synthèses développées au laboratoire reposent sur des méthodes de réduction d'un précurseur acide tetrachloroaurique en suspension aqueuse. La méthode de Turkevitch-Frens permet l'obtention de nanoparticules sphériques, stabilisées par le tri sodium citrate, Au@(Na)<sub>3</sub>Ci (voir figure 3).



Nanoparticules Citrate-Au

Figure 3 – Procédé de synthèse de type Turkevitch-Frens de nanoparticules d'or en suspension aqueuse.

En contrôlant la température du réacteur, il est possible de contrôler la cinétique de germination [2]. Par des ajouts dosés de réactifs, des générations de nanoparticules de taille différentes sont alors produites (voir figure 4).

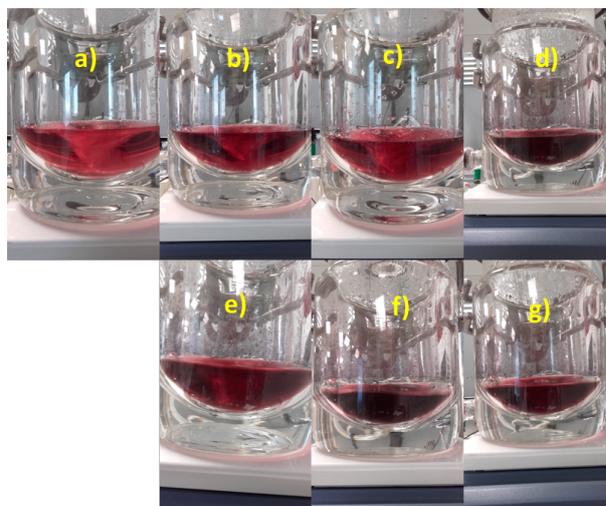


Figure 4 – Nuancier de teintes obtenu par synthèse de type Turkevitch-Frens de nanoparticules d'or en suspension aqueuse a) génération 0 b) Génération 1 c) G2 d) G3 e) G4 f) G5 g) G6.

Une méthode consistant à opérer une réduction à l'aide de borohydrure de sodium suivie par une post fonctionnalisation par un polyéthylène glycol fonctionnalisé thiol permet d'obtenir des nanoparticules d'or PEG-Au (voir figure 5).

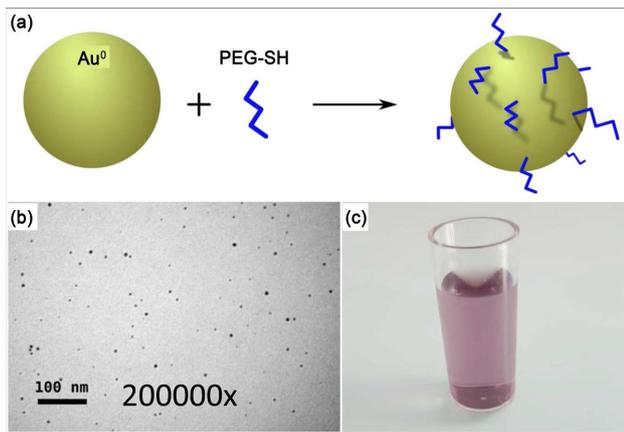


Figure 5 –a) Post-fonctionnalisation des nanoparticules d'or par PEG-SH b) Cliché de microscopie électronique à transmission des nanoparticules fonctionnalisées PEG c) Aspect visuel de l'échantillon.

### 3 Caractérisation des nanoparticules d'or

#### a) Spectroscopie UV-Visible

Les suspensions nanoparticulaires d'or se caractérisent par des spectres UV-visible caractéristiques avec un maximum à  $\lambda = 520$  nm [3]. Ces spectres mettent en évidence l'excitation du plasmon de surface (voir figure 6)

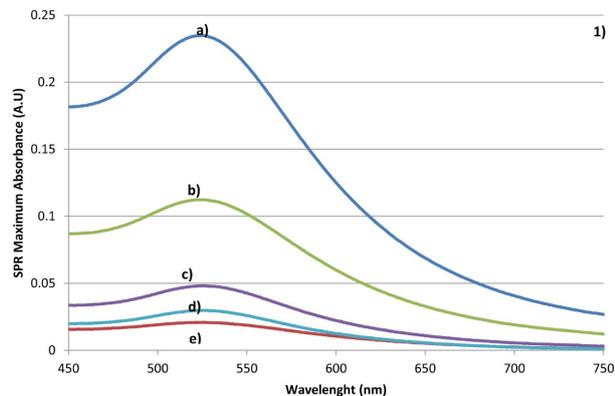


Figure 6 : Spectres UV-visible d'une suspension nanoparticulaire PEG-Au aqueuse (a)1/1 (b) 1/2 (c) 1/4 (d) 1/8 (e) 1/10. (Taux de dilution volumique)

#### b) Emission de fluorescence

Suivant la nature de la fonctionnalisation chimique de surface et de la longueur d'onde d'excitation, les nanoparticules d'or synthétisées en suspension peuvent émettre des radiations fluorescentes (voir figure 7)

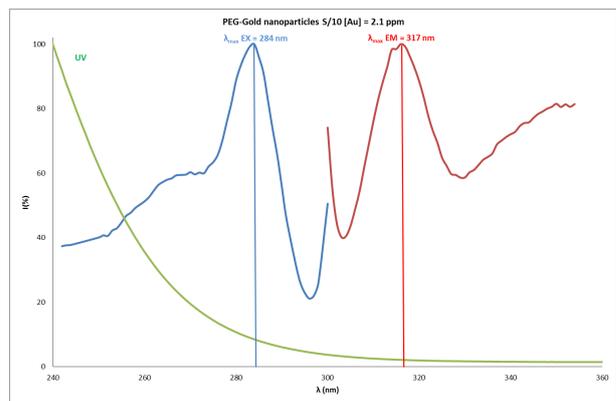


Figure 7 – Mise en évidence de l'émission de fluorescence d'une suspension nanoparticulaire PEG-Au

Les caractérisations physico-chimiques sont donc les moyens de d'établir les indispensables liaisons entre paramètres amont de procédé et propriétés avalés d'usage.

### 4 Conclusion

La synthèse et la caractérisation de suspensions nanoparticulaires d'or est une des activités de recherches de notre Equipe Physico-Chimie des Surface Nanostructurées (PCSN) basé dans les murs de l'IUT de Clermon-Ferrand. Les suspensions de nanoparticules d'or constituent un outil intéressant pour le développement de stratégies thérapeutiques anti cancéreuse de nouvelle génération qui devront être capable de limiter les effets indésirables et d'optimiser l'effet curatif.

### Références

- [1] C. Massard, C.Dubois, V.Raspal, P.Daumar, Y.Sibaud, E.Mounetou, M.Bamdad, K.O.Awitor "Cytotoxicity study of gold nanoparticles on the basal-like triple negative HCC-1937 Breast cancer cell line" Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology, 2018, 9, 13-25
- [2] N.G. Bastus, J. Comenge, V.Puntes, « Kinetically Controlled Seeded Growth Synthesis of Citrate-Stabilized Gold Nanoparticles of up to 200 nm: Size Focusing versus Ostwald Ripening » Langmuir 2011 27 (17), 11098-11105
- [3] C. Massard, S.Pairis, Y.Sibaud, C.Blavignac, K.O.Awitor "Boosted Photoactivity of Titania Nanotube Layers Doped with a Suspension of Gold Nanoparticles" Advances in Nanoparticles, 2017, 6, 114-127

---

## Effet cytoprotecteur de l'Éthyl Protocatechuate contre l'hypoxie induite par le $\text{CoCl}_2$ sur les cardiomyoblastes de rat

---

Sabrina Ben Moussa<sup>1,2</sup>, Wided Megdiche Ksouri<sup>1,2</sup>, Christine Moisan<sup>3</sup>, Hélène Talarmin<sup>3,4</sup>

Sabrine.benmoussa@hotmail.com helene.talarmin@univ-brest.fr

<sup>1</sup> Université de Tunis El Manar, Faculté des Sciences de Tunis, 2092 Tunis, Tunisie

<sup>2</sup> Centre de Biotechnologie de Borj-Cédria, LR15CBBC06 Laboratoire des Plantes Aromatiques et Médicinales, BP 901, 2050 Hammam-Lif, Tunisie

<sup>3</sup> Université de Bretagne Occidentale, IBSAM, Faculté de Médecine et Sciences de la Santé, EA 4324 Laboratoire ORPHY, 29200 Brest, France

<sup>4</sup> IUT Génie Biologique, rue de Kergoat, 29200 Brest

### Thèmes – Biologie - Santé

**Résumé** – L'hypoxie survient lorsque l'apport en oxygène ne satisfait pas aux exigences physiologiques. Elle intervient dans divers processus pathologiques de nombreuses maladies cardiaques, telles que l'infarctus du myocarde et l'insuffisance cardiaque. La présente étude explore l'efficacité de l'Éthyl Protocatechuate (EDHB), composé phénolique, en réponse à l'hypoxie induite par le chlorure de cobalt ( $\text{CoCl}_2$ ) sur la lignée de cellules H9c2 du muscle cardiaque de rat. Les résultats montrent que le prétraitement à l'EDHB (10  $\mu\text{g}$  / mL) protège significativement contre l'altération du statut oxydant dans la cellule : rétablissement des activités des enzymes antioxydantes, superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), et aussi des taux de glutathion réduit (GSH) et de malondialdéhyde (MDA). De plus, les analyses par spectroscopie RMN mettent en évidence que l'EDHB agit au niveau des voies métaboliques des H9c2 en inhibant les variations des taux de phosphocholine, de lactate, d'alanine, du glutamate, de la glutamine entre autres. Ces résultats démontrent un effet cytoprotecteur de l'EDHB en réponse à l'hypoxie dans les cellules de muscle cardiaque.

**Mots-Clés** – Hypoxie, *in vitro*, coeur, cytoprotection, éthyl protocatechuate

## 1 Introduction

Les cellules cardiaques nécessitent un apport constant en oxygène pour maintenir une production adéquate d'énergie indispensable pour un fonctionnement physiologique normal. Quand le muscle cardiaque manque d'oxygène, ses cellules se trouvent en hypoxie et meurent. L'hypoxie est une caractéristique fréquente du microenvironnement cellulaire dans divers processus physiopathologiques tels que l'infarctus du myocarde et l'insuffisance cardiaque [1].

L'objectif de la présente étude est d'évaluer l'éventuel potentiel cytoprotecteur et antioxydant de l'Ethyl Protocatechuate (EDHB), composé phénolique présent dans les graines de cacahuète, dans une situation d'hypoxie chimique induite par le chlorure de cobalt ( $\text{CoCl}_2$ ) sur des cardiomyoblastes de rat H9c2.

## 2 Matériel et méthodes

Les cellules H9c2 ont étéensemencées dans des plaques de 96 puits à raison de  $4 \cdot 10^3$  cellules/puits dans un milieu DMEM additionné de 10% de Sérum de Veau Fœtal (SVF) et d'antibiotiques, 100  $\text{UI} \cdot \text{mL}^{-1}$  de pénicilline et 100  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  de streptomycine. Les cellules sont incubées à  $37^\circ\text{C}$  dans un incubateur à 5% de  $\text{CO}_2$ .

La viabilité cellulaire est appréciée par le test MTT. Ce test repose sur la réduction, par les succinate-déshydrogénases mitochondriales, du MTT (bromure de 3 - (4,5 diméthylthiazol-2-yl) - 2,5 diphényl tétrazolium), composé jaune, en formazan de couleur bleue. Après extraction au DMSO, l'intensité de la coloration est mesurée par spectrophotométrie à 540 nm.

Après lavage en tampon phosphate (PBS), les cellules sont lysées dans un tampon d'extraction (Tris/HCl 0.1 M, pH 7.4). Les extraits cellulaires sont centrifugés (1000 rpm, 10 min,  $4^\circ\text{C}$ ).

Le dosage de protéines est réalisé sur les surnageants des extraits selon la méthode de Bradford [2].

Des dosages spectrophotométriques ont été réalisés pour mesurer les activités de la SOD [3] CAT [4] et les taux de GSH [5] et du MDA [6]. De plus, les profils métabolomiques RMN ont été établis sur les cellules.

Dans un premier temps, les cellules ont été traitées en présence de différentes concentrations d'EDHB : 1, 10 et 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$  pendant 24h. Puis, afin d'explorer le potentiel cytoprotecteur de l'EDHB contre la toxicité induite par l'agent hypoxique  $\text{CoCl}_2$ , les cellules ont été pré-traitées pendant 1h avec l'EDHB à une concentration non cytotoxique puis exposées à 900  $\mu\text{M}$  de  $\text{CoCl}_2$  pendant 24h.

## 3 Résultats

### 3.1 Cytotoxicité

Les cellules H9c2 ont été traitées avec 3 concentrations d'EDHB 1, 10 et 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$  pendant 24h. Les résultats montrent que cette molécule est non cytotoxique aux faibles concentrations, 1 et 10  $\mu\text{g}/\text{mL}$  (Figure 1).

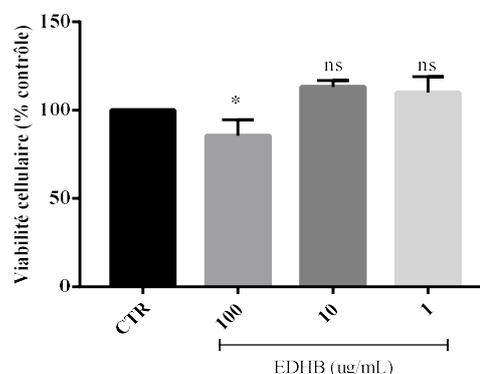


Figure 1 – Cytotoxicité de l'EDHB sur les cellules H9c2 après 24h d'exposition.

L'exposition des cellules H9c2 à 900  $\mu\text{M}$  de  $\text{CoCl}_2$  pendant 24h provoque une diminution significative de la viabilité cellulaire (50%).

Par ailleurs, le pré-traitement des cellules avec 10  $\mu\text{g}/\text{mL}$  d'EDHB induit une cytoprotection contre la mort cellulaire induite par l'hypoxie.

### 3.2 Paramètres oxydatifs

Après 24h d'exposition à 900  $\mu\text{M}$  de  $\text{CoCl}_2$ , les activités de la SOD et de la CAT sont significativement augmentées (199% et 162,2% respectivement) par comparaison aux cellules non traitées. Un pré-traitement des cellules avec 10  $\mu\text{g}/\text{mL}$  d'EDHB supprime les activations de ces enzymes antioxydantes (Figure 2).

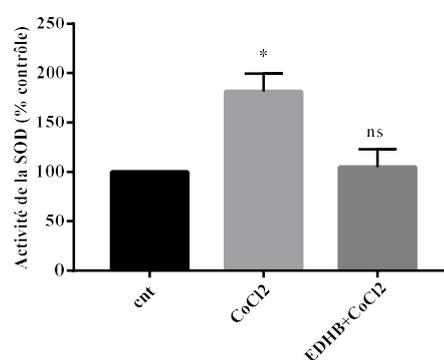


Figure 2 – Activité de la SOD dans les cellules H9c2 traitées par le  $\text{CoCl}_2$  et l'EDHB.

L'hypoxie chimique induite par le  $\text{CoCl}_2$  a aussi entraîné une augmentation significative du MDA (259,4%) par rapport aux cellules non traitées ; les résultats montrent que cette augmentation est supprimée par l'EDHB. Ce composé phénolique peut donc empêcher les dommages oxydatifs induits par le  $\text{CoCl}_2$  sur les lipides de la membrane des cellules H9c2.

De plus, nous montrons que le  $\text{CoCl}_2$  diminue significativement la production du GSH ; cette diminution est corrigée par l'EDHB (Figure 3).

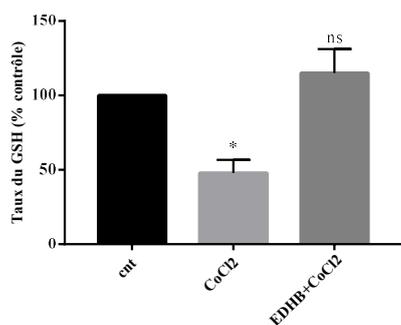


Figure 3 – Taux de GSH dans les cellules H9c2 exposées au  $\text{CoCl}_2$  et à l'EDHB

### 3.3. Paramètres métaboliques

L'identification des métabolites intracellulaires des cellules H9c2 permet de révéler notamment la présence de la phosphocholine, du glucose, du lactate, de l'alanine, du glutamate, de la glutamine, de la valine, de la glycine et de la tyrosine. Les résultats montrent que l'hypoxie chimique diminue le taux des métabolites. Dans les cellules pré-traitées avec l'EDHB avant l'exposition hypoxique, aucune variation n'est mise en évidence. Ces résultats indiquent la capacité de ce composé phénolique à moduler les voies de signalisation métaboliques au sein des cardiomyoblastes.

## 4 Conclusion

L'ensemble de cette étude suggère que l'EDHB protège les cellules H9c2 contre l'hypoxie en modulant d'une part, les activations des enzymes antioxydantes et d'autre part, les voies métaboliques des cardiomyoblastes. Ainsi, l'EDHB peut avoir un intérêt potentiel dans la protection contre les dommages liés aux maladies cardiovasculaires dépendants de l'hypoxie comme l'infarctus de myocarde ou l'insuffisance cardiaque. La molécule EDHB peut créer un environnement protecteur autour des cellules H9c2 dans des conditions oxydatives hypoxiques ; les cardiomyoblastes deviennent alors plus résistants au stress oxydatif et conservent un fonctionnement enzymatique et métabolique normal.

## 5 Remerciements

Mes remerciements vont au Professeur Hélène Talarmin qui m'a accueillie au laboratoire ORPHY et qui m'a permis de réaliser ce travail. Veuillez trouver dans cette étude, l'expression de ma profonde reconnaissance et de toute mon estime.

## Références

- [1] C.R. Lenihan, C.T. Taylor, The impact of hypoxia on cell death pathways, *Biochem. Soc. Trans.* 41 (2013) 657–663.
- [2] M.M. Bradford, A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye-binding, *Anal. Biochem.* 72 (1976) 248–254.
- [3] H. Kuthan, H.J. Haussmann, J. Werringloer, A spectrophotometric assay for superoxide dismutase activities in crude tissue fractions, *Biochem. J.* 237 (1986) 175–180.
- [4] H. Aebi, Catalase in Vitro, *Methods Enzymol.* 105 (1984) 121–126.
- [5] M. Ayyildiz, S. Coskun, M. Yildirim, E. Agar, The effects of ascorbic acid on penicillin-induced epileptiform activity in rats, *Epilepsia.* 48 (2007) 1388–1395.
- [6] H.H. Draper, M. Hadley, Malondialdehyde determination as index of lipid Peroxidation, *Methods Enzymol.* 186 (1990) 421–431.

---

# Accès domino à des dihydropyranones 2,3,5-trisubstituées par réaction Pseudo-Multicomposant baso-induite entre le Glutaconate de Diméthyle et des Aldehydes Aromatiques

---

Erwan Le Gall\*<sup>1</sup>  
[legall@u-pec.fr](mailto:legall@u-pec.fr)

Marc Presset<sup>2</sup>  
[presset@u-pec.fr](mailto:presset@u-pec.fr)

Eric Léonel<sup>1</sup>  
[leonel@u-pec.fr](mailto:leonel@u-pec.fr)

<sup>1</sup> IUT, Université Paris-Est Créteil  
Institut de Chimie et des Matériaux Paris-Est, UMR 7182

<sup>2</sup> FST, Université Paris-Est Créteil  
Institut de Chimie et des Matériaux Paris-Est, UMR 7182

**Thèmes** – Chimie – Synthèse organique

**Résumé** – Des lactones à six chaînons dissymétriques insaturées (dihydropyranones) sont obtenues avec des rendements variant de moyens à bons par une pseudo-réaction à trois composants induite par le bromure de phénylzinc entre le glutaconate de diméthyle et des aldéhydes aromatiques. Un mécanisme réactionnel probable, impliquant un processus domino aldolisation / aldolisation / élimination / lactonisation, permet la création de quatre nouvelles liaisons en une seule étape réactionnelle.

**Mots-Clés** – Lactones, Réactions multicomposants, Processus domino, Bromure de phénylzinc.

## 1 Introduction

Les glutaconates de dialcyle sont des molécules hautement fonctionnalisées qui peuvent être utilisées dans de nombreuses réactions domino [1] menant à la formation de liaisons multiples. Ainsi, ils ont récemment été utilisés dans une variété de processus nucléophiles ou électrophiles, conduisant à des hétérocycles variés comme par ex. les dérivés de l'isoquinolinedione [2], les dibenzopyranones [3], les phénanthridinones [4], les isoxazolidines [5], des pyrrolidines 2,3,4-trisubstituées [6] ou des arènes densément substitués [7]. Cependant, la réaction entre du glutaconate de diméthyle et des aldéhydes aromatiques n'a jamais été décrite pour la préparation de  $\delta$ -valérolactones substituées [8].

Nous avons précédemment développé de nouvelles réactions multicomposant (à trois et quatre composants) impliquant des composés benzyl- et arylmétalliques [9]. Ces espèces organométalliques possèdent à la fois un caractère nucléophile, que nous avons exploité dans les réactions précédentes, mais également un caractère

basique. Ainsi, au cours de cette étude, nous nous sommes appuyés sur la basicité du bromure de phénylzinc dans une pseudo-réaction à trois composants pour la synthèse de dihydropyranones 2,3,5-trisubstituées. Cette réaction entre le glutaconate de diméthyle et des aldéhydes aromatiques se déroule selon un processus domino original aldolisation / aldolisation / élimination / lactonisation.

## 2 Résultats et discussion

Dans le cadre d'une étude visant la préparation de dérivés  $\beta$ -hydroxycarbonylés par réaction domino addition conjuguée / aldolisation de nucléophiles aromatiques sur des accepteurs de Michael et des aldéhydes, nous nous sommes aperçus que la réaction entre le glutaconate de diméthyle (**2**), du benzaldéhyde (**1a**) et du bromure de phénylzinc en excès ne permettait pas d'obtenir le produit attendu mais conduisait à la formation du (*E*)-5-benzylidène-6-oxo-2-phényl-5,6-dihydro-2H-pyran-3-carboxylate de méthyle (**3a**), avec un bon rendement, après une nuit à température ambiante dans l'acétonitrile (Schéma 1).

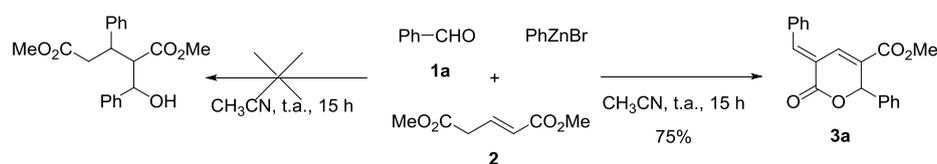


Schéma 1 - Le système réactionnel menant à la lactone **3a**

La structure moléculaire de **3a** et la stéréochimie *E* de la partie benzylidène a pu être déterminée sans ambiguïté par l'analyse en diffraction des rayons X d'un monocristal (Figure 1). Cette analyse a permis de corroborer les observations effectuées en utilisant diverses méthodes spectroscopiques, telles que des expériences de RMN qui avaient déjà fourni des indications significatives sur la nature cyclique de **3a**.

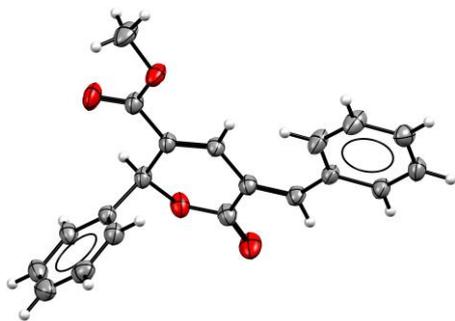


Figure 1 – Représentation ORTEP de **3a**

Après une brève étude des conditions réactionnelles, la généralisation de la réaction à divers aldéhydes aromatiques a été effectuée. Ces synthèses ont pu être réalisées à l'échelle du gramme. Les résultats sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1 - Portée de la réaction

Entrée	Ar =	Produit	Rdt (%)
1	Phényl	<b>3a</b>	75
2	2-Me-Phényl	<b>3b</b>	44
3	4-Me-Phényl	<b>3c</b>	35
4	2-MeO-Phényl	<b>3d</b>	42
5	3-MeO-Phényl	<b>3e</b>	80
6	4-MeO-Phényl	<b>3f</b>	40
7	4-Me <sub>2</sub> N-Phényl	-	-
8	2-Furyl	<b>3g</b>	40
9	2-Thiényl	<b>3h</b>	36
10	3-F-Phényl	<b>3i</b>	75
11	4-F-Phényl	<b>3j</b>	76
12	3-Cl-Phényl	<b>3k</b>	55
13	4-Br-Phényl	<b>3l</b>	38
14	2-F <sub>3</sub> C-Phényl	<b>3m</b>	66

Ces résultats indiquent que la réaction est très générale et réalisable avec de nombreux aldéhydes aromatiques. En effet, l'introduction de groupements électrodonneurs (Tableau 1, entrées 2-6) ou d'atomes d'halogène (Tableau 1, entrées 10-13) sur le cycle aromatique de l'aldéhyde permet l'obtention des lactones désirées avec de bons rendements. Bien que les rendements soient plus faibles, il est également possible d'utiliser un benzaldéhyde substitué par un groupement trifluorométhyle (Tableau 1, entrée 14) ou des aldéhydes hétéroaromatiques (Tableau 1, entrées 8 et 9). La réaction ne semble pas influencée par des effets stériques car les aldéhydes *ortho*-substitués fonctionnent correctement (Tableau 1, entrées 2, 4 et 14). En revanche, l'introduction de groupements à effet mésomère donneur tel que OMe en position *ortho* ou *para* diminue le rendement de la réaction (Tableau 1, entrées 4 et 6). Dans le cas du *para*-diméthylaminobenzaldéhyde (Tableau 1, entrée 7), la lactone attendue n'est pas du tout formée et un diène conjugué trisubstitué est obtenu, ce qui constitue une limitation [10]. Il est également important de noter que la durée de la réaction a une influence non négligeable sur son issue. En effet, les rendements semblent être optimaux pour un temps de réaction compris entre 12 h et 18 h, l'allongement de cette durée pouvant conduire à une dégradation partielle du produit formé.

Le mécanisme supposé est le suivant (Schéma 2).

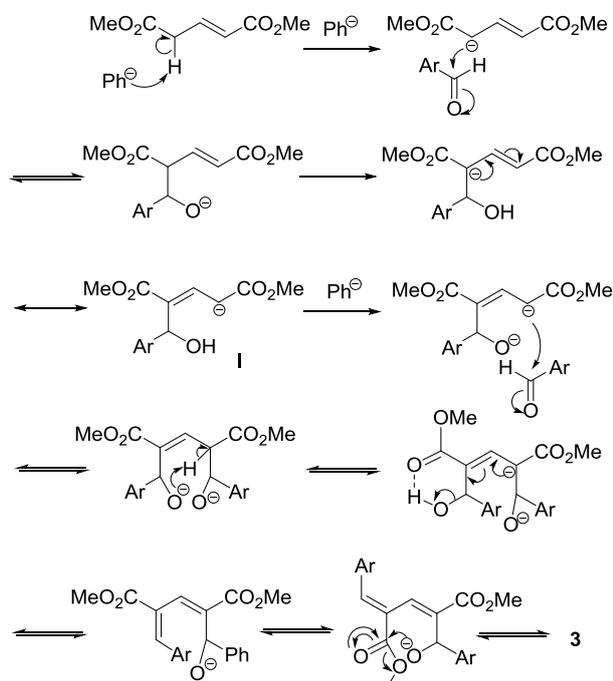


Schéma 2 – Mécanisme réactionnel supposé

Le bromure de phénylzinc réagirait en tant que base avec un hydrogène acide en  $\alpha$  de de la fonction ester du

glutaconate de diméthyle. L'énolate résultant effectuerait alors une première addition nucléophile sur l'aldéhyde aromatique conduisant à un alcoolate. Après un échange intramoléculaire de proton menant à la formation d'un nouvel énolate **I**, une deuxième étape-clé de déprotonation par le bromure de phénylzinc conduirait à la formation d'un dianion. Cette espèce réagirait dans seconde réaction d'aldolisation qui, par élimination intramoléculaire d'un hydroxyde et rotation vers le conformère *s-trans*, permettrait la cyclisation finale par transestérification intramoléculaire conduisant à la lactone **3**.

### 3 Conclusions

En conclusion, nous avons démontré qu'il était possible de préparer des dihydropyranones 2,3,5-trisubstituées par des pseudos réactions à trois composants entre le glutaconate de diméthyle et des aldéhydes aromatiques. La réaction est induite par l'utilisation de bromure de phénylzinc en tant que base, et passe par un mécanisme domino original de type aldolisation / aldolisation / élimination / lactonisation. La réaction est assez générale et tolère de nombreux aldéhydes aromatiques. Il convient cependant de noter que l'introduction de groupements à effet mésomère donneur fort en position *para* aurait tendance à fournir un diène conjugué au lieu de la lactone attendue.

### Références

- [1] (a) L. F. Tietze, G. Brasche, K. M. Gericke, *Domino Reactions in Organic Synthesis*, Wiley-VCH: Weinheim, 2006 ; (b) L. F. Tietze, *Chem. Rev.* 96 (1996) 115.
- [2] L. Li, Y.-L. Zhao, H. Wang, Y.-J. Li, X. Xu, Q. Liu, *Chem. Commun.* 50 (2014) 6458.
- [3] P. Reddy Nandaluru, P. Dongare, C. M. Kraml, R. A. Pascal Jr., L. N. Dawe, D. W. T. G. J. Bodwell, *Chem. Commun.* 48 (2012) 7747.
- [4] L. Li, J.-J. Chen, X.-L. Kan, L. Zhang, Y.-L. Zhao, Q. Liu, *Eur. J. Org. Chem.* (2015) 4892.
- [5] C. Gioia, F. Fini, A. Mazzanti, L. Bernardi, A. Ricci, *J. Am. Chem. Soc.* 131 (2009) 9614.
- [6] A. Quintard, J. Rodriguez, *Org. Lett.* 19 (2017) 722.
- [7] (a) P. Xie, Y. Huang, R. Chen, *Chem. Eur. J.* 18 (2012) 7362 ; (b) A. Diallo, Y.-L. Zhao, H. Wang, S.-S. Li, C.-Q. Ren, Q. Liu, *Org. Lett.* 14 (2012) 5776.
- [8] Colombo, Di Giacomo et al. avaient déjà observé la formation d'une lactone similaire en série alcyne en tant que sous-produit réactionnel, voir : L. Colombo, M. Di Giacomo, M. Serra, S. M. Tambini, *Tetrahedron* 65 (2009) 5838.
- [9] (a) E. Le Gall, C. Haurena, S. Sengmany, T. Martens, M. Troupel, *J. Org. Chem.* 74 (2009) 7970 ; (b) J. Paul, M. Presset, F. Cantagrel, E. Le Gall, E. Léonel, *Chem. Eur. J.* 23 (2017) 402 ; (c) E. Le Gall, E. Léonel, *Chem. Eur. J.* 19 (2013) 5238.
- [10] La structure a été déterminée par RMN.

---

## Le cheveu : un capteur biologique d'exposition aux agents chimiques de guerre

---

Clémentine Côte<sup>1</sup>  
[clementine.cote@univ-amu.fr](mailto:clementine.cote@univ-amu.fr)

Anne Piram<sup>2</sup>  
[anne.piram@univ-amu.fr](mailto:anne.piram@univ-amu.fr)

Denis Josse<sup>3</sup>  
[denis.josse@sdis06.fr](mailto:denis.josse@sdis06.fr)

Alexandre Lacoste<sup>4</sup>  
[alexandre.lacoste@bmpm.gouv.fr](mailto:alexandre.lacoste@bmpm.gouv.fr)

Pierre Doumenq<sup>5</sup>  
[pierre.doumenq@univ-amu.fr](mailto:pierre.doumenq@univ-amu.fr)

<sup>1,5</sup> Aix-Marseille Université  
Laboratoire de Chimie de l'Environnement, UMR 7376

<sup>2</sup> IUT, Aix-Marseille Université  
Laboratoire de Chimie de l'Environnement, UMR 7376

<sup>3</sup> Service Départemental d'Incendie et de Secours des Alpes-Maritimes SDIS06  
Service de Santé et de Secours Médical

<sup>4</sup> Bataillon de Marins-Pompiers de Marseille  
Laboratoire de Chimie

**Thèmes** - Chimie - Santé

*Contactez-les auteurs pour plus d'information.*

**Mots-Clés** - agents chimiques de guerre, agents neurotoxiques, contamination exogène, marqueur individuel d'exposition.

---

## Les Bactéries magnétotactiques, ou comment ne pas perdre le Nord

---

François Alberto<sup>1,2</sup>, Xin-Xin Qian<sup>2,3</sup>, Claire Santini<sup>2,3</sup> et Long-Fei Wu<sup>2,3</sup>

francois.alberto@univ-amu.fr

<sup>1</sup> IUT, Aix-Marseille Université

Laboratoire de Chimie Bactérienne, AMU, CNRS, UMR 7283

<sup>3</sup> International Associated Laboratory of Evolution and Development of Magnetotactic Organisms  
LIA-MagMC, CNRS

<sup>2</sup> Aix-Marseille Université

Laboratoire de Chimie Bactérienne, AMU, CNRS, UMR 7283

**Thèmes** – *Biologie, Microbiologie*

**Résumé** – *Les bactéries magnétotactiques (MTB) représentent un groupe très hétérogène de bactéries aquatiques ayant pour point commun la production d'organites intracellulaires particuliers appelés magnétosomes. Ces magnétosomes constituent une véritable boussole pour la bactérie et vont lui permettre de s'orienter dans le champ magnétique terrestre dans le but de trouver sa zone optimale de développement. Ce mécanisme d'orientation magnétique et le déplacement associé correspondent au mécanisme de magnétotaxie. Afin de nager dans leur environnement aquatique, les bactéries magnétotactiques possèdent toutes un organe locomoteur appelé flagelle. L'appareil flagellaire de certaines bactéries magnétotactiques peut être très différent et présenter un degré d'organisation remarquable. Nos recherches portent essentiellement sur (i) la description de la mobilité de ces bactéries et des structures flagellaires permettant leurs déplacements, (ii) la diversité de bactéries magnétotactiques très particulières du fait de leur organisation multicellulaire.*

**Mots-Clés** – *Bactéries magnétotactiques, magnétosomes, magnétotaxie, flagelle, multicellularité*

## 1 Les bactéries magnétotactiques

Les bactéries magnétotactiques (MTB) sont un groupe de microorganismes divers au niveau morphologique, physiologique et phylogénétique mais elles ont comme point commun de pouvoir s'aligner et se déplacer dans le champ magnétique terrestre. Ce processus est appelé la magnétotaxie [1]. La plupart des MTB sont Gram-négatives, microaérophiles et vivent en mer ou en eaux douces. Plusieurs morphotypes ont été identifiés comme des bacilles, des coques, des spirilles, des vibrios et des formes multicellulaires (Fig.1).

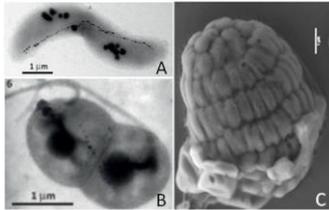


Fig. 1 : divers morphotypes de MTB. A : spirille, B : coque, C : multicellulaire

Afin de s'aligner dans le champ magnétique terrestre, les MTB ont toutes la particularité de synthétiser des magnétosomes. Ces magnétosomes représentent une véritable boussole intracellulaire qui permet l'orientation de la bactérie et facilite sa navigation.

## 2 Les magnétosomes

Les magnétosomes sont des organites intracellulaires composés d'une membrane lipidique dans laquelle va se former un cristal unique de magnétite ( $Fe_3O_4$ ) ou de greigite ( $Fe_3S_4$ ) (Fig. 2A). La synthèse du magnétosome est étroitement contrôlée par un processus génétique appelé biominéralisation. Ce mécanisme implique trois grandes étapes (i) l'invagination de la membrane cytoplasmique (Fig. 2B), (ii) l'internalisation du fer dans la vésicule, (iii) la nucléation (Fig. 2C) et la maturation des cristaux (Fig. 2 D, 2E) [2].

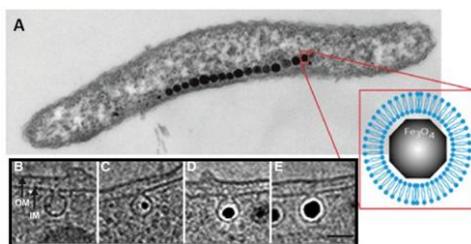


Fig. 2 : A. Chaîne de magnétosomes dans une MTB et schéma de la structure d'un magnétosome [3]. De B à E, processus de formation d'un magnétosome [4]

Les cristaux magnétiques ont différentes tailles et

formes caractéristiques de l'espèce qui les produit. Ainsi on peut trouver des cristaux cubiques, en balle de fusil, en prisme allongé ou rectangulaire [5] (Fig. 3).

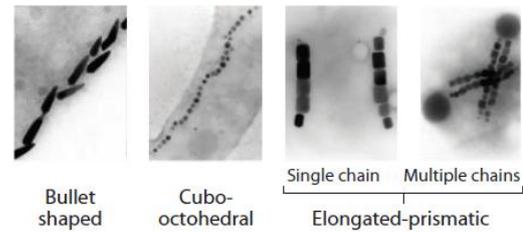


Fig. 3 : différentes formes de cristaux de magnétosomes

Les magnétosomes purifiés représentent des nanoparticules magnétiques aux caractéristiques exceptionnelles de part leur grande cristallinité, leur fort magnétisme et leur forme et taille uniformes (selon l'espèce considérée), qui ne peuvent pas être reproduites par un processus industriel. Toutes ces propriétés rendent les magnétosomes très attractifs dans plusieurs domaines comme les applications biomédicales ou la bioremédiation. Ainsi, grâce à leurs exceptionnelles propriétés de chauffages magnétiques, les magnétosomes sont très prometteurs dans le traitement hyperthermique ciblant des tissus cancéreux [6]. Plusieurs protéines présentes à la surface du magnétosome ont été utilisées afin de servir d'ancrage à des molécules thérapeutiques visant des tumeurs. Les MTB ont aussi été proposées afin d'éliminer les métaux lourds des eaux usées par séparation magnétique [7].

Dans la bactérie, les magnétosomes sont alignés en chaînes grâce à un filament protéique [1, 8] et permettent aux MTB de se positionner dans les lignes du champ magnétique terrestre afin de trouver leur zone de croissance optimale, la zone de transition oxiq-anoxique (OATZ) (Fig. 4) [2].

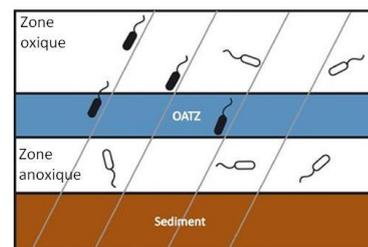


Fig. 4 : seules les MTB (en noir) peuvent s'orienter dans le champ magnétique terrestre afin de trouver leur zone de développement optimale (OATZ)

## 3 La mobilité des MTB

Afin de pouvoir se déplacer dans leur environnement aquatique, les MTB possèdent toutes un appareil locomoteur de type flagelle. Dans notre équipe nous

avons pu montrer que ces flagelles étaient coordonnés afin que la bactérie puisse se déplacer de manière optimale [9] et que la structure de certains appareils flagellaires était inédite et optimisée pour un déplacement très rapide. Ainsi le coque magnétique MO-1, découvert près de Marseille, peut nager à une vitesse de 300  $\mu\text{m/s}$ , 10 fois plus vite qu'*E. coli* ou *Salmonella* [10]. Les Fig. 5A et 5B montrent la complexité de l'appareil flagellaire de MO-1 qui possède un double faisceau de sept flagelles compris dans une gaine [11-14].

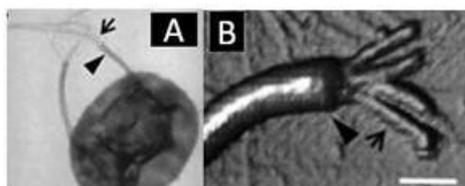


Fig. 5 : architecture de l'appareil flagellaire de MO-1 montrant les deux faisceaux de flagelles (flèche) et la gaine entourant ces flagelles (pointe) [10]

L'analyse génomique [15-16] de différentes espèces de MTB a révélé, au voisinage du gène codant pour la flagelline (protéine formant le filament flagellaire), la présence de gènes codant pour des glycosyltransférases (GT) impliquées dans l'attachement de sucres à des protéines. En effet, nous avons pu démontrer expérimentalement que les flagelles des MTB étaient tous glycosylés [10-13, 17]. Récemment nous avons pu identifier une toute nouvelle GT (appelée Maf, Fig. 6A) impliquée dans le transfert d'un sucre particulier sur le flagelle de *Magnetospirillum magneticum* AMB-1 [17]. D'après nos résultats, la glycosylation est un mécanisme essentiel à l'assemblage du flagelle de cette bactérie. En effet, un mutant n'exprimant pas la protéine Maf ne sera pas mobile et ne présentera pas de flagelles (Fig.6B et 6C).

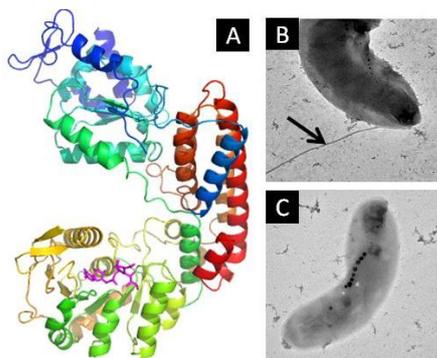


Fig. 6 : A : structure 3D de Maf, B : flagelle de *M. magneticum* AMB-1 souche sauvage et C : mutant  $\Delta\text{maf}$  aflagellé [17]

## 4 Les MTB multicellulaires

Certaines MTB présentent une caractéristique unique dans le monde des bactéries, c'est le fait d'avoir un cycle de vie entièrement multicellulaire. Ainsi même en période de division, la multicellularité est maintenue et aucune étape de vie unicellulaire n'a été observée jusqu'à présent. Si les bactéries constituant cet ensemble sont séparées, elles meurent rapidement [18]. Ces MTB sont composées de 10 à 40 cellules flagellées. Dans notre équipe nous nous intéressons à la diversité de ce groupe de MTB en Méditerranée et nous essayons de déterminer leurs principales caractéristiques physiologiques et génétiques.

## 5 Conclusion

De part leur propriétés assez surprenantes (synthèse de magnétosomes, magnétotaxie, multicellularité), l'étude des MTB peut apporter des réponses à des questions fondamentales en biologie comme l'apparition de la multicellularité au cours de l'évolution. De plus, la biosynthèse des cristaux magnétiques revêt une importance certaine dans différents domaines (bioremédiation, biomédical, nanotechnologie) qu'il sera très intéressant d'exploiter.

## 6 Remerciements

Les auteurs remercient les personnes impliquées à un moment (présent ou passé) dans cette thématique de recherche : A. Bossa, M. Hérisse, M. Lafond, C. Lefèvre, D. Murat, N. Philippe, N. Pradel, S.D. Zhang, W.J. Zhang (étudiants.es dans l'équipe), Y. Bourne, V. Roig-Zamboni, G. Sulzenbacher (AFMB, Marseille), A. Bernadac, D. Byrnes, Y. Denis, A. Kosta, R. Lebrun, P. Mansuelle, (IMM, Marseille), C. Biot, Y. Guerardel, N. Yamakawa (UGSF, Lille).

## Références

- [1]. N. Philippe *et al.*, *J. Mol. Biol.* **400**, 309.
- [2]. D. Murat *et al.*, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **107**, 5593.
- [3]. D. Schuler, *FEMS Microbiol. Rev.* **32**, 654.
- [4]. A. Komeili *et al.*, *Science* **311**, 242.
- [5]. D. A. Bazylinski *et al.*, *Microsc. Res. Tech.* **27**, 389.
- [6]. R. Uebe *et al.*, *Nat Rev Microbiol* **14**, 621.
- [7]. L. Yan *et al.*, *Microbiol. Res.* **167**, 507.
- [8]. N. Pradel *et al.*, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **103**, 17485.
- [9]. D. Murat *et al.*, *J. Bacteriol.* **197**, 3275.
- [10]. C. T. Lefevre *et al.*, *Environ. Microbiol.* **11**, 1646.
- [11]. C. T. Lefevre *et al.*, *Mol. Microbiol.* **78**, 1304.
- [12]. J. Ruan *et al.*, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **109**, 20643.
- [13]. W. J. Zhang *et al.*, *J. Mol. Biol.* **416**, 558.
- [14]. S. D. Zhang *et al.*, *Environ Microbiol Rep* **6**, 14.
- [15]. B. Y. Ji *et al.*, *Environ. Microbiol.* **16**, 525.
- [16]. B. Ji *et al.*, *Environ Microbiol* **19**, 1103.
- [17]. G. Sulzenbacher *et al.*, *Environ Microbiol* **20**, 228.
- [18]. K. Zhou *et al.*, *Environ Microbiol* **14**, 405.

## Le Challenge national Mesures Physiques : retour d'une expérience de pédagogie par projet

---

Émilie Péry<sup>1</sup> Rémi Pollès<sup>1</sup>

emilie.pery@uca.fr remi.polles@uca.fr

<sup>1</sup> IUT, Université Clermont Auvergne  
Institut Pascal, UMR 6602

**THÈMES** – *Physique, Électronique, Chimie, Informatique, Gestion de projet*

**RÉSUMÉ** – *Le challenge Mesures Physiques est une rencontre entre les départements Mesures Physiques des IUT de France. Les étudiants sont mis au défi de réaliser un système de mesures de grandeurs physiques transportable sur un thème donné et avec un cahier des charges précis. Les différentes équipes se retrouvent pour confronter les solutions trouvées lors d'une journée où des prix sont décernés par un jury. L'édition 2018 s'est déroulée au Creusot. L'équipe de Clermont-Ferrand a présenté des systèmes de mesures de longueurs, de taux de sulfites dans le vin (ce taux est réglementé pour les vins bio comme pour les vins conventionnels), de turbidité du vin et de taux de sucre dans le jus de raisin. Ce travail collectif, exigeant et valorisant pour les étudiants comme pour les encadrants, est l'exemple même d'un apprentissage par projet réussi.*

**MOTS-CLÉS** – *Apprentissage par projet, pluri-disciplinarité, mesures physiques, challenge*

## 1 Introduction

Dans le cadre du Programme Pédagogique National (PPN), les étudiants des départements Mesures Physiques (MP) doivent effectuer un projet tutoré (PJT). En deuxième année, il s'agit de mener à bien toutes les phases d'un projet de la conception à la réalisation. Les objectifs de ce projet sont nombreux : travail de groupe, gestion de projet avec l'expression du besoin client, analyse et synthèse sur un thème précis, rédaction d'un rapport et soutenance orale du travail réalisé. Souhaitant faire participer l'ensemble des départements à un projet commun, l'Assemblée des Chefs de Départements (ACD) Mesures Physiques a créé, en 2009, un projet fédératif également appelé challenge. Il s'agit d'une rencontre nationale scientifique et technique où les étudiants présentent leur réalisation de l'année.

## 2 Contexte

### 2.1 Historique

Entre 2009 et 2013, le thème du projet était la conception d'un système de mesures pour l'environnement autonome et transportable, avec des mesures sur les éclairissements diffus, direct et global, la température, la pression... À partir de 2014, pour favoriser la participation de nouveaux départements MP, le thème et les grandeurs à mesurer sont modifiés tous les ans (conductivité, pH de l'eau de mer, viscosité du beurre salé, accélération, comptage de pommes...), en lien avec le département organisateur.

### 2.2 Description du Challenge

Il s'agit de concevoir un système de mesures de grandeurs physiques transportable, qui permet lors de la journée du Challenge Mesures Physiques de comparer les différents systèmes réalisés par les différentes équipes.

Un cahier des charges fixe les contraintes techniques (taille, poids du système, alimentation électrique...), les grandeurs à mesurer et les critères qui seront évalués. Ces derniers recouvrent les différents aspects du projet : démarche métrologique avec présentation de l'évaluation de l'incertitude, de l'étalonnage d'un capteur, présentation orale, innovation technologique d'un capteur, évaluation et présentation du budget sans oublier l'esthétique du dispositif, son originalité et bien sûr la validité des mesures.

L'élaboration du cahier des charges et le choix des grandeurs imposées veillent à favoriser la fabrication de capteurs "maison" et visent à toucher les différentes disciplines (physique, chimie, électronique...).

Des prix sont attribués par un jury, un classement général permet la désignation d'un gagnant qui aura l'opportunité d'organiser le Challenge l'année suivante.

## 3 Édition 2018 – Cuvée Mesures Physiques

### 3.1 Cahier des charges

En lien avec la région Bourgogne, le thème retenu est celui du vin. Les mesures imposées sont :

- le taux de sulfites dans un vin ;
- une grande longueur (entre 5 et 10 m) ;
- la profondeur entre 1 et 20 mm d'un trou borgne à fond plat d'un diamètre de 20 mm ;
- au moins une grandeur au choix, en lien avec le vin, comme le taux de matière en suspension, la taille moyenne d'une bulle de crémant de Bourgogne. . .

L'ensemble doit avoir une dimension maximale correspondant à celle d'un carton de six bouteilles de vin. Séparément, une mesure du temps est demandée (précisément 60 s) à partir d'un dispositif non électrique et autonome.

### 3.2 Réalisations du département de Clermont

Les dix étudiant-e-s de Clermont-Ferrand ont relevé le défi et produit une boîte intégrant les systèmes suivants :

- un ensemble pompe, goutte à goutte, agitateur, photodiode pour le dosage colorimétrique des sulfites ;
- un fil enroulé sur un tube avec un système compte-tours pour mesurer la grande longueur ;
- un capteur infra-rouge pour la profondeur du trou ;
- un dispositif laser/photodiode pour mesurer la turbidité du vin sur le principe de la néphélogéométrie ;
- un montage de polarimétrie pour mesurer le taux de sucre grâce à son pouvoir rotatoire.

Le tout relié à une carte Arduino avec un circuit imprimé et intégré dans une boîte sur mesure (Fig. 1) avec l'aide des outils de découpe du Fablab du Campus et de l'imprimante 3D du département. L'affichage et la mise en forme des résultats de mesures ont été confiés à un tableur. Enfin, s'ajoutent trois dispositifs permettant la mesure de temps : un sablier, un hand-spinner mis en rotation par un jet d'air comprimé et une clepsydre "MP" en 3D.

### 3.3 Rencontre au Creusot

Le département MP du Creusot a accueilli les 17 équipes venues de toute la France [1], soit plus de 150 participants, le vendredi soir pour une soirée conviviale. C'est dès 8h le samedi matin qu'a débuté une journée très rythmée : le matin, mesures sur le thème du vin en intérieur et l'après-midi, mesures de longueurs et de temps en extérieur. La pause de la mi-journée était aussi très propice aux échanges autour des spécialités régionales apportées par chaque équipe.

L'intervention, cette année, d'un œnologue a permis d'avoir un avis d'expert sur le rôle des sulfites dans la distinction entre un vin bio et un vin conventionnel. Cette journée, suivie par une équipe de France 3, s'est déroulée avec le partenariat de l'entreprise locale Cardotech.

L'équipe de Clermont a reçu par le 1<sup>er</sup> prix des mesures de grandeurs au choix (turbidité et taux de sucre).

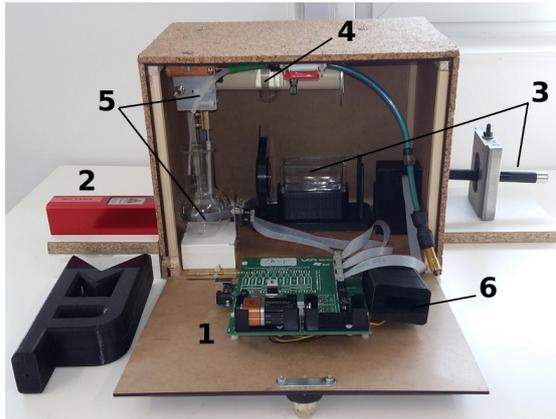


FIGURE 1 – Système réalisé par l'équipe de Clermont-Ferrand. 1. Carte Arduino et circuit imprimé. 2. Laser rouge (turbidité). 3. Laser, cuve, polariseur et analyseur (taux de sucre). 4. Fil enroulé sur un tube (grande longueur). 5. Agitateur, pompe et goutte à goutte (dosage des sulfites). 6. Capteur infra-rouge (profondeur).

## 4 Exemple type d'apprentissage par projet

Si la pédagogie par projet est très répandue, son potentiel n'est pas toujours pleinement exploité. La participation au Challenge constitue pour les étudiants une occasion de se former qui recouvre bien des intérêts visés par ce type d'enseignement.

### 4.1 Effets sur les étudiants

Du point de vue étudiant, ce projet est l'occasion de :

- se mobiliser pour une production concrète, en lien avec les mesures physiques et avec un côté "defi" qui pousse à l'innovation ;
- réinvestir, renforcer, relier ses connaissances et compétences scientifiques et techniques dans des disciplines diverses : les thèmes choisis poussant volontairement à la pluri ou à l'interdisciplinarité ;
- s'impliquer dans un travail de groupe où il faut collaborer mais aussi planifier, décider, se coordonner, l'objectif étant de conduire tout le groupe à la réussite lors de la rencontre nationale ;
- se trouver pleinement investi et responsable en tant que représentant de son IUT, de sa région, dans une manifestation d'envergure nationale ;
- mettre à profit un espace de liberté pour faire preuve de créativité, faire des choix, des essais, des erreurs mais aussi pour échanger, proposer, critiquer.

À ce dernier point s'ajoute la valorisation des réalisations et la saine émulation suscitées par la rencontre avec des étudiants d'autres IUT qui ont travaillé pendant des mois sur les mêmes problématiques.

Enfin, présenter et rendre compte de son projet à un jury permet de regarder dans quelle mesure les objectifs ont été

atteints. Le nombre de critères évalués permet d'avoir une vision objective et détaillée de ses réussites et de se trouver valorisé tant par la rigueur que par la bienveillance des jurys.

En somme, c'est l'appréhension de la complexité du monde professionnel qui est en jeu. Se conformer à un cahier des charges commun, un budget restreint, des contraintes diverses donne du sens et de la valeur aux résultats du projet.

### 4.2 Rôle des encadrants

Il est ici question des enseignants tuteurs du projet et de l'encadrement technique de l'IUT. Leur rôle est essentiel et multiple : entraîneur pour rassurer sur la faisabilité technique des solutions envisagées, animateur pour guider la gestion du projet, motivateur à chaque instant et enfin évaluateur.

Les grands choix sont guidés ou arbitrés par les encadrants, mais il est important d'en rester là. L'aspect compétition du projet ne doit pas effacer les buts pédagogiques visés, à savoir l'apprentissage du travail en équipe, même s'il est parfois tentant de vouloir faire gagner du temps aux étudiants en leur économisant des essais-erreurs qui sont pourtant nécessaires à leur apprentissage.

Il s'agit d'un travail de suivi très gourmand en temps mais l'intérêt pédagogique indéniable et le côté fédérateur de ce projet stimule et motive les encadrants.

## 5 Conclusion

Ce Challenge intègre un projet dense : de l'étude du cahier des charges à la réalisation du système, en passant par la gestion de projet. Il est très formateur pour les étudiants. Le nombre croissant de participants aux différentes éditions du Challenge — de 7 départements sur 29 en 2009 à 17 départements cette année — est le signe d'une expérience de pédagogie par projet réussie.

## 6 Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les équipes organisatrices des départements MP accueillant chaque année le Challenge, avec l'appui de l'ACD. Les auteurs remercient particulièrement les équipes technique et pédagogique du département MP de Clermont pour leur appui essentiel.

## Références

- [1] *SCIENCES : Le Creusot était samedi la capitale des mesures physiques et c'est Toulouse qui a gagné*, <http://www.creusot-infos.com/news/vie-locale/le-creusot/sciences-le-creusot-etait-samedi-la-capitale-des-mesures-physiques-et-c-est-toulouse-qui-a-gagne.html> ; 19 mars 2018

Economie / Gestion / Droit

---

## La logistique événementielle : des opérations à la stratégie.

### - Une illustration par le festival de Woodstock -

---

Vincent Salaun<sup>1</sup>

vincent.salaun@univ-nantes.fr

<sup>1</sup> IUT de Saint-Nazaire, Université de Nantes  
Laboratoire d'Économie et de Management de Nantes-Atlantique, EA 4272

**Thèmes** – *Sciences de Gestion*

**Résumé** – *Considéré comme un événement marquant de la contre-culture des années 1960 - 70, le Woodstock Music and Arts Fair Festival, plus connu sous le nom de Festival de Woodstock, a marqué et marque encore de nombreuses générations. Toutefois, au-delà de son impact musical et culturel, le Festival de Woodstock présente une face sombre moins connue : échec financier, catastrophe écologique, fortes perturbations du trafic routier, difficulté d'approvisionnement alimentaire, etc. À partir d'un cadre d'analyse académique fondé sur les notions de logistique événementielle et de logistique temporaire, la présente communication mobilise le cas du Festival de Woodstock afin de mettre en lumière les enjeux stratégiques de la logistique et d'une gestion par les flux en contexte événementiel.*

**Mots-Clés** – *Festival de Woodstock, Gestion par les flux, Logistique événementielle, Management Logistique.*

## 1 Introduction

En 2015, la France comptait près de 2 000 Festivals de Musiques Actuelles (CNV *et al.* [1]). Si aujourd'hui ce modèle de festivité fait quasiment partie du quotidien, il est notable de constater que le phénomène des FMA est relativement récent et remonte aux années 1960 - 1970. Principalement initié en Amérique du Nord avec le *Newport Folk Festival* (1959) ou le *Monterey International Pop Music Festival* (1967), l'Europe voit se développer ses premiers grands rassemblements sur l'île de Wight (1970) ou dans le centre Bretagne avec le Festival Elixir (1979) (Pont et Polard [2]). Parmi ces précurseurs, il en est un qui a particulièrement marqué les esprits : le *Woodstock Musics and Arts Fair Festival*, plus connu sous l'abréviation de Woodstock (1969). S'il est toujours considéré comme l'un des événements les plus marquants des dernières années, il présente toutefois une particularité étonnante : sa deuxième édition n'a eu lieu qu'en 1994, soit 25 ans après la première édition. Alors qu'il est un succès culturel indéniable, le festival de Woodstock a été une telle catastrophe financière, humaine et écologique qu'il aura fallu 25 années pour le relancer.

Depuis une dizaine d'années, la communauté académique en Sciences de Gestion s'intéresse de plus en plus à l'industrie événementielle et à son fonctionnement si particulier, et notamment aux problématiques de gestion des flux dans ces contextes. Partant de ce constat, l'ambition de la présente communication est d'explorer le rôle du management logistique dans la gestion d'organisations événementielles. Alors que bien souvent les chercheurs explorent des cas d'organisations ayant réussi (sous-entendu qui ont assuré leur survie), la démarche ici développée est son opposée : observer un cas d'échec, le Festival de Woodstock, pour comprendre la contribution éventuelle du management logistique à la réussite d'une organisation événementielle. Dès lors, la question de recherche suivante est posée : **Quelle place occupe le management logistique dans la survie d'une organisation événementielle ?**

Pour tâcher d'apporter des éléments de réponse à ce questionnement, la communication se scinde en trois points exposant successivement : une revue des travaux académiques sur la thématique du management logistique dans les organisations événementielles (2), une démarche de collecte de données empiriques et une présentation du cas du Festival de Woodstock (3), et une discussion conclusive des résultats de l'étude de cas (4).

## 2 Un management logistique événementiel peu connu

Pour Colin [3], le management logistique correspond à la mise en place et à la maîtrise des flux physiques par

l'intermédiaire de flux d'informations associés. En contexte événementiel, les notions de management logistique et de gestion des flux sont relativement absentes des travaux académiques et représentent moins de 5 % des publications des deux revues universitaires de référence dans le domaine (Salaun [4]). Toutefois, il est possible d'identifier quelques éléments clés permettant de comprendre la place, théoriquement, centrale du management logistique. Dans ses travaux, Silvers [5] identifie le pilotage des flux humains comme la clé de voute de toute organisation événementielle. Locatelli et Mancini [6] abondent dans le même sens en considérant l'excellence opérationnelle, sous-entendue la gestion des flux physiques et informationnels, comme la condition *sine qua non* de la réussite de toute structure événementielle. En guise de synthèse, Salaun [4] définit un événement comme "*un point de convergence spatio-temporel de flux hétérogènes et massifs*". Dans cette perspective assimilant un événement à un regroupement de flux, une démarche de management logistique semble indispensable. Plus encore, dans des travaux du début des années 2000, Paché et Sauvage [7] ou Fabbe-Costes [8] évoquent la distinction entre une stratégie logistique, visant à piloter les flux d'une organisation, et une logistique stratégique qui agit en amont de l'organisation et la structure en fonction de ses flux constitutifs. Dès lors, considérant tout événement comme une convergence de flux multiples, considérant également que l'excellence opérationnelle dans la gestion des flux est indispensable à la survie de tout événement, il paraît possible d'émettre la Proposition Théorique (PT) suivante :

- **PT : Une logistique stratégique structurant un événement par ses flux est indispensable à la survie de la manifestation.**

## 3 Le festival de Woodstock : démarche méthodologique et présentation du cas

Si les travaux académiques actuels tendent à accorder une place centrale au management logistique dans les organisations événementielles, cette troisième partie s'attache à explorer le cas du Festival de Woodstock afin de conforter, ou non, cette proposition. Pour ce faire, une méthodologie de construction de cas à partir de données secondaires a été menée, et ont ainsi été collectés : films, témoignages, ouvrages, documentaires ou études académiques. En croisant les éléments, une description de l'événement a pu être élaborée et est présentée de manière succincte dans les paragraphes suivants.

Au milieu des années 1960, deux jeunes américains, Micheal Lang et Artie Kornfeld souhaitent développer un label musical. Pour ce faire, ils répondent à une annonce aujourd'hui passée à la postérité qui précisait dans le New

York Times du 22 mars 1967 : "*Young men with unlimited capital looking for interesting, legitimate investment opportunities and business propositions*". Ayant obtenu les financements promis, Lang et Kornfeld décident d'ouvrir leur label dans la commune de Woodstock au nord des États-Unis. Afin de se faire connaître et de construire leur légitimité, Lang et Kornfeld souhaitent développer un festival de musique.

Pour ces "trois jours de paix et de musiques" tel que le précise l'affiche, les deux organisateurs achètent à prix d'or des concerts des plus grandes stars du moment (Hendrix, Joplin, Baez, etc.). Suite à des déboires avec les habitants et la municipalité de Woodstock, les organisateurs se voient contraints, un mois avant les festivités, de déménager l'événement dans la commune de Bethel sur les terres de Max Yasgur qui accepte de louer sa ferme et ses 250 hectares pour 50 000 dollars (275 000 euros actuels). Principalement focalisés sur la dimension artistique et promotionnelle de l'événement, Lang et Kornfeld délèguent l'animation, la sécurité, et la restauration pour les 1 000 salariés à la *Hog Farm*, une communauté hippie (Lang et George-Warren [9]).

Les résultats du Festival de Woodstock sont édifiants : embouteillage le plus important de l'histoire de États-Unis d'Amérique à ce jour (Perone [10]), entre 5 et 7 000 blessés et trois décès du fait d'un manque de dispositif de santé (Bel [11]), déficit financier abyssal conduisant les organisateurs à vendre l'intégralité des droits de reproduction des enregistrements audio et vidéo (Lang et George-Warren [9]), quasi inexistence d'un système de nettoyage (Wadleigh [12]), classement de l'intégralité de l'emprise du festival en zone sinistrée dès le deuxième jour, condamnation de Max Yasgur à dédommager ses voisins à hauteur de 75 000 dollars. Initialement prévu pour une jauge d'environ 100 000 festivaliers, le Festival de Woodstock deviendra gratuit dès le premier jour sous la pression de la foule et atteindra entre 400 et 500 000 participants (Ferrand [13]).

#### **4 Conclusion : d'une gestion des flux à une gestion par les flux**

Selon notre proposition théorique, un événement souhaitant survivre devrait mettre en place une logistique stratégique conduisant à penser toute l'organisation en fonction des flux en présence. L'échec du Festival de Woodstock semble présenter l'exact inverse d'une logistique stratégique : absence de travail sur les flux alimentaires conduisant à une "quasi-famine", absence de travail sur les flux humains pour la prise en charge par des secours, absence de travail sur les flux de véhicules conduisant à un embouteillage extrême, absence de travail sur le flux de déchets dont résulte une catastrophe

écologique. L'ensemble de ces défaillances semblent être à l'origine des lourds problèmes financiers de l'événement. Dans le cas présent, l'absence d'une réflexion sur les flux a conduit le Festival de Woodstock à sa perte. De là à dire que l'échec était prévisible, il n'y a qu'un pas, que nous ne franchirons pas. Si ce type de raisonnement ne peut conduire à des résultats généralisables, il est notable de voir qu'un délaissement total du management logistique par les organisateurs du Festival de Woodstock semble avoir eu de lourdes conséquences et conduit à accepter, jusqu'à toute étude permettant de la réfuter, la proposition théorique formulée précédemment.

Comme le résume Nikolay [14] "*pour Woodstock, le plus important est le message qui fût passé*", cependant, n'oublions pas que pour les événements, au-delà du message, ce sont les flux les plus importants.

#### **Références**

- [1] CNV, IRMA et SACEM. (2016), Barofest 2016, Bourges.
- [2] Pont, G. et Polard, O. (2017), Elixir. L'histoire Du Premier Grand Festival Français, Coop-breizh, Spézet.
- [3] Colin, J. (2005), "Le supply chain management existe-t-il réellement ?", Revue française de gestion, Vol.156, No. 3, pp. 135–149.
- [4] Salaun, V. (2017), "Quelles évolutions pour la logistique événementielle ? L'impact du cashless dans les festivals musicaux", Logistique & Management, Vol. 24, No. 3-4, pp. 207–214.
- [5] Silvers, J.R. (2012), Professional Event Coordination (2e ed.), John Wiley & Sons, Hoboken, N.J.
- [6] Locatelli, G. et Mancini, M. (2014), "Controlling the Delivering of Projects in Mega-Events: An Application on Expo 2015", Event Management, Vol. 18, No. 3, pp. 285–301.
- [7] Paché, G. et Sauvage, T. (2004), La Logistique : Enjeux Stratégiques (3e ed.) Vuibert, Paris.
- [8] Fabbe-Costes, N. (2005), "La gestion dynamique des supply chains des entreprises virtuelles", Revue française de gestion, Vol.156, No. 3, pp. 151–166.
- [9] Lang, M. et George-Warren, H. (2009), The Road to Woodstock, Harpercollins, New York.
- [10] Perone, J.E. (2005), Woodstock: An Encyclopedia of the Music and Art Fair, Greenwood.
- [11] Bel, J.-M. (2009), En Route Vers Woodstock, Le Mot et le Reste, Marseille.
- [12] Wadleigh, M. (1970), Woodstock, Documentaire, Auto-production.
- [13] Ferrand, L. (2010), "3 days of peace and music. Woodstock, la cristallisation d'un âge d'or du rock", présenté à Les années Woodstock, Le Havre.
- [14] Nikolay, S. (2013), "Chaos and Success : Understanding Woodstock", présenté à Vienna Music Business Research Days, Vienne.

---

## Le packaging dans le commerce électronique : une expérience consommateur à enrichir

---

François Fulconis<sup>1</sup>

francois.fulconis@univ-avignon.fr

Bernd Philipp<sup>2</sup>

bernd.philipp@esce.fr

<sup>1</sup> IUT d'Avignon, Département Packaging (PEC), Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse (UAPV)  
Membre associé au LBNC (UAPV) et membre permanent du CRET-LOG - Aix-Marseille Université (AMU)  
Membre du bureau du Conseil d'Administration de l'Association AIRL-SCM

<sup>2</sup> École Supérieure du Commerce Extérieur (ESCE), Paris  
Membre permanent du CRET-LOG, Aix-Marseille Université (AMU), Aix-en-Provence  
Membre de l'Association AIRL-SCM

**Thèmes** – *Sciences de Gestion*

**Résumé** – *Pour de nombreuses entreprises dont l'activité est directement ou indirectement liée au secteur du packaging (fournisseurs de matériaux d'emballages, fabricants d'emballages, industriels, prestataires de services logistiques, e-commerçants, etc.), le commerce électronique apparaît comme un formidable vecteur de croissance, d'innovation et de compétitivité. En effet, les achats sur Internet de produits de grande consommation ne cessent de croître et, depuis seulement quelques années, le nombre de colis expédiés suit une évolution exponentielle. Face à ce phénomène inédit, qu'en est-il des niveaux traditionnels d'emballages (primaires, secondaires et tertiaires) et de leurs rôles et fonctions respectifs (techniques, logistiques, marketing, de service et d'usage) ? Une nouvelle conception du packaging n'est-elle pas à inventer pour enrichir l'expérience du consommateur internaute, en particulier en renforçant sa valeur perçue du produit sur le plan visuel, sensoriel ou informatif ? À l'aide d'un cadre théorique spécifique et d'une étude empirique exploratoire, cette communication présente les premiers éléments de réponse apportés à ces questions d'actualité.*

**Mots-Clés** – *Chaîne logistique ; Consommateur internaute ; E-commerce ; Livraison ; Marketing ; Packaging (emballages).*

## 1 Introduction

Dans le dossier spécial d'avril 2016 de la revue *Emballages Magazine* consacré au e-commerce, un article soulignait que « plusieurs études le confirment : les opérateurs de la vente en ligne ont encore des efforts à faire en matière d'emballage et de conditionnement. [...] Les résultats sont encore décevants côté présentation. L'expérience consommateur est encore très pauvre ». Autrement dit, peut-on considérer que les emballages d'expédition (colis) traditionnels, sans finalité marketing et n'apportant rien de spécifique au produit sur le plan visuel, sensoriel ou informatif, peuvent satisfaire les attentes des consommateurs internautes ? Dans le cas du e-commerce, il semblerait qu'au-delà de ses fonctions logistiques classiques (manutention, stockage, transport), l'emballage d'expédition se doit aussi de séduire le consommateur. Face à ce défi, notre objectif est d'étudier le potentiel de transfert des concepts « adaptation » vs « adaptabilité », pertinent pour le *brick and mortar*, aux packagings utilisés dans le e-commerce pour, *in fine*, tendre vers une solution packaging optimale.

## 2 Les nouvelles fonctions du packaging face au e-commerce : quel cadre théorique ?

Devant remplir d'autres fonctions que dans les chaînes logistiques traditionnelles, l'emballage d'expédition dans l'e-commerce conduit les acteurs concernés à concevoir et à utiliser des emballages combinant simultanément les fonctions principales des trois niveaux d'emballage habituels (primaires, secondaires et tertiaires). Difficile alors pour les professionnels de recourir aux emballages « industriels » utilisés en masse pour un produit donné sur une chaîne logistique donnée. Alors que l'e-commerce connaît une croissance exponentielle (FEVAD [1]), les professionnels sont amenés à traiter les produits expédiés au cas par cas en fonction des attentes et des profils de consommation de chaque internaute. Dans ce cadre, les travaux mobilisant les concepts « adaptation » vs « adaptabilité » semblent des plus appropriés pour appréhender le développement adéquat et les fonctions du packaging dans l'e-commerce.

Le tableau 1 ci-après résume les modalités relatives au choix managérial « adaptation » vs « adaptabilité » pour le packaging de la chaîne logistique traditionnelle. Cette opposition semble prometteuse quant à son transfert vers des chaînes logistiques du e-commerce qui se voient confrontées à des exigences inédites envers un emballage d'expédition utilisé pour la livraison du consommateur internaute que ce soit à son domicile, en point relais, en consignes automatiques ou *via* d'autres points d'accès au produit livré. L'idée est alors de retrouver, pour l'e-commerce, cette polarité *abstraite* et conceptuelle entre « adaptation » et « adaptabilité ». L'objectif est ici d'aider

à identifier la meilleure solution d'emballage d'expédition, tout en sachant que sa matérialisation *concrète* pourra revêtir une forme assez différente par rapport aux chaînes logistiques traditionnelles faisant intervenir des emballages de différents niveaux.

Tableau 1 – Packaging : « Adaptation » vs « Adaptabilité »

Concepts clés : une opposition idéal-typique	
ADAPTATION	ADAPTABILITÉ
Exploiter des opportunités présentes	Exploiter des opportunités futures
Contexte : « design et développement du packaging »	
<p><b>Adaptation à une ressource, une chaîne, un système ou une structure</b></p> <p>« Adaptation » signifie ici que l'emballage considéré est optimisé vis-à-vis des fonctions majeures de l'emballage (logistique, marketing, écologiques/sociétales).</p> <p><b>Exemple :</b> adaptation à une chaîne ou à une boucle logistique produit-emballage.</p> <p><b>Notions connexes :</b> intégration, efficacité, « sur mesure », caractère monomorphe .</p>	<p><b>Adaptabilité inter-ressources ou inter-systèmes ou inter-structures</b></p> <p>« Adaptabilité » signifie ici que l'emballage considéré devra s'adapter au mieux à des situations à venir diverses et permettre d'exploiter des opportunités futures.</p> <p><b>Exemple :</b> adaptabilité inter-chaînes ou inter-boucles logistiques ou réseaux de distribution.</p> <p><b>Notions connexes :</b> flexibilité, agilité, standardisation, caractère polymorphe.</p>
<p><b>Une structure est composée de ressources</b></p> <p>Exemples de ressources logistiques : ligne de production, plate-forme de distribution, infrastructure de manutention et de stockage, véhicules (P.L.), équipements de réfrigération, de stockage et de présentation, points de vente et stations d'essence, marques, clients, points de vente, infrastructure de reprise (retours / reverse), emballages (primaire, secondaires et tertiaires).</p>	
<p><b>Critères de sélection</b></p> <p>Investissement, coûts et efforts (préhension/ergonomie/ manipulation facile), utilisation de l'espace de vente et temps associé (réapprovisionnement, nombre d'opérations de chargement et de déchargement), interfaces entre les ressources.</p>	

Source : adapté de Jahre et Hatteland [2].

## 3 Comprendre l'expérience consommateur vis-à-vis du packaging dans l'e-commerce

À ce jour, la transposition de l'opposition « adaptation » vs « adaptabilité » à l'e-commerce n'a pas encore été effectuée d'une manière systématique. Le constat est double : d'une part, les professionnels du e-commerce sont en attente, voire à la recherche pour les plus avancés, de solutions packaging pour les emballages d'expédition et, d'autre part, les travaux académiques sont encore très rares. Ceci étant, une tendance générale émerge, les acteurs (professionnels du e-commerce et chercheurs) s'accordent sur le fait que le packaging, au-delà de ses fonctions de protection du produit, doit également remplir des fonctions de vente, de communication, de séduction, etc., pour tenter une mise en valeur optimale du produit et accroître sa valeur perçue par le consommateur. Si c'est le cas depuis longtemps dans le commerce traditionnel, c'est désormais une question cruciale dans le e-commerce.

Pour cette raison, nous nous sommes focalisés sur les soubassements de l'expérience consommateur dans l'e-commerce. La question générale de recherche suivante a été formulée : « **Pour le consommateur internaute, pourquoi et comment le packaging occuperait-il une place plus importante que dans les achats traditionnels en magasins ?** ». Sur des thématiques proches de celle portant sur les concepts d'adaptation et d'adaptabilité, une analyse de la revue de la littérature fait ressortir des pistes de réflexion intéressantes par rapport à cette question générale (Pothet [3], Huang *et al.* [4], Regattieri *et*

al. [5]). Malgré la quasi-absence de validation empirique et des approches différentes (analyse des coûts totaux d'emballage, concentration sur l'emballage secondaire, catégorie de produits, etc.) par rapport à notre problématique, ces premiers travaux nous ont servi d'appui pour décliner la question générale en quatre questions de recherche (QR) subsidiaires (cf. Tableau 2). À vocation exploratoire, elles visent à recueillir le point de vue des consommateurs internautes (cible empirique).

Tableau 2 – Questions de recherche subsidiaires

QR1	Comment le consommateur internaute perçoit-il la pondération entre les diverses fonctions de l'emballage d'expédition, et notamment entre ses fonctions marketing, logistiques ou écologiques (voire sociétales) ?
QR2	Selon le consommateur internaute, quelles fonctions du packaging auparavant assumées par les emballages primaires et secondaires devraient être transférées vers l'emballage d'expédition afin de répondre aux exigences spécifiques de l'e-commerce ?
QR3	En partant des préférences des consommateurs internautes, comment guider le choix des professionnels des chaînes logistiques entre « adaptation » et « adaptabilité » de l'emballage d'expédition ?
QR4	En partant des préférences des consommateurs internautes, comment guider la priorisation des professionnels des chaînes logistiques concernant la compatibilité de l'emballage d'expédition avec les autres ressources logistiques (produit, infrastructures logistiques, acteurs...) ?

#### 4 Principaux résultats empiriques

À partir de la littérature évoquée, un guide d'entretien composé de 36 thèmes et sous-thèmes (hors partie signalétique) a été élaboré et utilisé au cours des mois de décembre 2017 et janvier 2018 auprès de consommateurs appartenant à la génération Y (tout particulièrement familiarisée avec le e-commerce). L'objectif était de déterminer la préférence des consommateurs internautes entre emballage d'expédition sur mesure (adaptation) et emballage d'expédition standard (adaptabilité). L'opérationnalisation des items utilisés dans le questionnaire, notamment ceux relatifs aux fonctions du packaging, s'est principalement appuyée sur les travaux d'Olsmats et Dominic [6], de Pothet [3], de Lundström [7], de Pålsson et Hellström [8] et de Fulconis et Philipp [9]. Considérant le caractère dynamique de l'évolution des canaux de distribution faisant intervenir des emballages inédits pour l'e-commerce et conformément à la nature systémique du packaging, les consommateurs interrogés étaient invités à s'exprimer sur l'adoption souhaitée (ou pas) des fonctions auparavant assumées par l'emballage primaire et/ou l'emballage secondaire.

De façon générale, les principaux résultats obtenus font ressortir que les exigences du consommateur envers l'emballage d'expédition sont très élevées : cet emballage devrait non seulement adopter les fonctions principales remplies par les emballages primaires et secondaires, mais il devrait en plus, tant d'un point de vue logistique que d'un point de vue marketing, intégrer les particularités

relatives au nouveau mode de livraison en e-commerce.

Plus précisément, concernant les quatre questions de recherche subsidiaires, les consommateurs interrogés considèrent les fonctions logistiques plus importantes que les fonctions marketing. Les particularités de l'e-commerce se reflètent dans l'importance élevée perçue pour les sous-fonctions logistiques relatives au temps de livraison ainsi qu'à l'infrastructure de livraison et de reprise. Quant aux sous-fonctions liées au marketing, l'avis des consommateurs est mitigé : l'émerveillement (effet « *Waouh !* ») est considéré comme primordial à leurs yeux, tandis que le score relatif à l'interactivité reste faible (QR1). Selon la perception des consommateurs, l'emballage d'expédition utilisé pour l'e-commerce devrait adopter les fonctions auparavant assurées par les emballages primaires et secondaires (QR2). Concernant le choix entre « adaptation » et « adaptabilité » auquel sont confrontés les professionnels de la chaîne logistique, les consommateurs ont une préférence pour l'adaptation (QR3). Enfin, les consommateurs perçoivent comme très importante la compatibilité de l'emballage d'expédition avec toutes les ressources logistiques avec lesquelles il s'interface (QR4).

#### Références

- [1] FEVAD, *Les chiffres clés 2018*, Fédération du E-commerce et de la Vente À Distance, Paris, 2018. Lien : [www.fevad.com/chiffres-cles-cartographie-e-commerce-2018](http://www.fevad.com/chiffres-cles-cartographie-e-commerce-2018)
- [2] Jahre M. and Hatteland C. J., Packages and Physical Distribution, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 34(2), 2004, p. 123-139.
- [3] Pothet J.-P., De l'emballage au packaging, *Techniques de l'Ingénieur*, Réf. : AG6260-V1, 10 octobre, 2004, p. 1-16.
- [4] Huang K.L., Rust C. and Press M., Packaging design for e-commerce: identifying new challenges and opportunities for online packaging, *Visual Communication Design Graduate School of Digital Content and Animation*, 2009.
- [5] Regattieri A., Santarelli G., Gamberi M. and Mora C., A New Paradigm for Packaging Design in Web-based Commerce, *International Journal of Engineering Business Management*, 6(14), 2014, p. 1-11.
- [6] Olsmats C. and Dominic C., Packaging Scorecard - A Packaging Performance Evaluation Method, *Packaging Technology and Science*, 16(1), 2003, p. 9-14.
- [7] Lundström A., *An Approach for Innovative Packaging Development*, Master's Thesis, LTU, Luleå (Sweden), 2009.
- [8] Pålsson H. and Hellström D., Packaging logistics in supply chain practice – current state, trade-offs and improvement potential, *International Journal of Logistics Research and Applications*, 19(5), 2016, p. 351-368.
- [9] Fulconis F. et Philipp B., Packaging et chaîne logistique en boucle fermée : contribution au passage d'une économie linéaire à une économie circulaire, *Logistique & Management*, 24 (3/4), 2016, p. 186-198.

---

## Vers un modèle intégré de la PME en hypercroissance. La place centrale de l'entrepreneur visionnaire

---

Cécile Chanut-Guieu<sup>1</sup>      Gilles Guieu<sup>2</sup>  
cecile.guieu@univ-amu.fr    gilles.guieu@univ-amu.fr

<sup>1</sup> Aix Marseille Univ, CNRS, LEST, Aix-en-Provence, France  
IUT Aix-Marseille, Département GEA Gap

<sup>2</sup> Aix Marseille Univ, CRET LOG, Aix-en-Provence, France  
IUT Aix-Marseille, Département GEA Gap

**Thèmes** – *Gestion*

**Résumé** – *Les PME en hypercroissance constituent un enjeu tant scientifique qu'économique. Comment le dirigeant gère-t-il la croissance forte pour la rendre durable ? Comment les caractéristiques psychologiques du leader concourent-elles à favoriser le développement rapide de l'entreprise ? Nous examinons la construction de l'hypercroissance en centrant notre analyse sur la place du dirigeant. A partir d'études de cas comparatives sur base d'entretiens avec les dirigeants de huit PME, nous proposons d'examiner la gestion entrepreneuriale de la PME en hypercroissance en mettant l'accent sur les différentes facettes de l'entrepreneur visionnaire.*

**Mots-Clés** – *hypercroissance, entrepreneur, vision, modèle de croissance, méthode à la Gioia.*

## 1 Introduction et questions posées

De nombreux travaux ont appelé à développer la recherche sur les PME en croissance rapide (Barringer *et al.*, 2005 [1] ; Bradley *et al.*, 2010 [2]). Ces entreprises présentent diverses formes (Mustar, 2002 [3] ; Delmar *et al.*, 2003 [4]) et une nature disruptive (Julien *et al.*, 2006) [5]. Wiklund *et al.* (2009) [6] ont proposé un modèle intégré de la croissance de la PME. Pourtant, il n'existe pas pour l'heure de modèle intégré s'intéressant à la forme exacerbée de la croissance : l'hypercroissance. Cet examen est pourtant doublement utile : premièrement, la croissance rapide et durable exacerbe les tensions dans la PME et leur étude permet d'identifier des éléments clés pour les PME à croissance plus modérée ; deuxièmement, ces petites entreprises devenant rapidement des ETI intéressent au plus haut point les politiques publiques, soucieuses de favoriser leur croissance et leur essaimage. Dans cet article, nous souhaitons répondre à la question centrale suivante : Quel rôle joue le caractère visionnaire du dirigeant dans la construction et le maintien de l'hypercroissance de sa PME ?

## 2 La PME en hypercroissance et son dirigeant

Une PME en hypercroissance se caractérise par un taux de croissance du chiffre d'affaires d'au moins 20 % pendant au moins quatre années. Cette définition a été donnée par Birch (1987) [7]. Le concept-même d'hypercroissance sera ensuite introduit par Markman et Gartner (2002) [8]. Pendant un épisode d'hypercroissance, l'entreprise doublera sa taille en moins de quatre années (Cassia et Minola, 2012) [9]. Les PME à forte croissance se caractérisent par la forte tension exercée sur leurs ressources. Littunen et Virtanen (2009) [10] insistent sur la nécessité de mieux appréhender les processus qui mènent à l'hypercroissance. Claveau *et al.* (2013) [11] ont montré que c'est par la valorisation d'un slack que ces PME se développent. Cassia et Minola ont montré que l'hypercroissance était essentiellement générée par des opportunités d'affaires hors du commun et un accès particulier à des ressources (essentiellement sous forme de connaissances).

Certaines études proposent une explication de la croissance fondée sur l'entrepreneur. Sadler-Smith *et al.* (2003) [12] ont identifié un style entrepreneurial particulier aux PME en croissance rapide, contrairement aux entreprises à croissance modérée. Pour Chan *et al.* (2006) [13], « les motivations des propriétaires de petites entreprises en matière de croissance sont influencées par une large variété de valeurs, de perceptions, de résultats espérés, mais les dirigeants des PME à forte croissance tendent à avoir des styles similaires » (Chan *et al.*, 2006, p. 429) [13]. Ginn et Sexton (1990) [14] indiquent que les

fondateurs de firmes à croissance rapide ont des préférences psychologiques significativement différentes de ceux de firmes à croissance lente. Ils privilégient une approche intuitive des possibilités futures lorsqu'ils collectent de l'information, et une approche planifiée et organisée lorsqu'il s'agit de dresser des conclusions.

Les dirigeants de PME en hypercroissance présentent des spécificités. Dans des travaux précédents, nous avons identifié la place importante occupée par les dirigeants dans les firmes en hypercroissance (Chanut-Guieu et Guieu, 2010 [15], 2014 [16]). Nous adhérons aux résultats de Davidsson (1989) [17] selon lequel le succès de ces dirigeants tient largement à leur forte volonté et à leur capacité à saisir des opportunités. Chanut-Guieu et Guieu (2010 [15], 2011 [18]) ont identifié leur caractère sur-optimiste, volontaire et indépendant. Belliato *et al.* (2010) [19] ont parlé de « métier de dirigeant de PME en hypercroissance ». Pour certains chercheurs, l'entrepreneur joue un rôle modérateur plutôt qu'explicatif (Cassia et Minola, 2012) [9].

Pour d'autres, dont nous sommes, l'entrepreneur est central dans la construction de l'hypercroissance. Les dirigeants doivent manier une double compétence pour parvenir à simultanément contrôler et orienter l'entreprise dans la direction de leur choix, tout en étant capables de déléguer et d'accorder leur confiance autour d'eux pour ne pas brider la croissance de l'entreprise (Champagne *et al.*, 2012) [20]. Par ailleurs, l'entreprise doit à la fois stabiliser son cœur de métier tout en cherchant des relais pour s'étendre. Equilibre souvent difficile à trouver pour l'entrepreneur à la tête de l'entreprise, aux prises avec des tensions paradoxales déstabilisatrices (Chanut-Guieu *et al.*, 2018) [21]. L'idée dans cette communication est de focaliser sur le caractère visionnaire du dirigeant.

## 3 Méthodes et données

Trente-neuf entretiens semi-directifs de dirigeants et de managers ont été menés dans huit PME en hypercroissance. Les entretiens traitent des différents aspects du développement de l'entreprise : dynamique générale, stratégie, environnement, marchés, structures, marketing, finance, ressources humaines, systèmes d'information, logistique, outils de gestion, etc. Nous nous sommes aidés pour cette analyse d'un outil de traitement automatisé des données textuelles, Wordmapper. Le logiciel permet de compter les occurrences de mots signifiants prédéterminés, puis de repérer les mots associés aux mots signifiants et les cooccurrences entre les mots indiqués et les principaux mots associés. Wordmapper garde les mots dans leur contexte de citation et permet un travail qualitatif proche des interprétations réalisées via leurs discours par les personnes interviewées

## 4 Résultats

La vision est verbalisée de différentes manières par les dirigeants de PME en hypercroissance. Ils évoquent une projection temporelle : « *Le dirigeant, à mon sens, doit avoir une vision extérieure de l'entreprise et un positionnement de son groupe dans les trois ans à venir. Il doit toujours penser sur trois ans. Il doit avoir une politique, une stratégie à trois ans.* » (n°27, Nettoyage Sud-Est, DAF). « *On a à peu près aujourd'hui une vision sur cinq ans de notre organisation* » (n°1, AST). « *We have a vision for long-term. It's not like playing for short-term and saying bye-bye* » (n° 3, Chem-Tex, dirigeant). Cette vision est globale : « *Je pense que j'avais une vision pour le groupe. J'avais une vision de où on va ? Qu'est-ce qu'il faut qu'on fasse ? De quels types de compétences on va avoir besoin demain ? Comment anticiper ? Comment commencer à former les gens, les faire grandir pour que demain ils prennent de nouvelles responsabilités ?* » (n°11, A, PDG). Une réflexion rapide est exigée : « *En tant que directeur général, le fait d'avoir une vision extrêmement rapide, cela me permet, par rapport aux objectifs de développement, de voir où l'on va aller, sur quelles activités, sur quel métier, sur quels donneurs d'ordres, sur quels types de clientèle.* » (n°46, Pollu-Tech).

La vision est considérée comme très personnelle : « *ça part d'une vision, il y a quand même réellement une vision, sa vision, sa volonté.* » (n°21, Catraff, directeur financier), ou au contraire partagée : « *A trois on perçoit toujours mieux une problématique que seul, et je tiens compte de leur vue parce qu'on a toujours nous, un angle de focalisation sur le sujet. Il faut toujours tenir compte de la vision que les autres ont* » (n°12, Chem-Tech, DG).

Au-delà de cette lecture globale, l'identité de l'entrepreneur visionnaire, à partir de l'analyse approfondie des 39 entretiens, peut se décliner en différentes caractéristiques : la *volonté d'entreprendre* (1), le poids de son *expérience* (2) et les *circonstances* (3).

### Avoir la volonté d'entreprendre

Etre visionnaire, c'est avoir la volonté d'entreprendre. C'est vouloir faire croître l'entreprise en équilibrant passion et risque, créativité et maturation.

- La croissance tient à la volonté d'entreprendre du dirigeant (a). « *C'est à la fois la volonté des dirigeants de privilégier systématiquement la croissance, et leur capacité à remettre en question l'organisation et les process, en fonction des besoins du client, du marché et de la concurrence* » (n°7, Service Conseil, DAF). « *On a toujours gardé les deux en place ; la volonté de croissance, mais on a toujours fait attention à la recherche de la rentabilité* » (n°5, Catraff, RH).

- Le goût du défi et la passion guident l'action, mais dans un cadre de mesure du risque à prendre (b) : « *on a certainement un peu surperformé par rapport au marché parce qu'on a pris plus de risques que d'autres, on est allé chercher des produits plus loin, on a fait des métiers plus compliqués* » (Président Fondateur de Biodistri). La création d'une entreprise, « *c'est une passion quelque part. On a créé cette entreprise, pas d'une façon « raisonnable », c'est parce que quelque part on avait des idées, on a senti un marché et puis on a senti devant nous des industriels pas forcément bien* » (n°9, Service Conseil, PDG). « *Je pense qu'il y a plein de gens qui ont des idées, mais qui n'osent pas. Alors peut-être que c'est une question de caractère, qu'ils n'iraient jamais, même si ils étaient sûrs que c'est simple.* » (n°14, Voltage, PDG). Le « brin de folie », souvent mentionné et véhiculé par un « chien fou » (n°20, Catraff, DG), fait le reste. « *C'est quand même une approche un peu folle, un peu passionnelle, avec une idée au départ, et aussi des capacités* » (n°9, Service Conseil, PDG). « *Trop gérer l'innovation, c'est la tuer, parce que, effectivement, il faut laisser la part du fou : un chercheur qui n'a pas la part du fou, ce n'est pas bon parce que l'innovation elle est aussi alimentée par la part du fantasme, du rêve, de la synthèse qu'on peut faire d'idées un peu saugrenues, et ce n'est pas facile à accepter dans une entreprise* » (n°20, Catraff, DG).

- Le besoin de créer est au centre de l'action du dirigeant (c). Les dirigeants d'entreprise en hypercroissance disent qu'il suffit simplement « *d'être un peu plus créatif que les concurrents* » (n°36, Biodistri, Développeur nouvelles filières). « *Je me sens plutôt entrepreneur, il n'y a que la création qui m'intéresse. (...) Entrepreneur avec des gens, oui, manager des gens, non, pas trop !...* » (n°35, Auto). « *Il faut un minimum de créativité et d'envie pour avancer, et on sait que derrière, les autres vont suivre plus ou moins ...* » (n°9, Service Conseil, PDG).

### Se fonder sur l'expérience

La notion d'expérience est importante pour caractériser la vision développée des dirigeants d'entreprise en hypercroissance. Trois types d'expérience structurent l'expérience du dirigeant : une *expérience personnelle* (a), une *expérience organisationnelle* (b) et une *expérience de la croissance*, conjonction des deux précédentes (c).

- C'est d'abord une expérience personnelle (a). Le DG de Catraff considère qu'« *(il) a une expérience qui (lui) sert très, très fort et qui (lui) a servi à prendre les bonnes décisions et ne pas (se) tromper sur des matériels, sur des voies,...* » (n°12, Catraff, DG). « *C'est l'expérience qui permet de comprendre que quand on prend un mauvais virage, on peut peut-être le*

savoir et en prendre un autre ». (n° 26, Nettoyage Sud-Est, PDG). « On a une vision plus claire d'une entreprise, qu'elle soit industrielle ou qu'elle soit dans le service, à partir du moment où on a une expérience dans sa propre entreprise et qu'on a mené un certain nombre de fronts. » (n°1, A). « Les décisions sont prises au feeling. C'est le marché, la connaissance du marché, c'est l'expérience. La qualité d'un dirigeant, c'est qu'il sent avant les autres ce qui va se passer. Puis il repère ce qui est bien de ce qui est mal chez ses concurrents. A partir de là, il arrive à dire : « je vais aller dans cette direction plutôt que dans celle-là ». Il comprend avant les autres ce qui va se passer. Il a de l'intuition si vous voulez, mais il fait cela par des analyses... L'expérience, oui..., je pense que c'est plutôt l'expérience qui joue. C'est excessivement difficile. Il faut connaître le marché, connaître la concurrence, le monde, tout. » (n°33, O).

- C'est ensuite une expérience de l'entreprise (b). Il s'agit de savoir s'entourer de « gens d'expérience » (n°43, Electro), et être visionnaire consiste également à « savoir dénicher l'expérience là où elle est » (n°10, Chem-TEX), car « l'entreprise se nourrit d'expériences qui viennent de l'extérieur ». (n°46, Pollu-Tech).
- C'est enfin l'expérience de la croissance (c). Le PDG de Cyberconseil explique l'intérêt de l'expérience de la croissance : « L'hyperspécialisation trop tôt fait qu'il n'y a plus rien qui fonctionne. Je faisais toujours référence à mes expériences antérieures en disant : « est-ce qu'on a besoin d'une direction technique dépendante ou pas ? Non (...). Est-ce qu'on a besoin d'une relation commerciale indépendante ? Oui, ça devient urgent (...) » (n°6, Cyberconseil, PDG). L'expérience de la croissance permet de « dédramatiser les choses » (n° 5, C).

### Rendre les circonstances favorables

Le troisième volet de l'entrepreneur visionnaire se subdivise en la rapidité face aux opportunités (a) et la capacité à se construire des possibilités d'action (b)

- Nombre de dirigeants évoquent la notion d'opportunité, en insistant sur la question du temps, à la fois celui du moment où l'opportunité est là, et de la rapidité nécessaire pour saisir l'occasion qui s'offre (a). « On étudie, on regarde ce qu'on fait. On fait des audits, ce qui est normal, on est capable de prendre des décisions parce qu'on connaît tout le marché. On sait où on veut aller, une opportunité, cela se saisit au bon moment. Il faut étudier les synergies des systèmes pour voir si l'intégration pourrait se faire. Voilà, c'est tout. » (n°33, ORA). « parce qu'il ne faut pas réfléchir 20 ans. Si on réfléchit et que l'on fait des plans d'action, des stratégies à moyen terme, on ne se serait pas développé comme on l'a fait. » (n°44, Pollu-Tech, DAF). Le cycle

peut être cumulatif, l'envergure de la PME lui donnant la possibilité de bénéficier de plus d'opportunités à saisir. « On a constamment pris des opportunités de croissance. Si on est là sur ce marché, c'est parce qu'on a pris des opportunités, surtout dans le développement ces dernières années. Parce qu'on a acheté une vingtaine d'entreprises dans le monde, et donc on a pris des tas d'opportunités » (n°33, ORA). L'opportunité peut ou peut ne pas être saisie, en fonction du dirigeant : « Il faut avoir un petit peu de nez, il faut oser » (n°25). « Il y a une certaine période où c'est vous qui faites les opportunités » (n° 18, Pollu-Tech, DG). « Quand on a un peu plus d'expérience, on est capable de voir l'opportunité, de la visualiser, peut-être de la saisir » (n°45, Pollu-Tech).

- La chance se construit (b). « On a eu la chance d'anticiper le mouvement ; la chance qu'on a eue c'est de réfléchir beaucoup à comment demain sera fait pour notre métier, et on voit aujourd'hui que ce qu'on avait prévu se réalise (...) la réforme est exactement dans les termes qu'on avait, nous, anticipés, donc on a une chance folle » (n°48, U). Ou encore : « j'ai toujours eu de la chance. Concernant l'agence de Toulon, personne n'y croyait, nous avons tout de suite progressé » (n°28, Nettoyage Sud-Est, fondateur). « Tout le monde a besoin de propreté, donc on a une chance folle, il faut juste être observateur » (n°26, Nettoyage Sud-Est, PDG). Ou encore : « c'est de la chance, mais pour cela on a investi lourdement... ». (n°6, Service conseil). La notion de chance et d'opportunité sont souvent liées : « Quand l'activité informatique va mal et qu'il y a le moins de vent, c'est le moment de sortir les voiles pour pouvoir repartir de plus belle. Nous avons eu la chance en 2003 d'une opportunité fantastique qui est de reprendre l'activité du Sud-Est de la France de S... (...) » (n°24, Info sud, PDG).

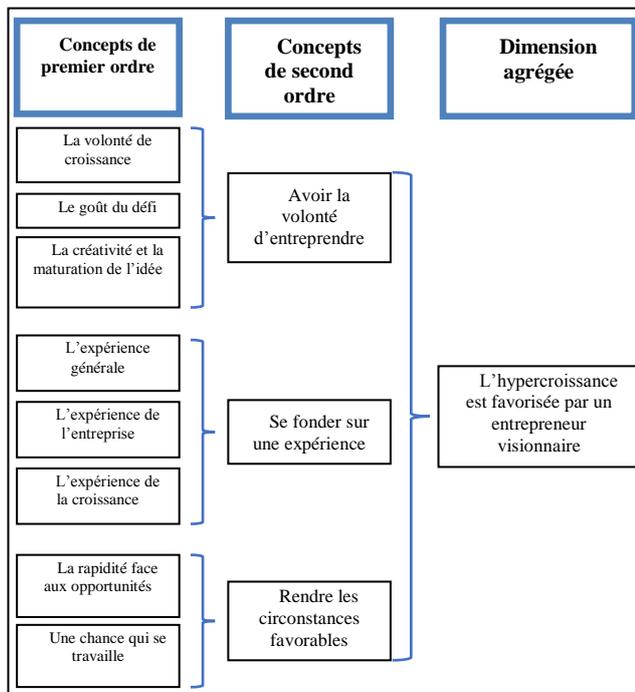
## 5 Conclusion : Structuration conceptuelle de la notion d'entrepreneur visionnaire

Nos analyses de terrain nous permettent d'aboutir à une structure générale de la dimension agrégée de « l'entrepreneur visionnaire ». Nous avons opté pour une présentation à la Gioia et al. (2014) [22], synthétisant les concepts de premier ordre (proches des verbatims) en concepts de second ordre, eux-mêmes résumés en une dimension agrégée (figure 1). Ainsi, la vision ne doit pas uniquement être considérée comme une fonction cérébrale ; elle se réalise également par et dans l'action. La volonté, l'expérience et les circonstances la bâtissent.

La plupart des dirigeants interrogés fondent la croissance de leur firme sur une solide volonté de croître. Ils pensent que la croissance est l'outil idéal pour gérer

leur entreprise. Ils sont extrêmement optimistes sur leurs réalisations. Pour la plupart d'entre eux, avoir réussi à accéder à un haut niveau de croissance est la concrétisation d'un schéma intellectuel, transformé en réalité par leur manière efficace de combiner des ressources et de tirer parti des opportunités.

Figure 1 – L'entrepreneur visionnaire : structure conceptuelle



## Remerciements

Cette contribution est réalisée dans le cadre d'un contrat ANR, en collaboration avec des collègues du laboratoire Coactis (Lyon - Saint-Etienne).

## Références

[1] Barringer, B. R., Jones, F. F., & Neubaum, D. O. (2005). A quantitative content analysis of the characteristics of rapid-growth firms and their founders. *Journal of Business Venturing*, 20(5), 663-687.

[2] Bradley, S. W., Wiklund, J., & Shepherd, D. A. (2011). Swinging a double-edged sword: The effect of slack on entrepreneurial management and growth. *Journal of Business Venturing*, 26(5), 537-554.

[3] Mustar, P. (2002). Les PME à forte croissance et l'emploi. *rapport OCDE*.

[4] Delmar, F., Davidsson, P., & Gartner, W. B. (2003). Arriving at the high-growth firm. *Journal of Business Venturing*, 18(2), 189-216.

[5] Julien, P. A., Saint-Jean, E., & Audet, J. (2006). Les facteurs de discontinuité des PME à forte croissance. *Actes du 8<sup>ème</sup> Congrès CIFEPME, Fribourg*.

[6] Wiklund, J., Patzelt, H., & Shepherd, D. A. (2009). Building an integrative model of small business growth. *Small Business Economics*, 32(4), 351-374.

[7] Birch, D. (1987). *Job creation in America: How our smallest companies put the most people to work*. New York: Free Press.

[8] Markman, G. D., & Gartner, W. B. (2002). Is extraordinary growth profitable? A study of Inc. 500 high-growth companies. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 27(1), 65-75.

[9] Cassia, L., & Minola, T. (2012). Hyper-growth of SMEs: Toward a reconciliation of entrepreneurial orientation and strategic resources. *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*, 18(2), 179-197.

[10] Littunen, H., & Virtanen, M. (2009). Differentiating factors of venture growth: from statics to dynamics. *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*, 15(6), 535-554.

[11] Claveau, N., Perez, M., Prim-Allaz, I., & Teyssier, C. (2013). Slack financier et forte croissance dans la PME. *Revue de l'Entrepreneuriat*, 12(1), 71-99.

[12] Sadler-Smith, E., Hampson, Y., Chaston, I., & Badger, B. (2003). Managerial behavior, entrepreneurial style, and small firm performance. *Journal of Small Business Management*, 41(1), 47-67.

[13] Chan, Y. E., Bhargava, N., & Street, C. T. (2006). Having arrived: the homogeneity of high-growth small firms. *Journal of Small Business Management*, 44(3), 426-440.

[14] Ginn, C. W., & Sexton, D. L. (1990). A comparison of the personality type dimensions of the 1987 Inc. 500 company founders/CEOs with those of slower-growth firms. *Journal of Business Venturing*, 5(5), 313-326.

[15] Chanut-Guieu, C., Guieu, G. (2010). Les PME en hypercroissance sont-elles vraiment singulières ? In : Lecointre, G., Roubaud, J.-F. *Le grand livre de l'économie PME*, chapitre 3 (partie 3), p. 223-243. Paris : Gualino.

[16] Chanut-Guieu, C., Guieu, G. (2014). High growth trajectories in small and medium sized enterprises: A comparative study. *Journal of Small Business and Enterprise Development*. Vol. 21, n° 4, p. 623-637.

[17] Davidsson, P. (1989). Entrepreneurship—and after? A study of growth willingness in small firms. *Journal of Business Venturing*, 4(3), 211-226.

[18] Chanut-Guieu, C., Guieu, G. (2011). Stratégie et structuration des trajectoires d'hyper croissance des PME. Une étude de cas comparative, *Management & Avenir*, n° 43, p. 36-55.

[19] Belliato, E., Champagne, C., & Séville, M. (2010). A la découverte d'un métier méconnu et difficile, dirigeant de PME en croissance. *Le grand livre de l'économie PME*, 305-330.

[20] de Labriolle, C., Prim-Allaz, I., Séville, M., & Belliato, E. (2012). La confiance, levier de l'engagement dans les PME en forte croissance. *Revue Française de Gestion*, (5), 65-84.

[21] Chanut-Guieu, C., Guieu, G., Tannery, F., Dana, L.-P. (2018). La création d'une dynamique durable d'hypercroissance. Le cas d'une ETI française. *Revue Française de Gestion*. A paraître.

[22] Gioia, D. A., Corley, K. G., & Hamilton, A. L. (2013). Seeking qualitative rigor in inductive research: Notes on the Gioia methodology. *Organizational Research Methods*, 16(1), 15-31.

---

## Conséquences envisageables de la future loi PACTE sur la gouvernance des entreprises

---

Jean-Yves Juban<sup>1</sup>

Jean-yves.juban@iut-valence.fr

<sup>1</sup> IUT de Valence, Université Grenoble Alpes  
CERAG

**Thèmes** – *Économie - Gestion - Droit*

**Résumé** – *Le plan d'action pour la croissance et la transformation des entreprises (PACTE) ambitionne de donner aux entreprises les moyens d'innover, de se transformer, de grandir et de créer des emplois. Élaboré selon la méthode de la co-construction avec tous les acteurs, ce plan permettra de rédiger un projet de loi au printemps 2018. Nous proposons dans cet article d'aborder les conséquences envisageables de la mise en œuvre de ce plan sur la gouvernance des entreprises. D'une gouvernance actionnariale à une gouvernance partenariale, nous proposons une brève exploration de ce que les théories et nos recherches permettent d'envisager pour que les décisions stratégiques et organisationnelles soient prises en intégrant les attentes des différentes parties prenantes. Nos recherches portent sur les sociétés coopératives en France (SCOP et SCIC) et nous permettent de présenter un exemple original de gouvernance dans notre analyse.*

**Mots-Clés** – *Gouvernance, coopératives, parties prenantes*

## 1 Introduction

Le Ministre de l'Économie du gouvernement Philippe, Bruno Le Maire, a lancé à l'automne 2017 une démarche de consultations en vue de l'élaboration d'un projet de loi sur un plan d'action pour la croissance et la transformation des entreprises (PACTE). La loi devrait être présentée au Parlement au printemps de cette année et les consultations ont d'ores et déjà débouché sur un rapport (Notat et Senard, 2018).

Deux articles du Code Civil se trouvent au cœur des débats autour du PACTE : les articles 1832 et 1833. Les débats portent sur les parties prenantes et l'objet social de l'entreprise. Nous proposons d'aborder ces deux sujets à partir d'une synthèse des positions qu'ils suscitent et de nos recherches portant sur les Sociétés Coopératives et Participatives (SCOP). C'est donc la question de la gouvernance que nous allons traiter, entre gouvernance actionnariale et partenariale, nous nous interrogeons sur la place du droit pour une meilleure prise en compte des enjeux sociaux et environnementaux par les dirigeants d'entreprises.

## 2 La prise en compte des parties prenantes dans la gouvernance des entreprises

L'article 1832 du Code Civil, qui fait l'objet de discussions dans le cadre de la préparation de la loi PACTE, doit être cité en intégralité pour que les termes du débat soient correctement posés. Il stipule ce qui suit : « *La société est instituée par deux ou plusieurs personnes qui conviennent par un contrat d'affecter à une entreprise commune des biens ou leur industrie en vue de partager le bénéfice ou de profiter de l'économie qui pourra en résulter. Elle peut être instituée, dans les cas prévus par la loi, par l'acte de volonté d'une seule personne. Les associés s'engagent à contribuer aux pertes* ». Il faut donc acquérir une part du capital de l'entreprise pour pouvoir en partager le bénéfice tout en s'engageant à contribuer aux pertes éventuelles. Le droit des sociétés confère aux actionnaires des Sociétés Anonymes le droit de constituer le Conseil d'Administration (CA) en élisant leurs pairs, qui choisiront un ou plusieurs dirigeants. L'approche classique de la gouvernance repose sur la théorie de l'agence (Jensen et Meckling, 1976) qui rapproche les points de vue des dirigeants et des actionnaires.

C'est avec la théorie des parties prenantes (Freeman, 1984) que d'autres acteurs concernés par les activités de l'entreprise sont pris en compte dans les réflexions sur la gouvernance. On pense en priorité aux salariés, mais aussi aux fournisseurs et aux clients, aux organismes de financement, aux pouvoirs publics et de manière générale à la société. C'est de là que viendront les réflexions et les pratiques sur la Responsabilité Sociale et Environnementale (RSE) de l'entreprise.

Les tenants de la gouvernance actionnariale continuent à justifier le rôle prépondérant des actionnaires en tant que créanciers résiduels, c'est-à-dire les seuls à ne pas être rémunérés contractuellement par l'entreprise. Il est vrai que leur rémunération est entièrement variable et par nature incertaine puisqu'elle repose sur les bénéfices et les plus-values potentiels. La rémunération des actionnaires dépend donc de la bonne gestion de l'entreprise, ce qui explique que les actionnaires revendiquent le droit de nommer et contrôler les dirigeants.

La gouvernance partenariale, qui relève d'un projet et d'une réalité marginale mais intéressante avec les SCOP, propose d'intégrer d'autres parties prenantes dans les instances décisionnaires telles que le CA. Les changements très modestes consistant à accorder quelques places à des salariés ne permettent pas de parler de partenariat compte tenu du déséquilibre persistant entre les actionnaires et les autres parties prenantes. Un élargissement de la composition du CA est souhaitée par certains pour plusieurs raisons, dont une qui porte sur la durée de détention des actions par certains investisseurs qui est si brève qu'elle ne permet pas de penser qu'il y a une autre motivation que la recherche d'un gain spéculatif à leur placement. Ces actionnaires n'exercent pas leur pouvoir en vue d'assurer la continuité de l'entreprise.

Il semble difficile d'imaginer que toutes les parties prenantes puissent siéger équitablement au sein du CA, au risque de paralyser celui-ci. C'est ainsi qu'est apparue la notion de « parties prenantes spécifiques » (Valiorgue et Hollandts, 2018) qui permet d'aller au-delà de ce que prévoient les codes de gouvernance (Afep-Medef en France par exemple). Ces codes amènent le CA à se prononcer sur les choix stratégiques que feront les dirigeants, créant ainsi les conditions d'une co-construction de la stratégie de l'entreprise. Des représentants des parties prenantes pourraient être nommés par les actionnaires pour siéger au CA et représenter les intérêts de la société dans son ensemble, en particulier sur les conséquences sociales et environnementales des décisions stratégiques. Le comité des parties prenantes qui serait alors constitué aurait pour mission essentielle de « *s'assurer que les parties prenantes qui réalisent des investissements spécifiques, essentiels à la pérennité de la société, et qui supportent des risques sont bien prises en compte par les dirigeants dans la formulation de la stratégie* » (Valiorgue et Hollandts, op. cit.). Les auteurs de cette proposition ajoutent pour finir que « ce comité indiquerait aux dirigeants de l'entreprise les acteurs auxquels ils devront apporter des réponses adaptées, compte tenu des risques qu'ils prennent ou des externalités qu'ils supportent ».

Le débat sur la place des parties prenantes peut donc se focaliser sur l'article 1832 du Code Civil, mais nous allons voir qu'il peut aussi largement dépasser celui-ci lorsqu'il conduit à s'interroger sur ce qu'est une entreprise et sur sa finalité sociale.

## 3 Refonder l'entreprise à partir de son objet social

C'est l'article 1833 du Code Civil qui est au cœur des réflexions sur l'objet social des entreprises. Citons-le : « *Toute société doit avoir un objet licite et être constituée dans l'intérêt commun des associés* », la brièveté du propos ne doit pas faire sous-estimer sa portée. Les associés ayant apporté des biens ou leur industrie à la société dans le but d'en tirer un profit, c'est bien là qu'est le but ultime de l'entreprise. Certains actionnaires étant depuis longtemps devenus « *volatiles et opportunistes, sans mémoire et sans projet* » (Segrestin et Hatchuel, 2012), les dirigeants se retrouvent parfois confinés au rôle de simples agents incapables de limiter les activités risquées vers lesquels les poussent ces mêmes actionnaires.

C'est à une refondation de l'entreprise que nous invitent les membres du collège des Bernardins qui réfléchissent à ces questions (Segrestin et al., 2015). Ils proposent un nouveau

statut, inspiré par celui des *Flexible Purpose Corporations* aux Etats-Unis (Levillain, 2017), qu'ils appellent la Société à Objet Social Etendu (SOSE). L'idée est simple puisqu'il s'agit d'ajouter une autre mission à celle du profit dans les statuts de la SOSE. Cette dualité des missions (Battilana et Dorado, 2010) serait de nature à protéger le dirigeant face à son CA lorsque ses décisions ne vont pas systématiquement et immédiatement dans le sens du renforcement de la rentabilité. L'Objet Social Etendu consisterait à rechercher un impact positif de l'activité de l'entreprise sur les salariés, les fournisseurs, les clients ou une communauté, voire sur l'environnement.

L'ambition est donc plus vaste qu'une réforme des règles de composition des CA, il s'agit en effet de modifier le rôle de l'entreprise pour mieux maîtriser son impact sur la société. On peut cependant se demander s'il ne faut pas des mesures concrètes telles que celle proposée par Valiorgue et Hollandts pour commencer à changer les pratiques et éviter que les démarches de RSE ne ressemblent, comme c'est encore parfois le cas, à des opérations de blanchiment éthique.

La notion de bien commun (Ostrom, 2010) inspire de multiples réflexions sur le sujet. C'est ainsi qu'on peut lire en préface d'un ouvrage récent sur ce thème (Bommier et Renouard, 2018), que l'enjeu aujourd'hui est de « *sortir d'une logique de privatisation du monde pour retrouver la vérité sur ce que signifie entreprendre en commun* ». Ostrom présente la gouvernance des biens communs comme une action collective et une forme d'auto-organisation qui doivent permettre d'ouvrir une troisième voie entre la privatisation et la gestion étatique. Bommier et Renouard présentent les conditions à remplir pour faire de l'entreprise un « commun » : quantification des dommages sociaux et environnementaux dans les comptes de résultat des entreprises d'une part et établissement d'une justice « globale » contre l'optimisation fiscale associée à un pillage des ressources d'autre part.

La place du profit est donc centrale dans cette réflexion : s'agit-il d'un moyen ou d'une fin ? Une distinction fondée sur l'ordre des priorités dans les trajectoires des entreprises (Gomez, 2014) oppose la gouvernance par la coopération à la gouvernance par l'incitation. Lorsqu'une entreprise privilégie la gouvernance par la coopération, elle subordonne le profit à son projet pour assurer sa continuité. Dans le cas d'une gouvernance par l'incitation le projet est subordonné au profit. Gomez propose une séquence logique commune aux entreprises : elles cherchent à assurer leur continuité dans le temps et elles y parviennent sous deux conditions relatives à leur projet et à leur profit. Le premier fournit une orientation stratégique et le second assure les moyens de reproduction des ressources nécessaires au projet. Il y a donc deux préoccupations, l'une stratégique et l'autre gestionnaire. Gomez donne une définition du « *gouvernement de l'entreprise* » : selon lui « *c'est l'ensemble des lois, des règles et des pratiques qui légitiment le pouvoir de ceux qui, d'une part contrôlent le développement d'un projet viable et, d'autre part, gèrent les parties prenantes de manière à dégager un profit suffisant : cette double responsabilité assure la continuité de l'entreprise* ».

## 4 Conclusion

Le capitalisme va-t-il commencer à s'éloigner du paradigme de la maximisation de la valeur pour l'actionnaire (Battilana et Pache, 2018) ? Un tel changement serait radical et il

impliquerait l'Etat, les partenaires sociaux et les investisseurs. De nombreuses questions restent en suspens sur la notion d'intérêt commun aux parties prenantes, sur la responsabilité des décisions stratégiques et sur la résolution des désaccords entre les parties prenantes. L'exemple des SCOP, avec une dualité intrinsèque des associés du fait de leur statut de salariés de l'entreprise pour la majorité d'entre eux, pourrait inspirer le législateur au moment de rédiger la future loi PACTE.

## Références

- Battilana J., Dorado S. (2010). Building sustainable hybrid organization: the case of commercial microfinance organizations. *Academy of Management Journal*, Vol. 53, n° 6, p. 1419-1440
- Battilana J., Pache A.-C. (2018). Les entreprises doivent s'engager dans une transformation profonde. *Le Monde*, 26 janvier 2018
- Bommier S., Renouard C. (2018). *L'entreprise comme commun, au-delà de la RSE*. Editions Charles Léopold Mayer
- Freeman E.R. (1984). *Strategic Management : a stakeholder approach*. Cambridge University Press
- Gomez P.-Y. (2014), « Coopération ou incitation : le rôle des ordres de gouvernance dans la trajectoire de l'entreprise », dans *L'entreprise, point aveugle du savoir*, Segrestin B., Roger B., Vernac S. (coord.), Paris, Editions Sciences Humaines
- Jensen M., Meckling W. (1976). Theory of the firm: managerial behavior, agency cost and ownership structure. *Journal of Financial Economics*, n° 3, p. 305-360
- Levillain K. (2017). *Les entreprises à mission, un modèle de gouvernance pour l'innovation*. FNEGE Vuibert
- Notat N., Senard J.-D. (2018). *L'entreprise, objet d'intérêt collectif*, Rapport du 9 mars 2018
- Ostrom E. (2010). *La gouvernance des biens communs : pour une nouvelle approche des ressources naturelles*. Editions De Boeck
- Segrestin B., Hatchuel A. (2012). *Refonder l'entreprise*. Seuil, La République des Idées
- Segrestin B., Levillain K., Vernac S., Hatchuel A. (2015). *La « Société à Objet Social Etendu », un nouveau statut pour l'entreprise*. Presse des Mines
- Valiorgues B., Hollandts X. (2018). Pour un comité des « parties prenantes spécifiques » au sein des conseils d'administration. *Le Monde*, 2 février 2018

---

## De la mise en œuvre d'un projet de conception, développement et déploiement d'un *serious game* centré sur la lutte contre le décrochage des jeunes étudiants

---

Hicham Abbad<sup>1</sup> Yvan Barel<sup>2</sup> Marc Bidan<sup>2</sup> Antoine Cholet<sup>3</sup>  
Isabelle Dherment<sup>4</sup> Nasser Mébarki<sup>5</sup>

[hicham.abbad@univ-nantes.fr](mailto:hicham.abbad@univ-nantes.fr) [yvan.barel@univ-nantes.fr](mailto:yvan.barel@univ-nantes.fr) [Marc.Bidan@univ-nantes.fr](mailto:Marc.Bidan@univ-nantes.fr)  
[antoine.cholet@umontpellier.fr](mailto:antoine.cholet@umontpellier.fr) [isabelle.dherment@univ-tln.fr](mailto:isabelle.dherment@univ-tln.fr) [nasser.mebarki@univ-nantes.fr](mailto:nasser.mebarki@univ-nantes.fr)

<sup>1</sup> IUT de Saint Nazaire (GLT), Université de Nantes  
Laboratoire d'économie et de management de Nantes Atlantique

<sup>2</sup> IUT de Nantes (GEA) & Polytech Nantes (HES), Université de Nantes  
Laboratoire d'économie et de management de Nantes Atlantique

<sup>3</sup> IUT de Montpellier (Informatique), Université de Montpellier  
Montpellier Recherche en Management

<sup>4</sup> IUT de Toulon (GEA), Université de Toulon  
Centre d'étude et de recherche en gestion d'Aix-Marseille

<sup>5</sup> IUT de Nantes (QLIO), Université de Nantes  
Laboratoire des sciences du numériques de Nantes UMR\_6004

**Thèmes** *Économie - Gestion - Droit - SHS - Lettres - Sciences du numérique - Communication*

**Résumé** *Cette communication a pour objet de restituer le début d'une expérience consistant à proposer une technologie de type « serious game » en libre-service destinée à identifier suffisamment en amont des étudiants qui seraient en situation de fragilisation notamment au début de leur parcours universitaire en parcours sélectif (iut, iae, polytech). Elle s'intéresse à la fois à la genèse et la pertinence de ce sujet autour du couplage décrochage /serious game et à la mise en place d'une méthodologie hybride destinée à porter cette expérimentation jusqu'au déploiement de l'outil à l'automne 2018. La démarche de conception et de développement du serious game se propose inclure les étudiants, les enseignants et les acteurs au sens large des divers réseaux ciblés par cette expérience de lutte contre le décrochage afin aussi d'en faciliter plus tard, en toute transparence et sur la base du volontariat, l'acceptation, l'usage et l'appropriation*

**Mots-Clés** *Serious game, décrochage, gestion de projet, expérimentation*

## 1 Introduction

Depuis la fin des années 2010, les serious games (SG) - nous n'emploierons pas ici le terme de jeux sérieux qui ne sont toujours pas imposés dans les travaux académiques et qui reste peu utilisé dans les publications professionnelles - se sont imposés comme des outils précieux au sein des organisations. Ils sont le fruit d'une rencontre entre des organisations en demande d'outils puissants d'aide à la décision et des joueurs en recherche de technologies ludiques plus adaptés à leurs pratiques [1]. Nous pouvons identifier deux grandes catégories d'utilisation : le training (il s'agit d'éduquer, de former ou d'informer des agents en les confrontant à un certain type de situation) et le searching (il s'agit d'identifier, de reconnaître ou de caractériser des agents en les confrontant à une certaines situations). Nous noterons que la montée en qualité, en volumétrie et en puissance des algorithmes, qui sous-tendent ces technologies, rend cette distinction de plus en plus ténue et au final ce qui est important dans l'expérience de jeu c'est bien la situation à laquelle est confrontée le joueur. Il s'agit ensuite de bien analyser et de bien contextualiser les données collectées liées aux réactions du joueur (temps de réaction, hésitations, réponses, retour en arrière) afin d'en tirer les indications recherchées.

L'université ne fait pas exception même si ces technologies de l'information (TI) par essence désincarnées sont encore peu présentes sauf via parfois les Mooc [2]. Elles suscitent de nombreux questionnements et de fréquents revirements. A ce propos, soulignons que les traitements algorithmiques de la plateforme APB (application post bac) ont récemment été remplacés par les traitements présentés comme plus humanisés de la nouvelle plateforme PS (parcours sup). La volumétrie des dossiers et des données à traiter saura se rappeler au bon souvenir des agents situés des deux côtés de l'écran !

Cette communication est ainsi clairement en rupture et se propose de réhabiliter une approche très techno centrée du traitement des dossiers au travers de jeux sérieux qui seraient conçus par et pour les étudiants avec l'objectif de pouvoir identifier ceux d'entre eux dont la situation montre des fragilités et les prémices d'un décrochage. La première partie portera sur l'intérêt du couplage SG/décrochage et la seconde sur la mise en œuvre de ce projet et sur son opérationnalisation en 2017-2018

## 2 Un projet SG présenté comme vecteurs de la lutte contre un certain type de décrochage

Le décrochage est un phénomène massif qui coûte très cher en termes financiers (investissement direct et indirect dans la formation d'un étudiant dont la « rentabilité »

faible) et en termes non financiers (via a) le coût d'opportunité d'une place à l'université qui aurait pu être rentabilisée par le recrutement d'un autre étudiant et b) les dommages et dégâts directs et indirects non négligeables d'un échec que le décroché devra assumer durant de nombreuses années). Ce décrochage doit être sérieusement abordé sans tabou ni langue de bois comme un échec collectif celui d'un système éducatif qui à la fois est capable de recruter avec soins (parcours sélectif) et d'exclure avec zèle (parcours non capitalisé) mais également celui d'un étudiant et de son entourage - insuffisamment informé

L'idée est donc à la fois de ne pas négliger la responsabilité du système éducatif lui-même (à lui d'identifier et d'aider) mais de ne pas non plus sous-estimer le rôle du premier concerné par son parcours l'étudiant lui-même (à lui de s'informer et de s'équiper)

### 2.1 Le couplage SG / décrochage

La logique est simple. Les SG sont mobilisés dans les organisations à la fois pour la formation et pour le recrutement. Ils ont pu ainsi montrer leur force et leur faiblesse et autres opportunités et menaces abondamment mises en lumière dans de nombreuses publications.

Du côté des forces, nous pouvons citer le coût abordable, la simplicité d'usage, la transportabilité, l'évolutivité, les opportunités de recourir à des simulations de situation qui seraient très coûteuses dans la réalité (crash-test, urgence, crises, stress) et l'accueil favorable du côté des générations milléniales notamment parmi les employés ou les futurs employés, les clients ou les prospects, la collecte de précieuses données potentiellement analysables, etc

Du côté des faiblesses, nous soulignons la dépendance à la technologie, la mise sous tutelle des RH par les DSI (ou vice versa selon les cultures organisationnelles), les coûts importants en terme d'infrastructures informatiques (si hébergement du jeu) ou d'infogérance (si externalisation du jeu), la réticence, l'insincérité voire la non-participation des générations plus anciennes, la difficulté d'analyser et de transposer des données en situation virtuelle dans le cas d'une situation réelle, etc.

Sous les réserves d'usage concernant le passage du virtuel au réel, ces technologies ludiques sont désormais des outils de gestion largement utilisés au sein des DRH et autres directions fonctionnelles [1]. L'université et notamment ses composantes proposant des parcours sélectifs (IUT, IAE, Polytech, etc.) ne pouvait pas ne pas

être séduite par ce type d'aide à la formation (c'est déjà largement le cas [2] ) et au recrutement (c'est moins fréquent) ce qui nous intéresse ici car un recrutement peut être assimilé à la recherche d'une personnalité affichée conforme à un poste proposé. Dans notre cas, le jeu sérieux recruterait (identifierait) des étudiants (néo-recrutés) dont la personnalité affichée (perçue comme sincère) serait conforme à une situation dite de décrochage. Il conviendrait ainsi de collecter des données sur son absentéisme Vs présentéisme, son enthousiasme Vs déception, ses notes et avis, sa capacité de projection après son diplôme Vs après son semestre, ses rapports à ses camarades de promotion Vs ses enseignants, son encadrement, son intégration Vs non intégration, son bien-être Vs son mal-être, son appétence, son agenda, son emploi du temps, ses activités extra-universitaires, son quotidien Vs vacances, etc. Il s'agit donc de confronter l'étudiant à de préférence volontaire et informé mais cela est discutable et discuté - à un jeu électronique qui lui propose des situations et qui note et évalue ses réponses ou ses éléments de réponse tout au long d'une expérience de jeu (découverte, sport, escape game, enquête, interview, quizz, etc.)

Il est ensuite procédé à l'analyse et à la contextualisation des résultats pour évaluer selon la qualité, l'actualité et la pertinence des algorithmes sous-jacents qui sont mobilisés et selon la sincérité des données collectées à proposer une catégorisation de l'étudiant selon son type de décrochage en comparant avec les données des expériences de décrochage déjà repérées et référencées en amont. Il s'agit de catégorisations comme isolés, déprimés, déçus, non motivés, décrochés, etc. qui renvoient à deux grandes familles : les décrochages endogènes (le parcours ne satisfait pas l'étudiant) sur lesquelles il est possible d'agir et le décrochage exogène (l'étudiant ne peut pas suivre le parcours pour des raisons externes) sur lesquelles il est plus difficile d'agir

La technologie SG n'est utilisée que pour repérer et identifier à informer éventuellement les responsables - et non pas pour soigner et/ou conseiller le jeune étudiant. Ce qui n'est pas de la compétence du SG bien évidemment.

## 2.2 Le pilotage du projet sur le projet

L'idée centrale fut donc d'amplifier les étudiants afin 1) de collecter des données de premières mains sur ce qu'est et ce que n'est pas un décrochage et 2) de proposer un SG qui soit vraiment compatible avec ce que vivent et ressentent les étudiants que nous avons en face de nous.

Nous nous sommes donc insérés en 2016 dans le projet

Avostti porté par le réseau Polytech avec ses partenaires IUT et financé par l'ANR. Notre premier projet (nommé swotech) était uniquement centré sur la conception d'un SG et sur sa fabrication au sein du réseau polytech. Il fut retoqué mais avec proposition forte du jury de l'intégrer au sein d'un plus vaste projet qui portait lui aussi sur le décrochage mais plus en aval c'est à dire centré sur l'accompagnement du décrocheur et donc sur sa réorientation éventuelle. Nous nous sommes ainsi insérés dans ce vaste projet porté par la composante Polytech Lyon et nous en sommes devenus l'avant-projet dans le cadre d'un sous-projet. Ce vaste projet (numéroté 21) fut retenu par l'ANR. Notre travail consiste à avec deux entreprises nantaises à concevoir, développer et déployer pour fin 2018 un SG qui sera accessible en libre-service et sur la base du volontariat sur la plateforme lilloise du réseau Polytech au début de l'année 2019.

Nous avons mobilisé certaines composantes (Montpellier, Toulon, Clermont-Ferrand, Nantes) et de nombreux collègues afin d'arriver à terme. Nous avons commencé l'expérimentation in situ cet hiver dans le cadre des « modules d'ouvertures » dispensés par des professionnels pour des étudiants motivés et informés. Ils ont commencé à écrire et à filmer (son et vidéo). Nous avons aussi mobilisé des étudiants de l'IUT de Nantes et de l'IAE de Nantes dans l'écriture des mini-scénarii (une rencontre avec un professeur, une situation de stress avant un examen, une entrevue après une absence) destinés à être discutés, filmés et traités puis enfin insérés dans le jeu afin de solliciter les réponses du joueur in vivo

## 3 Conclusions

Le projet est *en construction* et la version bêta du SG devrait être présentée à Lyon fin 2018. Les résultats montrent une belle et une originale implication des étudiants volontaires (car concernés ?) mais une moins forte participation des étudiants non volontaires (non concernés ?). La question du virtuel Vs réel reste entière et devra être intégrée avec soin dans les analyses ex post.

## 4 Remerciements

Les auteurs expriment leur gratitude aux professionnels de *Succubus Interactive* et de *Silicium Factory* à Nantes.

## Références

[1] Alla-Cherif O, Bidan M, Makhlof M, *Using serious games to manage knowledge and competencies: seven-step development process* Information Systems Frontiers, December 2016, Volume 18, [Issue 6](#), pp 115361163

[2] Rampnou O, Dlaoui D et Alvares J., *Apprendre avec les serious games*, 2016, Editions réseau Canopé, pp 1-128

---

# Comprendre l'échec des politiques publiques d'institutionnalisation-sédentarisation des marchands ambulants : le cas du Maroc

---

Camal Gallouj<sup>1</sup>

[Camal.gallouj@univ-lille1.fr](mailto:Camal.gallouj@univ-lille1.fr)

Zineb El Kouhen<sup>2</sup>

[zineb.ek@hec.ac.ma](mailto:zineb.ek@hec.ac.ma)

<sup>1</sup> IUT Saint Denis, Université Paris 13  
CEPN-CNRS, UMR 7234 et CReSC

<sup>2</sup> HEC Rabat  
Centre de Recherche sur les Services et le Commerce, CReSC

**Thèmes** *Droit, économie, gestion*

Contactez les auteurs pour plus d'information.

**Mots-Clés** *Commerce informel, marchands ambulants, réglementation, sédentarisation*

# **Les universités face au nouvel environnement concurrentiel de l'enseignement supérieur**

---

**Aziz Mouline**  
**Professeur des Universités**  
aziz.mouline@univ-rennes1.fr

IUT de Rennes, Université de Rennes 1  
Centre de Recherche en Economie et Management, UMR CNRS 6211

**Thèmes** – *Économie - Gestion*

**Résumé** – *Les universités constituent un champ d'analyse et de recherche privilégié avec des regards croisés de nombreuses disciplines comme l'économie, la gestion, la sociologie, le management public et la science politique. Il faut dire que le contexte s'y prête depuis les années 2000 sous la pression de facteurs tant exogènes qu'endogènes au système universitaire. Dans tous les cas de figure, l'objectif recherché par les pouvoirs publics, le message à diffuser est le même : la mise en concurrence des établissements universitaires.*

**Mots-Clés** – *Universités ; Nouveau Management Public ; ambidextrie ; compétition internationale.*

Les ouvrages n'ont pas manqué en 2017 (notamment Musselin [1], Fauconnier [2], Gay, Mahassine, Curbatov [3]) pour analyser les transformations subies (voulues ?) par les universités françaises dans le cadre de ce qu'il est convenu d'appeler le « Nouveau Management Public » (NMP).

L'environnement et le fonctionnement des universités se retrouvent bouleversés : contraintes gouvernementales financières, internationalisation, compétition, adaptation aux besoins économiques et sociaux, transformation des modes de financement, etc. Pour les universités, l'enjeu ne se situe plus au niveau national ou européen, mais bien au niveau mondial avec les publications des classements internationaux depuis 2003. Les mots d'ordre sont désormais connus : visibilité internationale, taille critique, regroupements sur un site d'universités et des écoles, compétition internationale, nouvelle gouvernance.

Ainsi, les universités doivent gérer des situations qui peuvent paraître contradictoires : service public versus rentabilité ; qualité des missions versus moyens limités ; professionnalisation des enseignements versus reconnaissance pédagogique et scientifique. Elles doivent se mettre à l'heure du Nouveau Management Public en devenant de plus en plus ambidextres.

## **1. Les universités à l'heure du Nouveau Management Public**

Le Nouveau Management Public a touché plusieurs secteurs dans plusieurs pays : la justice, la santé, le secteur social, l'éducation et, bien évidemment, l'enseignement supérieur. Selon Bezez et Demazière [4], le NMP s'appuie sur cinq principes d'organisation déclinés en différentes mesures :

- la séparation entre les fonctions de stratégie, de pilotage et de contrôle et les fonctions opérationnelles de mise en œuvre et d'exécution ;
- la fragmentation des bureaucraties verticales par création d'unités administratives autonomes (des agences), par décentralisation ou par empowerment de groupes d'utilisateurs ;
- le recours systématique aux mécanismes de marché (concurrence entre acteurs publics et avec le secteur privé, individualisation des incitations, externalisation de l'offre) ;
- la transformation de la structure hiérarchique de l'administration en renforçant les responsabilités et l'autonomie des échelons en charge de la mise en œuvre de l'action de l'État ;
- la mise en place d'une gestion par les résultats fondée sur la réalisation d'objectifs, la mesure et l'évaluation des performances et de nouvelles formes de contrôle

dans le cadre de programmes de contractualisation

Dans ce contexte, les universités sont attendues au tournant et doivent s'adapter au nouvel environnement concurrentiel et revoir leur mode de gestion et de gouvernance.

Les universités sont désormais évaluées par des agences<sup>1</sup>, leur financement est indexé sur des performances, leurs ressources propres, face à la contrainte et au désengagement financier des États, doivent être significativement augmentées par la formation continue, la création de fondations, des réponses à des appels d'offres émanant notamment des Programmes d'Investissement d'Avenir (PIA). Elles doivent aussi réduire les coûts et adopter une analyse financière pluriannuelle et une simulation financière prospective (Serve, Le Glass, [5]).

Plus autonomes vis-à-vis des pouvoirs publics, les universités doivent développer la culture managériale et le capitalisme académique. Clark [6] avait déjà analysé l'évolution entrepreneuriale des universités qui se rapprochent du monde socio-économique et innovent en matière de transfert de technologie, de réseaux d'innovation, d'essaimage ou de financement. La même année, les travaux de Slaughter et Rhoades [7] ont insisté sur le développement d'un « capitalisme académique » avec l'importance des créations d'entreprises, de la valorisation et des brevets dans le cadre d'une économie du savoir. Donc, des universités innovantes et entrepreneuriales doivent émerger pour faire face au nouvel environnement concurrentiel de l'enseignement supérieur.

## **2. Les « nouvelles » missions des universités**

Aux missions de prédilection des universités, la production des connaissances (recherche) et leur transmission (formation), doivent s'ajouter de nouvelles missions comme la commercialisation de la recherche, l'insertion professionnelle, le développement des ressources propres. Les universités deviennent ainsi des organisations ambidextres c'est-à-dire des organisations qui veulent jouer sur deux ou plusieurs tableaux. L'université doit ainsi trouver un juste équilibre entre les activités nouvelles et les activités traditionnelles dans un contexte caractérisé par la contrainte budgétaire et la compétition internationale.

La toute récente initiative des pouvoirs publics français pour la création de sociétés universitaires de recherche (SUR) illustre parfaitement cette ambidextrie. Dans le cadre du troisième Programme d'Investissement d'Avenir (PIA 3), l'action « sociétés universitaires de recherche »,

---

<sup>1</sup> AERES (Agence d'Évaluation de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur) créée en France en 2006, transformée en 2013 en HCERES (Haut Conseil de l'Évaluation de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur).

dotée de 400 millions d'euros, vise à renforcer l'autonomie des universités en soutenant les établissements qui souhaitent expérimenter de nouveaux modes de gestion leur permettant de valoriser l'ensemble de leurs compétences et de leurs actifs. L'objectif recherché est de mettre en place un modèle économique permettant d'augmenter les ressources propres des universités : la gestion et la valorisation du patrimoine universitaire, le développement de la formation continue, qui constitue un important enjeu socio-économique, l'exploitation de plateformes technologiques partagées, la valorisation de collections, la vente de produits ou de services issus de la recherche (logiciels, outils d'aide à la décision, analyses de bases de données, etc.), le renforcement des liens avec le monde socio-économique, etc.

### 3. En guise de conclusion

L'environnement des universités a profondément changé avec des regroupements qui ont pour nom d'abord les PRES (Pôle de Recherche et d'Enseignement Supérieur) en 2006 puis les COMUE (Communauté d'Universités et d'Établissements) à partir de 2013 ; des fusions entre universités voulues ou imposées ; des rapprochements entre universités et grandes écoles ; la recherche d'un changement d'échelle et la concentration des moyens sur les meilleurs pour affronter la compétition internationale avec obligation des résultats.

Des questions se posent toutefois quand on s'intéresse aux fonctionnements des universités à l'aune du Nouveau Management Public.

Le regroupement d'universités n'est pas forcément synonyme de compétition et la corrélation entre la taille et l'excellence des établissements est loin d'être démontrée et mériterait des investigations approfondies tant le débat est vif en la matière. Les établissements les plus réputés dans le monde sont d'une taille souvent inférieure à la plupart des regroupements d'universités effectués en France, tandis que les établissements les plus gros au niveau mondial sont rarement présents dans le haut des classements.

Soutenir la constitution de grandes universités de recherche de rang mondial ne risque-t-il pas de se traduire par un système d'enseignement supérieur à deux vitesses ou de ce que certains auteurs appellent le « dualisme universitaire » (Charlier, Moens, [8]) ? Ce système de concentration de la recherche n'existe-t-il pas déjà en France dans la mesure où 15 universités seulement reçoivent plus de 50% des ressources, qu'une dizaine d'universités fournit 60% des docteurs recrutés

comme maîtres de conférences et qu'il existe des universités qui ont bien plus de 80% d'étudiants en Licence et qui assurent prioritairement un enseignement de proximité ? Faut-il envisager en France une « nouvelle » configuration de l'enseignement supérieur avec d'un côté des filières professionnalisantes et de l'autre des filières d'excellence ? Quel sera le rôle des universités qui ne font pas partie de regroupements et que l'on appelle les « Petites et moyennes universités »<sup>2</sup>.

### Références

[1] Christine Musselin, *La grande course des universités*, SciencesPo Les Presses, 2017.

[2] Patrick Fauconnier, *Universités : innover ou sombrer*, Fauves Editions, 2017.

[3] Michel Gay, Mohamed Mahassine, Oleg Curbatov, *Regards dynamiques et critiques de la gouvernance des universités*, ONU, 2017.

[4] Philippe Bezes, Didier Demazière, « Introduction de « New Public Management et professions dans l'Etat : au-delà des oppositions, quelles recompositions ? », *Sociologie du travail*, 53 (3), p. 293-305, 2015.

[5] Stéphanie Serve, Louis-François Le Glass, « Les universités françaises depuis le passage à l'autonomie : vers de nouveaux outils d'analyse financière ? », *Revue d'économie financière*, 2017/2, n° 16, p. 265-296.

[6] Burton R Clark, *Sustaining Change in Universities: Continuities in Case studies and concepts*, Open University, 2014.

[7] Sheila Slaughter, Gary Rhoades, *Academic Capitalism and the New Economy: market, State and Higher Education*, The Johns Hopkins University Press, 2004.

[8] Jean-Emile Charlier, Frédéric Moens, « Vers une concentration de la recherche ? Construction européenne et gestion nationale de la recherche universitaire », *Revue française d'administration publique*, Vol. 4, n° (112), p. 687-696, 2004.

<sup>2</sup> Dans son rapport d'octobre 2016, « Petites et moyennes universités », l'IGAENR (Inspection Générale de l'Administration de l'Éducation Nationale et de la Recherche) note (p. 1) que « Les termes de petites et moyennes universités sont souvent utilisés par la communauté universitaire pour caractériser les établissements ne faisant pas partie du groupe des universités dites intensives en recherche et des universités issues des fusions d'établissements réalisées depuis 2008 ».

---

## Comment communiquer afin d'inciter les personnes à se faire vacciner ? L'importance du contrôle perçu

---

Laurent Maubisson<sup>1</sup>

Véronique Plichon<sup>2</sup>

Hélène Saurel<sup>3</sup>

laurent.maubisson@univ-tours.fr veronique.plichon@univ-tours.fr helene.saurel@univ-tours.fr

<sup>1</sup>IAE, Université de Tours  
Vallorem, EA 6296

<sup>2,3</sup> IUT, Université de Tours  
Vallorem, EA 6296

**Thèmes** – *Gestion - Communication*

**Résumé** – *L'objectif de cette recherche est de comprendre quels messages doivent être mis en avant dans une communication de santé afin d'améliorer l'attitude à l'égard de la vaccination et l'intention de se faire vacciner. Faut-il mettre en avant le gain apporté par la vaccination ou les risques (la perte) si on ne se fait pas vacciner ? Faut-il rendre obligatoire la vaccination ? En d'autres termes, quelles motivations faut-il développer : se faire vacciner pour sa santé, se faire vacciner pour protéger les autres ou se faire vacciner pour être en conformité avec la loi ? Pour répondre à ces questions, notre recherche analyse l'effet du contrôle perçu et des émotions sur l'attitude et l'intention de vaccination selon différentes communications proposées.*

Contactez les auteurs pour plus d'information.

**Mots-Clés** – *Communication de santé, émotions, contrôle perçu, marketing.*

---

# En quoi les portails fournisseurs améliorent-ils la visibilité et la collaboration dans la chaîne logistique ?

---

Fabienne Garcia<sup>1</sup>

fabienne.garcia@iut-tarbes.fr

<sup>1</sup> IUT Tarbes - Université Paul Sabatier Toulouse

ENIT - INP Toulouse – Laboratoire Génie de Production équipe Systèmes Décisionnels et Cognitifs

**Thèmes** – *Gestion*

**Résumé** – *Les portails fournisseurs sont des systèmes d'information inter-organisationnels de plus en plus utilisés qui permettent un partage d'informations et une collaboration entre donneurs d'ordres et fournisseurs dans la chaîne logistique. Ces systèmes complexes se révèlent cependant difficiles à mettre en place du fait de la multiplicité des partenaires impliqués et des problèmes d'intégration des systèmes d'information internes aux portails. Cet article fondé sur deux études de cas de portail fournisseurs dans le domaine des hautes technologies, permet de nuancer les conséquences de ces portails en terme de visibilité et de collaboration dans la chaîne logistique proposées par des études précédentes: une distinction doit être réalisée entre donneurs d'ordres et fournisseurs, la visibilité et l'intégration étant plus abouties pour les donneurs d'ordre qui mettent en place ces portails que pour leurs fournisseurs. Par ailleurs, la collaboration apparaît renforcée avec l'utilisation des portails mais une collaboration informelle reste présente en parallèle des portails.*

**Mots-Clés** – *Portail fournisseurs, systèmes d'information, supply chain, visibilité, collaboration.*

## 1 Introduction

Dans une économie mondialisée, le développement des Supply Chain (SC) où l'entreprise n'est plus une organisation isolée mais fait partie d'un réseau introduit de nouveaux enjeux pour les systèmes d'information (SI). Ce que les ERP (Enterprise Resource Planning) ont permis à l'échelle de l'entreprise (intégration et synchronisation des flux physiques et financiers dans le SI de l'organisation), nécessite d'être élargi à la notion *d'entreprise étendue* et fait appel à des systèmes d'information inter-organisationnels (SIO) reliant clients aux fournisseurs et prestataires. L'objet de ces SIO devient ainsi l'orchestration de la SC [1], afin d'assurer une meilleure visibilité de l'information et une meilleure collaboration au sein de cette SC.

Les portails fournisseurs qui permettent à un ou plusieurs donneurs d'ordre de transmettre et recevoir des informations d'achat, d'approvisionnement, d'ordre financier, ou de qualité à et de leurs fournisseurs représentent un des types de SIO les plus aboutis en terme de collaboration. Cependant, l'utilisation de tels portails se révèle complexe car elle fédère de nombreux acteurs ayant chacun ses propres pratiques et SI [2]. Cette présentation a donc pour objet d'étudier en quoi les portails fournisseurs améliorent la visibilité dans la SC et comment ils font évoluer la collaboration entre clients et fournisseurs. Pour répondre à cette problématique, nous avons choisi d'utiliser comme méthode deux études de cas qui permettent une analyse approfondie de phénomènes complexes [3] et la prise en compte des clients aussi bien que des fournisseurs.

## 2 Visibilité de la SC et portails fournisseurs

### 2.1 Les SIO au service d'une meilleure visibilité de la SC

La notion de visibilité dans la SC est parfois mal définie mais systématiquement associée au résultat d'un partage d'information entre les différents acteurs de la SC. Pour atteindre une bonne visibilité, ce partage d'information doit être : opportun, de qualité, d'un format compréhensible, précis et digne de confiance [4]. Il n'est pas systématiquement dépendant de la technologie utilisée et peut se caractériser par des relations informelles. Par ailleurs, une bonne collaboration et des relations entretenues entre les différents acteurs améliorent les conditions de visibilité [5].

Le développement d'une meilleure visibilité de la SC engendre une amélioration de la performance de la SC, en diminuant les risques (en particulier celui généré par l'effet Bullwhip), en abaissant les coûts de stockage et les délais et finalement en augmentant les profits [6]. C'est

pourquoi cette notion de visibilité de la SC a été reprise par de nombreux consultants en organisation et SI [7], ceux-ci proposant des solutions de mise en place de technologies de l'information de la SC (ERP, MES, EDI, portails).

Cependant une bonne visibilité ne peut être obtenue que si ces systèmes sont intégrés en interne à l'entreprise et en externe [8, 9] et utilisés de façon appropriée. Or ces systèmes se révèlent souvent complexes à mettre en œuvre et ce, d'autant plus qu'ils concernent des processus collaboratifs comme les portails fournisseurs plutôt que de simples échanges de données comme les EDI beaucoup plus étudiés jusqu'à présent.

### 2.2 Les portails d'approvisionnement fournisseurs : des SIO collaboratifs

Les portails fournisseurs sont des SIO présents en amont de la SC afin d'établir un échange d'informations entre un donneur d'ordres et ses fournisseurs [10]. Ils sont le plus souvent imposés par les donneurs d'ordres, fonctionnent généralement en mode Saas (Software as a Service) et sont sécurisés avec un accès réservé aux fournisseurs habilités. Pour leur partie approvisionnement, cet échange porte sur les prévisions d'approvisionnement, les commandes fermes, les avis de livraison, les factures et règlements et éventuellement les indicateurs qualité (de type OTD). La collaboration au sein du portail réside principalement dans l'accord sur des dates et quantités de livraison planifiées et fermes afin de réduire les délais et de prévenir le plus rapidement possible le donneur d'ordres des retards de livraison.

Les portails fournisseurs permettent aussi la création d'un esprit de communauté au sein des fournisseurs et une amélioration de la communication avec ceux-ci [11].

Cependant, ces portails nécessitent une intégration aux SI propres aux donneurs d'ordres et aux fournisseurs. C'est la complexité de cette intégration qui peut avoir un impact sur la mise en œuvre du portail, sa bonne utilisation par les fournisseurs et par conséquent sur l'amélioration de la visibilité dans la SC.

## 3 Description et analyse des cas

### 3.1 Le cas du portail fournisseur d'Electra

Electra (nom fictif), groupe industriel spécialisé en biens d'équipement de haute technologie, équipé de l'ERP SAP a lancé le projet portail approvisionnement fournisseur en 2010 et a déployé ce portail sur 11 sites en y intégrant petit à petit 450 fournisseurs clés entre 2011 et 2014. Nous avons rencontré le chef de projet ainsi que des utilisateurs clés dans les sites et avons interrogé par questionnaire 134 fournisseurs utilisateurs du portail en 2014. Ce portail est spécifique à Electra et oblige donc les

fournisseurs à gérer en parallèle en moyenne 2,5 portails fournisseurs différents (figure 1).

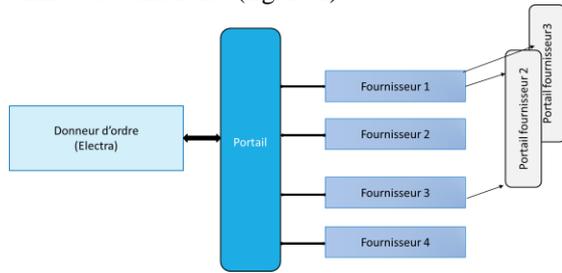


Figure 1 – portail Electra

L'étude de cas montre que l'intégration automatique entre l'ERP d'Electra et le portail se fait principalement avec extraction de fichiers et ressaisie manuelle chez les fournisseurs. Plusieurs mois ont été nécessaires afin de former en interne et en externe les utilisateurs sur le nouveau processus de collaboration du portail concernant les dates et quantités prévisionnelles de commande et de livraison. La standardisation des processus en interne nécessite l'alignement de tous les sites d'Electra sur le processus standard préconisé dans le portail. Les difficultés de compréhension chez certains fournisseurs du vocabulaire spécifique au portail sont soulignées dans l'enquête. Par ailleurs, celle-ci fait remonter des dérives fréquentes du processus standard avec un échange de fichiers Excel en parallèle du portail, ou un échange informel téléphonique dès qu'un imprévu se présente.

### 3.2 Le cas du portail Airsupply de l'industrie aérospatiale européenne

Airsupply est un portail fournisseur qui a été commandité par un consortium, Boostaerospace, regroupant certains grands groupes de l'industrie aérospatiale européenne (Airbus, Thales, Dassault, Safran). Lancé en 2012, c'est un portail standard commun à plusieurs donneurs d'ordres (22 à ce jour) et à leurs fournisseurs (Fig. 2). Nous avons réalisé des entretiens qualitatifs avec certains donneurs d'ordre et fournisseurs utilisant le portail.

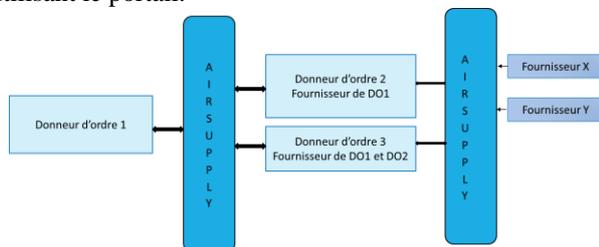


Figure 2 – portail Airsupply

L'étude souligne que le fait d'utiliser le même portail facilite l'apprentissage pour les fournisseurs et leur permet de gérer les informations venant de plusieurs clients dans le même environnement de travail. Les mises à jour des données de commande se font en temps réel

dans le portail et améliorent donc la visibilité sur ces données. En revanche, le taux de d'intégration automatique des données du portail dans le SI du fournisseur reste faible (10% des fournisseurs) car la confiance dans la qualité des données (en particuliers celles issues des prévisions) n'est pas suffisante et les processus divergent selon les clients. Pour les donneurs d'ordres, ce portail permet d'homogénéiser les pratiques d'approvisionnement en interne et en externe, et se substitue souvent à des pratiques informelles de type fax, fichier Excel ou téléphone. Il nécessite cependant un SI interne mature et son adoption a pu être retardée dans l'attente de la mise en place d'un nouvel ERP.

## 4 Conclusions

Ces études de cas permettent de démontrer le rôle des portails fournisseurs dans l'amélioration de la visibilité de la SC : les informations sont dans un format standardisé, plus précises et mises à jour automatiquement. Toutefois, la qualité et donc la confiance dans les prévisions fournies par le donneur d'ordres n'est pas toujours suffisante. L'intégration automatique dans le SI du fournisseur se révèle donc rare et le retour à une collaboration informelle peut advenir, en particulier si un événement imprévu ou un cas particulier se présente. Le portail sert alors de support et base de données commune à la discussion informelle qui permet de résoudre le problème.

Par ailleurs, la compréhension et la formation à ces processus relativement complexes nécessite, pour que cela se révèle fructueux, une collaboration sur la durée entre donneur d'ordres et fournisseurs

Cette recherche comporte des limites dans la généralisation des résultats en regard de la méthode de l'étude cas et des secteurs étudiés.

## Références

- [1] A. Bharadwaj, O. A. El Sawy, Paul A. Pavlou, et N. Venkatraman, *Digital business strategy: toward a next generation of insights*, MIS Quarterly, 2013 37 – 2, p. 471–482.
- [2] C. A. de Mattos et F. J. B. Laurindo, *Information technology adoption and assimilation: Focus on the suppliers portal*, Computers in Industry, Fev. 2017 85, p. 48–57.
- [3] Robert K. Yin, *Case Study Research. Design and Methods*, Thousand Oaks (CA), Sage Publications 5ème ed., 2014.
- [4] M. Barratt et A. Oke, *Antecedents of supply chain visibility in retail supply chain: A resource based theory perspective*. Journal of operations management, 2007 25 – 6, p. 1217–1233.
- [5] S. Johansson et J. Melin, *Supply chain visibility: The value of information - a benchmark study of the Swedish industry*, Stockholm: KTH 2008.
- [6] S. Véronneau, F. Pasin, et J. Roy, *L'information dans la chaîne logistique*, Revue française de gestion, sept 2008 34–186, p. 149-161.

[7] L. Cecere, *Supply chain visibility in Business Networks - current state of Supply Chain visibility*. Supply chain insights LLC, 2014.

[8] K. K. Kim, S. Y. Ryoo, et M. D. Jung, *Inter-organizational information systems visibility in buyer-supplier relationships: The case of telecommunication equipment component manufacturing industry*, Omega, déc. 2011 39–6, p. 667-676.

[9] F. De Corbière, F. Rowe, et F. Wolff, *De l'intégration interne du système d'information à l'intégration du système d'information de la chaîne logistique*, Systèmes d'information & Management, 2012 17–1, p. 81–111.

[10] S. Boyson, T. Corsi, A. Verbraeck, *The e-supply chain portal: a core business model*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2003 39–2, p. 175–192.

[11] E. Baglieri et R. Secchi, *Strategic Goals and Design Drivers of the Supplier Portal: Lessons from the Ferrari Case*, Production Planning & Control, 2007 18–7, p. 538–547.

---

## L'intérêt des outils d'Aide à la Vente pour un vendeur

---

**Christian Dianoux**<sup>1</sup>  
christian.dianoux@univ-lorraine.fr

**Jean-Pierre Mouline**<sup>2</sup>  
jean-pierre.mouline@univ-lorraine.fr

**Justine Colas**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> IUT de Metz, Université de Lorraine, CEREFIGE, EA 3942

<sup>2</sup> IUT de Nancy-Charlemagne, Université de Lorraine, CEREFIGE, EA 3942

<sup>3</sup> Responsable de secteur Leroy Merlin - Metz Technopôle

**Thème** – *Gestion*

**Résumé** – Les outils qualifiés de Nouvelles Aides à la Vente et à l'Achat permettent aux vendeurs d'offrir un service plus efficace aux consommateurs. Parmi ceux-ci, la tablette tend aujourd'hui à se développer dans la grande distribution spécialisée car, face à une offre de plus en plus technique et changeante, elle permet aux vendeurs de délivrer aux clients une information précise et instantanée directement dans le rayon grâce notamment à l'accès aux fiches techniques des produits et à l'état des stocks. On sait par contre peu de choses concernant l'impact qu'un tel service peut avoir sur le comportement du client. Sur la base d'observations menées au sein d'une grande surface de bricolage, cette recherche montre que ce service a un impact plus particulier sur le montant moyen des achats et la durée du contact client sans influencer le nombre de produits achetés.

**Mots-Clés** – distribution, comportement du consommateur, vente.

## 1 Introduction

Nombreuses sont les enseignes à développer des outils pour faciliter les relations vendeurs-clients. Parmi ceux-ci figurent en pole position les applications sur smartphone ou tablette connectée. Chez Sephora, la tablette permet d'accéder aux profils des clientes, chez Mercedes de déplacer le bureau près de la voiture (Lavabre, 2012), chez Celio, Nature et Découverte ou encore Eram de conseiller le client, de consulter les stocks en temps réel, voire de prendre les commandes. Les consommateurs semblent plébisciter ce type d'outil selon une récente étude de Digitas LBI qui montre que trois consommateurs sur quatre estiment que les vendeurs en magasin seraient plus efficaces s'ils étaient équipés de tablettes (e.marketing.fr, 2016).

S'il semble évident qu'un tel outil est en mesure de faciliter la relation client-vendeur et d'aider ces derniers à délivrer une information précise et instantanée aux clients directement dans le rayon, l'influence réelle d'un tel outil sur les ventes reste toutefois à démontrer.

## 2 Cadre théorique

Les NAVA (Nouvelles Aides à la Vente et à l'Achat) regroupent des techniques ou supports mis à la disposition du vendeur (NAV) et/ou du client (NAA) dans le but de faciliter le choix et d'enrichir l'expérience client que ce soit notamment en lui apportant de l'information ou en lui faisant gagner du temps (Beck et Crié, 2015).

Si certaines de ces aides nous paraissent aujourd'hui tellement évidentes qu'il semble inconcevable de lancer un point de vente sans y avoir réfléchi, d'autres plus récentes, comme la tablette connectée ou le smartphone (et surtout les applications dont elles sont dotées) ne font pas encore partie des outils standards dont le vendeur doit être impérativement équipé. Leurs atouts sont cependant fortement mis en avant par les producteurs de ces appareils comme Dell qui mentionne par exemple sur son site ([www.dell.com](http://www.dell.com)): «...la tablette tactile est un atout majeur de la relation client dans un espace de vente... c'est un assistant précieux pour les vendeurs d'aujourd'hui». Ces aides offertes par la tablette ou le smartphone ne sont bien sûr pas nouvelles, l'ordinateur offrant depuis longtemps les mêmes fonctionnalités. La nouveauté et l'intérêt de ces outils réside surtout dans leur mobilité qui permet d'accéder aux mêmes fonctionnalités que l'ordinateur directement dans le rayon lors des contacts clients.

Cette mobilité offerte par la tablette est susceptible d'agir sur la relation client-vendeur de trois façons : en modifiant la perception que peut avoir le consommateur du magasin (obtenir une information quand il en a besoin), en facilitant la tâche du vendeur (pouvoir sans véritable effort supplémentaire renseigner immédiatement le consommateur), et par voie de conséquence agir sur la perception de l'atmosphère du point de vente (Lemoine, 2003). Cette perception étant supposée agir sur le temps de présence à l'intérieur du magasin, le nombre d'articles achetés et le montant des achats effectués (Lemoine, 2002), on peut dès lors envisager la tablette comme un

atout fondamental d'aide à la vente. Aucune étude n'ayant toutefois encore été menée sur ce sujet, il s'avère utile de vérifier plus précisément l'impact d'un tel outil sur les ventes et le temps passé par le vendeur avec le client, ou en d'autres termes de vérifier de la rentabilité d'un tel outil. En effet, si de nombreuses recherches montrent que la plupart des efforts de marketing relationnel génèrent des relations plus fortes avec le client et augmentent la performance du vendeur, d'autres trouvent une influence négative dans certaines situations (Palmatier et al., 2006) et justifient pleinement notre interrogation pour le présent outil. Cela nous amène à poser les deux questions de recherche suivantes :

QR1 : un vendeur équipé d'une tablette obtient-il de meilleures ventes (en montant) qu'un vendeur non équipé ?

QR2 : un vendeur équipé d'une tablette passe-t-il plus de temps avec un client qu'un vendeur non équipé ?

## 3 Méthode

Après avoir sélectionné 4 vendeurs dans un point de vente d'une grande enseigne de bricolage, nous les avons mis à contribution durant une semaine (du lundi au vendredi). Ils devaient utiliser chaque fois qu'ils étaient sollicités par un client une fois sur deux la tablette et une fois sur deux aucun outil. Les quatre vendeurs avaient un profil assez homogène avec un âge variant entre 29 et 36 ans et une expérience professionnelle d'une dizaine d'années. Ils disposaient d'une formation de niveau Bac+2 (BTS ou DUT). Deux étaient plutôt sceptiques quant à l'intérêt de la tablette et deux étaient convaincus. Ils ont d'autre part été interviewés pour recueillir leurs perceptions après le test.

Après chaque contact client, qu'il débouche ou non sur une vente, le vendeur devait saisir sur son ordinateur un certain nombre d'informations sur les conditions matérielles de la vente et la relation avec le client correspondant aux principales dimensions d'un vendeur orienté client (Saxe et Barton, 1982).

L'outil utilisé par les vendeurs, dénommé Colibri (entre le smartphone et la tablette), offre de nombreuses fonctions comme par exemple la consultation des fiches produits, l'accès au catalogue ou l'état des stocks.

Durant les 5 jours de l'expérience, les 4 vendeurs ont enregistré chacun 150 contacts dont 75 avec l'appareil et 75 sans l'appareil, représentant un total de 600 observations. La comparaison globale des résultats entre les quatre vendeurs n'a montré aucune différence significative (p.c. toujours supérieure à 0,40). Le profil des 600 contacts-clients était le suivant : 34,3% des clients savaient ce qu'ils voulaient selon les vendeurs, 82,2% étaient des particuliers, et la majorité était soit des hommes (38,8%) soit des couples (25%), les femmes représentaient 19,2%, et la catégorie « autres » 16,8%.

#### 4 Résultats

Les résultats présentés dans le tableau 1 montrent que si le montant des achats est significativement supérieur dans le cas de l'utilisation du Colibri (529 euros vs. 409 euros), le nombre de produits vendus avec ou sans le Colibri ne diffère pas de façon significative, que l'outil soit ou non utilisé les clients repartent avec un nombre de produits à peu près équivalent (2,61 avec le Colibri et 2,49 sans ; p.c.=0,506).

Tableau 1 : Les effets de l'outil sur la vente

Variable	Type de vente	N	Moy.	t	p.c.
Résultats de la Vente					
Durée du contact	Avec Colibri	299	7,41	4,67	0,000
	Sans Colibri	300	8,80		
Montant des achats	Avec Colibri	299	529,95	2,65	0,008
	Sans Colibri	300	409,73		
Nb de produits vendus	Avec Colibri	299	2,61	0,665	0,506
	Sans Colibri	300	2,49		

Test de comparaison de moyennes

En ce qui concerne la durée du contact, force est de constater que les vendeurs passent significativement moins de temps avec le client lorsqu'ils utilisent le Colibri (environ 15% de temps en moins).

La réalisation des mêmes tests en distinguant les clients professionnels et particuliers donne les mêmes résultats, montrant ainsi que l'outil a un effet similaire sur ces deux catégories de clients sauf en ce qui concerne le montant des achats : que le vendeur utilise le Colibri ou non, le montant dépensé par les professionnels ne diffère pas de façon significative (p.c.=0,599 ; sans colibri = 425,71 et avec Colibri = 369,66).

Lorsque le client ne sait pas précisément ce qu'il veut (selon la perception du vendeur), la vente avec l'aide du Colibri donne de meilleurs résultats (montant des achats non indiqués dans le tableau) que sans (ne sait pas du tout p.c.=0,053 ; ne sait pas vraiment, p.c.=0,008 ; sait un peu, p.c.=0,049). Par contre lorsque le client sait précisément ce qu'il veut, la différence entre les deux groupes (Colibri vs sans Colibri) n'est plus du tout significative (p.c.=0,651).

#### 5 Conclusion

Les résultats montrent que l'utilisation du Colibri permet au vendeur d'être plus efficace, principalement lorsque le client n'a pas une idée précise de ce qu'il veut. Le recours à cet outil permet ainsi d'augmenter le montant moyen des ventes sans toutefois avoir une quelconque incidence sur le nombre de produits vendus. En d'autres termes, l'outil semble permettre de monter plus facilement en gamme, que le client ne sache pas du tout, pas vraiment ou un peu ce qu'il souhaite. Par contre dès lors qu'il sait précisément ce qu'il veut, aucune différence n'est observée, ce qui est également le cas des professionnels.

#### Références

- Beck Marie, Crié Dominique (2015), Les nouvelles aides à la vente et à l'achat : définition, état de l'art et proposition d'une taxinomie, *Décisions Marketing*, 79, Juillet-septembre, 131-150.
- Lavabre Sylvie (2012), Le numérique plébiscité par les consommateurs, publié sur [www.lsa-conso.fr](http://www.lsa-conso.fr) le 26/01/2012, consulté le 15 juillet 2017.
- Lemoine Jean-François (2002), Perception de l'atmosphère du point de vente et réactions comportementales et émotionnelles du consommateur, *5<sup>ème</sup> colloque Etienne Thil*, septembre.
- Lemoine Jean-François (2003), Vers une approche globale de l'atmosphère du point de vente, *Revue Française du Marketing*, 83-101.
- Loyalty Company (2016), Le vendeur connecté, entre mythes et réalité, publié sur [www.e.marketing.fr](http://www.e.marketing.fr) le 10/02/2016, consulté le 15 juillet 2017.
- Palmatier Robert W., Dant Rajiv P., Grewal Dhruv, Evans Kenneth R. (2006), Factors Influencing the Effectiveness of Relationship Marketing: A Meta-Analysis, *Journal of Marketing*, 70, 4, 136-153.
- Saxe Robert et Weitz Barton A. (1982), The SOCO scale: A measure of customer orientation of salespeople, *Journal of Marketing Research*, 19, 3, p.343-351.

---

## Contribution des outils numériques à l'amélioration des pratiques logistiques des grossistes

---

Stéphane Sirjean<sup>1</sup>  
[sirjean@jonction.fr](mailto:sirjean@jonction.fr)

Christian Morel<sup>1</sup>  
[morel@jonction.fr](mailto:morel@jonction.fr)

Gilles Pache<sup>2</sup>  
[gilles.pache@univ-amu.fr](mailto:gilles.pache@univ-amu.fr)

<sup>1</sup> Jonction Consulting, Aix-en-Provence  
Centre de Recherche sur le Transport et la Logistique, EA 881

<sup>2</sup> IUT, Aix-Marseille Université  
Centre de Recherche sur le Transport et la Logistique, EA 881

**Thèmes** *Droit, Économie, Gestion*

**Résumé** *Le présent article aborde des questions liées à l'organisation des chaînes logistiques, dont le fonctionnement performant participe directement à la mise à disposition efficace, tant en termes de coût, de service et de réactivité, des produits aux consommateurs finaux. Une abondante littérature met en avant l'excellence des prestataires de services logistiques dans la gestion des flux, en oubliant parfois les pratiques logistiques performantes des grossistes, entendus comme des intermédiaires non créateurs de valeur, et symboles d'un passé révolu de la distribution, celui où dominait le commerce indépendant isolé. Bien au contraire, de nombreux grossistes ont développé des pratiques logistiques vertueuses, tout particulièrement en termes de gestion des tournées de livraison dans des espaces urbains saturés, d'optimisation continue dans l'usage du foncier logistique, de création d'emplois qualifiés et de recours à des techniques de transport pour compte propre extrêmement efficaces. C'est ce dernier point qui est abordé ici dans la mesure où le transport pour compte propre est souvent présenté comme un levier essentiel en vue de contrôler directement l'exécution des opérations logistiques, sans s'en remettre à des partenaires extérieurs pouvant faire preuve de comportements déloyaux ou opportunistes. Le pilotage des flux physiques par les flux d'information étant l'essence même des pratiques logistiques, incluant les grossistes, l'article porte sur l'adoption d'outils numériques afin d'améliorer lesdites pratiques, en référence aux différentes fonctions exercées au service du système d'information.*

**Mots-Clés** – *Grossiste, Pratiques logistiques, Système d'information, Transport.*

## 1 Introduction

Pendant de très nombreuses années, le rôle joué par les grossistes dans la mise en œuvre de stratégies performantes d'intermédiation a été largement sous-estimé. Ceci s'explique principalement par le fait que les grands distributeurs en réseau ont procédé à une double intégration de la fonction de gros, au plan transactionnel et au plan logistique, par la mise en place de centrales d'achats et d'entrepôts et plates-formes, excluant de fait des grossistes dont l'une des raisons d'être correspondait à l'organisation des approvisionnements du commerce indépendant isolé [3]. Pourtant, la vitalité économique des grossistes et leur capacité à proposer des solutions technologiquement innovantes, notamment dans le contexte de la logistique urbaine, ne s'est jamais démenti ; l'implémentation de systèmes mutualisés particulièrement performants en termes de transport, de stockage et de tournées de livraison s'avère ainsi reconnue par de nombreux observateurs et soulignée dans des travaux récents [4, 10, 13]. Après des décennies d'oubli, voire de mépris, les grossistes se placent désormais au centre de toutes les attentions.

Le guide des pratiques logistiques urbaines des grossistes, rédigé par Sirjean et Boudouin [11], révèle que le transport pour compte propre et l'internalisation des opérations d'entreposage constituent aujourd'hui des traits caractéristiques de l'organisation logistique des grossistes français. Bien qu'une abondante littérature académique mette en avant l'excellence, voire la supériorité métier, des prestataires de services logistiques (PSL) et des transporteurs, et que la puissance publique tende à sous-estimer le poids du transport pour compte propre, les pratiques logistiques des grossistes en la matière concernent donc un nombre important d'entreprises (et d'emplois). Elles sont à ce titre dignes d'intérêt, et ce d'autant plus que les premiers éléments d'analyse montrent qu'elles sont plutôt vertueuses (prédominance des organisations en tournées, optimisation de l'utilisation du foncier logistique, création d'emplois, de compétences et de valeur pour le client). L'article souhaite souligner l'intérêt du sujet, l'état des pratiques et les enjeux à venir.

## 2 Intérêt du sujet et problématique

Force est d'admettre que le transport pour compte propre demeure le parent pauvre de la logistique et du transport, notamment dans le contexte des livraisons urbaines [6]. Il reste fortement associé à des perceptions négatives, celles d'entreprises frileuses, sans véritable stratégie, et ne possédant pas de compétences distinctives en termes de logistique. Pourtant, dans le même temps, le transport pour compte propre est souvent présenté comme un levier essentiel en vue de contrôler directement l'exécution des opérations logistiques, sans s'en remettre à des partenaires extérieurs pouvant faire preuve de comportements déloyaux ou opportunistes au sens de Williamson [15]. En effet, la théorie des coûts de transaction indique clairement que s'appuyer sur un

partenaire extérieur, en l'absence d'une contrôlabilité suffisante de ses agissements, peut conduire à une manipulation des prix de vente du service, ou encore à la dissimulation d'informations sur les gains de productivité réalisés par le partenaire, qui bénéficiera ainsi d'une augmentation significative de sa marge.

Le transport pour compte propre et, plus généralement, le management du transport, est l'une des composantes majeures du pilotage des flux physiques dans le cadre des politiques *supply chain* des entreprises. Les grossistes n'échappent pas à une telle réalité, connue depuis les travaux fondateurs de Kolb [5] au début des années 1970. En revanche, la problématique du transport ne peut être déconnectée des flux d'information, dont la maîtrise est une condition essentielle pour améliorer le pilotage des flux, le plus souvent mis en tension pour réduire le niveau des stocks le long de la chaîne logistique [1]. De ce point de vue, il s'avère pertinent à nos yeux d'aborder les pratiques logistiques des grossistes en matière de transport pour compte propre en référence aux outils numériques mobilisés et à leur contribution à l'amélioration desdites pratiques.

De manière conventionnelle, les outils numériques se retrouvent mobilisés par les différentes fonctionnalités d'un système d'information [2], et concernent les processus d'acquisition, de stockage, de traitement et de communication des données nécessaires au pilotage des flux physiques. Sans souci d'exhaustivité, il est possible de citer des outils, systèmes et technologies concernant les données (*Smart Data, Big Data, Open Data*), la traçabilité totale, la relation client (*via* un CRM effectif), la gestion des flux et des stocks, la simulation et l'optimisation (TMS, entre autres). Les outils, systèmes et technologies peuvent être utilisés en *statique*, au sein des entrepôts et des services logistiques des grossistes, mais aussi en *dynamique*, pour connecter les différents membres de la chaîne logistique entre eux et avec les clients. Il reste à savoir comment les outils, systèmes et technologies interagissent avec les processus organisationnels internes et externes du grossiste, ce qui constitue un programme de recherche de première importance.

## 3 État des pratiques

La performance d'ensemble d'une chaîne logistique renvoie à des notions de fluidité et de continuité des flux, ce qui ne peut être véritablement réalisé que s'il existe une parfaite articulation entre les étapes permettant la mise en marché des produits et une collaboration continue entre tous les intervenants. Au sein de ce système, l'intermédiation a pour mission de faciliter le rapprochement entre offre et demande par la mise en relation de plusieurs acteurs ayant des intérêts complémentaires. L'intermédiation revêt une dimension transactionnelle (organisation marchande des échanges) et une dimension logistique (pilotage des flux physiques et d'information entre les acteurs) [9]. La dimension logistique recouvre une triple dimension transport, manutention et stockage, comme indiqué par l'American

Marketing Association dès 1948. À travers la réalisation de l'acte de transport directement par le propriétaire (amont ou aval) du fret, le transport pour compte propre repose sur des ressources physiques en termes de véhicules et de personnel, qui renvoie à une logique patrimoniale.

Comme le notent Sirjean et Boudouin [11], le transport pour compte propre reste encore le mode d'organisation privilégié des grossistes français (près de la moitié d'entre eux l'utilisent comme moyen majoritaire). En revanche, il est intéressant de noter que pour nombre d'entre eux, plusieurs modes d'organisation pourront être utilisés de manière simultanée. Le pilotage des flux doit alors faire intervenir différents leviers et outils informationnels, permettant de communiquer indifféremment en interne et en externe avec le même niveau de performance, de réactivité et de fiabilité. La mise en œuvre efficiente des leviers et outils suppose que l'entreprise « du milieu », pour reprendre Pardo et Paché (2015), se dote d'un système d'information sophistiqué permettant d'anticiper (*planification*), d'organiser (*systèmes de gestion*), de piloter et de suivre (*tableaux de bord*) l'ensemble des flux physiques. De fait, on comprend mieux que soient identifiés des outils numériques à tous les stades de mobilisation et de pilotage des ressources logistiques : (1) au niveau des véhicules (avec la réduction des consommations, la géolocalisation, la maximisation du taux de remplissage) ; (2) au niveau des systèmes d'information (avec la traçabilité des flux, l'optimisation des tournées) ; et (3) au niveau de la connexion avec les clients (avec l'EDI, la gestion en temps réel des aléas).

#### 4 Enjeux et perspectives

La contribution des outils numériques à l'amélioration des processus et de l'organisation du transport pour compte propre s'inscrit dans une réponse globale à des enjeux collectifs et communautaires. Ceux-ci concernent principalement les différents aspects sociétaux et environnementaux, à travers la possibilité d'améliorer l'organisation de la circulation des produits, notamment en zone urbaine. On retrouve ici des problématiques de qualité de vie et de réduction des externalités négatives subies par la collectivité [8, 14]. Ces éléments sont très souvent interconnectés entre eux ; par exemple, des flux se déroulant sans difficulté majeure engendrent moins de nuisances environnementales et, globalement, une meilleure performance économique, et ils contribuent à renforcer l'acceptabilité des activités logistiques par les citoyens. Si l'on considère que le bilan énergétique est un indicateur pertinent pour mesurer les effets induits, il est à noter, selon l'ADEME, que les produits participent au compte global des transports en ville à hauteur d'environ 30 %. Une approche plus précise par émissions de polluants permet d'afficher 40 % pour les composés azotés ou encore 45 % pour les particules fines liées notamment aux motorisations diesel.

De telles données, qui impactent directement sur la santé des individus, sont désormais connues et ne peuvent plus être ignorées par les Pouvoirs publics. Au demeurant, la

dimension politique associée à la logistique, tout particulièrement urbaine, donne lieu à des recherches qui militent pour un interventionnisme accru [12]. L'utilisation d'outils numériques pour mieux gérer les arrêts de véhicule en ville (et leur durée), pour informer de la disponibilité d'un espace de livraison, ou pour réguler au mieux la circulation, contribue clairement à améliorer les temps « utiles » de présence des véhicules dans l'espace urbain. Ainsi, la camionnette arrêtée devant un petit commerçant, le poids lourd qui livre des matériaux sur un chantier, le fourgon approvisionnant l'artisan, le véhicule ramassant les déchets, etc., pourront être mieux synchronisés avec le besoin de réception ou d'enlèvement, au plus près du moment où il s'exprime. Il s'agit là de perspectives de première importance pour les grossistes, dont les pratiques logistiques ont toujours été intimement liées aux activités d'approvisionnement de la ville.

#### 5 Conclusion

Il est couramment admis que la démultiplication des envois ou des enlèvements de petite taille, sur un grand nombre de clients, est à la fois coûteuse pour le grossiste et impacte de façon négative l'environnement, en démultipliant les véhicules en circulation. Par exemple, l'enlèvement par les clients sur des plates-formes grossistes (de type *cash & carry* ou marché d'intérêt national) génère un nombre important de petits véhicules en circulation qui saturent l'espace urbain. Dans certains cas, la relation au produit (besoin du destinataire de voir et de toucher le produit) va prédominer sur l'optimisation logistique. Les grossistes l'ont bien compris. Ils proposent à cette intention de plus en plus des services de livraison en tablant sur le modèle mutualisé d'organisation en tournée, tout en travaillant sur la relation de confiance avec les clients. L'intermédiation et « l'entreprise du milieu » sont sans conteste à un moment clé de leur évolution et nul doute qu'elles méritent, à ce titre, une réflexion approfondie.

#### 6 Remerciements

La présente recherche a bénéficié du soutien et de l'aide financière de la Confédération Française du Commerce de Gros et International (CGI) dans le cadre d'un contrat de partenariat Université-Entreprise.

#### Références

- [1] Christopher, M. (2016). *Logistics and supply chain management* (5<sup>e</sup> éd.). Pearson, Harlow.
- [2] Fabbe-Costes, N. (2000). Le rôle transformatif des SIC et TIC sur les interfaces multi-acteurs de la distribution et de la logistique. In Fabbe-Costes, N., Colin, J., et Paché, G. (Éds.), *Faire de la recherche en logistique et distribution ?* (p. 171-194). Vuibert-Fnege, Paris.
- [3] Filser, M. (1989). *Canaux de distribution : description, analyse, gestion*. Vuibert, Paris.
- [4] Jones, P., Comfort, D., et Hillier, D. (2017). European food and drink wholesalers and sustainability. *European Journal of Sustainability*, Vol. 1, n° 1, p. 1-12.
- [5] Kolb, F. (1972). *La logistique : approvisionnement, production, distribution*. Entreprise Moderne d'Édition, Paris.

- [6] Marcucci, E., et Gatta, V. (2013). Intra-agent heterogeneity in urban freight distribution : the case of own-account operators. *International Journal of Transport Economics*, Vol. 40, n° 2, p. 267-284.
- [7] Morganti, M. (2011). *Urban food planning, city logistics and sustainability: the role of the wholesale produce market*. Unpublished doctoral dissertation, Bologna University.
- [8] Nathanail, E., Adamos, G., et Gogas, M. (2017). A novel approach for assessing sustainable city logistics. *Transportation Research Procedia*, Vol. 25, p. 1036-1045.
- [9] Pardo, C., et Paché, G., Édts. (2015). *Commerce de gros, commerce inter-entreprises : les enjeux de l'intermédiation*. Éditions Management & Société, Caen.
- [10] Pryor, S. (2018). *Reinventing retailing: the latest innovations from the global marketplace*. Praeger, Santa Barbara (CA).
- [11] Sirjean S., et Boudouin D. (2017). *Le grossiste, acteur majeur de la logistique urbaine*. Éditions CGI, Paris.
- [12] Sirjean, S., Morel, C., et Paché, G. (2018). Efficient city logistics management: the importance of local authorities' interventionism. *European Journal of Management*, Vol. 18, n° 1, à paraître.
- [13] Sirjean, S., Boudouin, D., Morel, C., et Paché, G. (2017). Reassessing the wholesaler role in urban freight distribution. *European Review of Service Economics & Management*, n° 3, p. 163-175.
- [14] Taniguchi, E. (2014). Concepts of city logistics for sustainable and liveable cities. *Procedia–Social & Behavioral Sciences*, Vol. 151, p. 310-317.
- [15] Williamson, O. (1985). *The economic institutions of capitalism: firms, markets, relational contracting*. The Free Press, New York (NY).

---

## Le rôle intermédiaire des sièges régionaux dans la multinationalisation des entreprises

---

Bruno Amann<sup>1</sup>

bruno.amann@univ-tlse3.fr

Jacques Jaussaud<sup>2</sup>

jacques.jaussaud@univ-pau.fr

Jan Schaaper<sup>3</sup>

jschaaper@poitiers.iae-france.fr

<sup>1</sup> IUT, Université Toulouse 3  
LGCO

<sup>2</sup> Université de Pau et des Pays de l'Adour  
CATT

<sup>3</sup> IAE, Université de Poitiers  
CEREGE

**Thèmes** – *Gestion* -

**Résumé** – *Les multinationales (MNC) contemporaines deviennent de plus en plus grandes, avec de plus en plus de filiales, dans un nombre croissant de pays, qu'il faut coordonner et contrôler. Les grandes organisations sont fortement formalisées, standardisées et complexes et ont en général une structure avec de nombreux niveaux hiérarchiques. Au cours des trois ou quatre dernières décennies, les MNC ont renforcé leurs mécanismes de coordination et de contrôle grâce à la mise en place de sièges régionaux (SR). Le but de cet article est d'étudier deux questions de recherche qui, à notre connaissance, n'ont qu'à peine été abordées dans la littérature académique. La première est : Quels sont les facteurs déterminants conduisant les MNC à établir des SR ? La seconde est : Comment les dimensions du contrôle sont-elles réarticulées dans les SR pour coordonner et exercer un contrôle sur les filiales ?*

**Mots-Clés** – *Sièges régionaux, contrôle, coordination, filiales, multinationales.*

## 1 Introduction

Les multinationales (MNC) deviennent de plus en plus grandes, avec de plus en plus de filiales dans un nombre croissant de pays avec des difficultés spécifiques pour coordonner et contrôler les unités dans le monde entier. Les grandes organisations sont fortement formalisées, standardisées et complexes. Cependant, elles peuvent perdre leur flexibilité et leur capacité à réagir rapidement aux menaces et aux opportunités locales dans les divers pays où elles se sont installées (Bartlett et Ghosal, [1]). Rugman et Verbeke [2] montrent que la plupart des MNC se développent dans des régions spécifiques et non simultanément dans toutes les régions du monde.

Au cours des trois ou quatre dernières décennies, les MNC ont renforcé leurs mécanismes de coordination et de contrôle grâce à la mise en place de Sièges Régionaux (SR). Yeung, Poon et Perry [3] par exemple, constatent que les MNC occidentales installent fréquemment des SR en Asie pour intégrer leurs activités et exercer un plus grand contrôle sur leurs filiales. De leur côté, les MNC françaises se développent rapidement dans la région Asie Pacifique, installant des SR à Singapour, Shanghai et Hong Kong principalement dans le but de rester globalement intégrées et efficaces tout en étant plus réactives aux opportunités et menaces locales. Amann, Jaussaud et Schaaper [4] montrent que les quartiers généraux (QG) transfèrent d'importantes fonctions de coordination et de contrôle aux SR. Kostova, Marano et Tallman [5] confirment que «de nombreuses MNC ont commencé à développer des centres régionaux de coordination et de contrôle» (p 180). L'objectif de ce papier est double. Tout d'abord, il confirme que lorsqu'une multinationale devient trop vaste et complexe, avec de nombreuses filiales et pays à travers le monde, elle crée des sièges régionaux intermédiaires et d'autres centres de gestion régionaux à l'intérieur des zones. La multinationale transfère d'importantes fonctions de coordination et de contrôle aux sièges régionaux. Le deuxième apport de ce travail est que les MNC régionalisent la coordination et le contrôle aux sièges régionaux.

## 2 Cadre théorique et hypothèses

### 2.1 Régionalisation des MNC

En ce qui concerne les MNC, les débats sur la nécessité de s'adapter aux besoins locaux et à l'environnement local ou, au contraire, de standardiser afin de fournir des produits et services de qualité à un prix raisonnable ont été vifs dans le dernier quart du XXe siècle. Cependant, le marketing stratégique n'était qu'une dimension de la question. Bartlett et Ghosal [1], entre autres, ont souligné

la nécessité d'être à la fois efficace par la standardisation et les économies d'échelle, et localement réactif aux besoins spécifiques, et aux actions stratégiques des concurrents, globaux ou locaux, dans tous les domaines.

Les MNC ont réussi à concilier efficacité et réactivité locale, une quête incessante, mais un certain nombre d'entre elles sont devenues trop vastes, trop complexes pour être gérées de manière centralisée, à partir de leur QG mondial. Ainsi, elles ont renforcé les mécanismes de coordination et de contrôle grâce à la mise en œuvre du siège régional. En se concentrant sur le cas des MNC françaises en Asie, Amann, Jaussaud et Schaaper [4] constatent que les MNC qui se développent massivement dans la région installent des SR, principalement à Singapour, Shanghai et Hong Kong, dans le but de rester globalement intégrées, efficaces, et devenir plus réactives localement. Dans les MNC qu'ils étudient, d'importantes fonctions de coordination et de contrôle sont transférées aux SR, ou du moins sont décentralisées au niveau des SR.

L'enquête qualitative approfondie que nous avons menée entre 2009 et 2013, à travers 77 entretiens qualitatifs avec des managers travaillant pour 47 MNC françaises en Asie nous a permis de mieux identifier les facteurs moteurs de la création des SR. Nous avons constaté que, souvent, la région Asie-Pacifique devient trop vaste, en termes de ventes, de nombre de pays à gérer ou d'importance stratégique, pour être gérée centralement. Ainsi, les MNC divisent la région en deux ou plusieurs sous-régions, ou groupes. Un tel résultat est en ligne avec la littérature précédente. Plus précisément, nous avons constaté que les principaux facteurs qui déterminent la mise en œuvre des SR sont la taille globale de la multinationale et le volume de ses ventes en Asie. Ainsi, nous concevons l'hypothèse suivante concernant les facteurs déterminants de la création de SR comme suit.

*H1* : La taille d'une MNC française est un facteur déterminant qui la conduit à installer des SR dans la région Asie-Pacifique.

### 2.2 Le modèle Centralisation, Formalisation, Socialisation (CFS)

La base du modèle de « Centralisation, Formalisation, Socialisation » (CFS) dans le cadre des modes de contrôle de gestion international remonte à Ghoshal et Nohria [6]. Ils affirment que les relations optimales entre le siège et les filiales exigent une combinaison de la centralisation de la prise de décision, de la formalisation et de l'intégration normative, avec un consensus ou des valeurs partagées comme base pour la prise de décision.

Pour ces auteurs, la centralisation se réfère à la prise de décision hiérarchique tandis que les QG (quartiers généraux) prennent la plupart des décisions cruciales. Ils considèrent la formalisation comme le cadre formel d'une

prise de décision de routine et une allocation des ressources à l'aide de manuels, d'ordres permanents et de procédures pour s'assurer que les règles n'ont pas été enfreintes. Les principaux instruments d'intégration normative conduisant à des valeurs partagées sont, selon eux, les périodes de travail des dirigeants des filiales au siège, la présence des référents du siège pour les dirigeants des filiales et le nombre de visites du siège à la filiale. Dans leur enquête empirique, l'intégration normative est appelée socialisation, un terme largement utilisé dans la théorie de l'organisation. Neuf ans plus tard, Nobel et Birkinshaw [7] ont confirmé que les trois modes de contrôle, à savoir la formalisation de la centralisation et la socialisation, étaient bien établis dans les travaux en management international. Dans les travaux ultérieurs, l'expatriation apparaît comme une mode de contrôle autonome (Harzing et Noorderhaven [8]).

Sur la base de ce cadre élargi du CFS (étendu à la quatrième dimension de l'expatriation), nous souhaitons répondre à notre deuxième question de recherche évoquée en introduction : comment les dimensions de contrôle sont-elles ré-articulées aux SR pour coordonner et contrôler les filiales ? Pour ce faire, nous avons conçu l'ensemble des quatre hypothèses concernant l'effet de la régionalisation sur les quatre dimensions du cadre élargi du CFS, à savoir la centralisation, la formalisation, la socialisation et l'expatriation.

*H2* : La régionalisation par les MNC réduit la centralisation du contrôle au siège

*H3* : La régionalisation par les MNC augmente la dimension de socialisation du siège

*H4* : La régionalisation par les MNC réduit le contrôle du niveau par la formalisation

*H5* : La régionalisation par les MNC réduit le besoin d'expatriés

### 3 Méthodologie et données

#### 3.1 Méthodologie

Nous avons opté pour un modèle d'équations structurelles PLS, avec SmartPLS 3.0, cette méthode présentant plusieurs avantages bien connus particulièrement utiles dans notre cas. En particulier, PLS-SEM fonctionne de manière satisfaisante avec de petits échantillons, des modèles de second ordre et n'exige pas que les données sous-jacentes soient normalement distribuées. De plus, PLS-SEM fonctionne avec un mélange de variables métriques, d'échelle et binaires codées. Enfin, PLS-SEM peut facilement gérer des modèles de mesure à la fois réflexifs et formatifs. Nous avons soigneusement suivi les six étapes d'une approche PLS SEM tel que recommandé par Hair et al. (2016) dans leur manuel sur la modélisation par équation structurelles

des moindres carrés partiels avec Smart PLS 3, qui sont : (1) spécification du modèle structurel, (2) instruments de mesure des indicateurs du modèle structurel, (3) collecte et examen des données, (4) estimation du modèle, (5) évaluation des modèles de mesure, et (6) évaluation du modèle structurel. Sur cette base, notre ensemble d'hypothèses a pu être testé.

#### 3.2 Données

Le travail de recueil de données a été effectué en ligne. Nous avons acheté les annuaires de filiales françaises dans onze pays d'Asie-Pacifique à forte présence française. Nous avons rassemblé les noms des managers, leur adresse, numéros de fax et emails. Nous avons complété les listes de contacts avec les listes de filiales françaises dans huit autres pays, sans annuaires papier, à travers des sites internet. Nous avons contacté 2051 personnes en 2014-2015. Au total, nous avons reçu 84 questionnaires remplis, dont 74 étaient pleinement exploitables. Nous avons reçu des réponses de personnes travaillant dans 18 pays asiatiques, dont, sans surprise, 31% de Chine, 12% du Japon, 8% de Hong Kong et moins de 5% des 15 autres pays asiatiques. Le taux de réponse global est de 3,6%.

Notre échantillon contient 25 petites MNC (34%), avec moins de 1 milliard d'euros de chiffre d'affaires, moins de 5 000 employés, présents dans moins de 20 pays et pas plus de 20 filiales à gérer. Nous avons également 23 MNC de taille moyenne (31%) avec des ventes moyennes de 4 milliards d'euros, employant en moyenne 10 000 personnes, présentes dans 20 à 50 pays avec 20 à 50 filiales. Enfin, 26 grandes MNC (35%) réalisent entre 5 et 35 milliards de ventes, employant entre 10 000 et 150 000 personnes, sont présentes dans 20 à 50 pays avec 50 à 500 filiales.

### 4 Résultats

La figure ci-dessous reproduit le modèle d'équation structurelle final [A compléter]

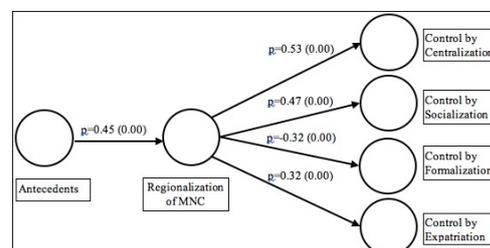


Figure 1 - The final PLS structural equation model with structural path coefficients and level of significance

*H1* posant que la taille d'une multinationale française est un facteur déterminant conduisant à la mise en place de SR dans la zone Asie-Pacifique, est validée.

Cependant, compte tenu des coefficients des variables manifestes, nous devons nuancer cette validation. C'est la taille globale de la multinationale, mesurée par le nombre de pays avec des activités, nombre de filiales, ventes et nombre de salariés dans le monde ainsi que le montant des ventes en Asie-Pacifique qui sont les principaux déterminants conduisant les MNC à mettre en place une structure régionale et / ou d'autres centres de gestion régionaux dans la région. La taille de la multinationale en Asie-Pacifique, mesurée par le nombre de pays avec des activités, le nombre de filiales, le nombre d'employés et le nombre d'usines dans la région n'a pas d'influence déterminante.

S'agissant de *H2*, affirmant que la régionalisation par les MNC réduit le contrôle par la centralisation de la prise de décision au niveau des sièges, l'hypothèse est clairement invalidée. Les MNC françaises, lorsqu'elles régionalisent leurs fonctions de gestion et de contrôle dans les SR de l'Asie-Pacifique, ne réduisent pas le niveau de prise de décision centralisée.

*H 3* affirmant que la régionalisation de la gestion en Asie-Pacifique par les MNC françaises augmente le contrôle par la socialisation, est clairement validée. Les SR et autres centres de gestion régionaux deviennent des pôles de socialisation où se rencontrent les dirigeants du siège en visites à court terme, les missionnaires à court terme, les expatriés et les autres cadres Asie-Pacifique, échangeant des informations de manière informelle et développant leurs réseaux sociaux.

*H 4* est validée. Les MNC françaises, lors de la mise en place d'un centre dans la région Asie-Pacifique réduisent le niveau de contrôle formel de leurs filiales dans cette région, principalement basé sur des reporting mensuels solides.

*H 5*, dernière hypothèse, qui concerne le recours aux expatriés est invalidée. Les MNC françaises, lorsqu'elles régionalisent leurs fonctions de gestion et de contrôle dans les SR de l'Asie-Pacifique, ne réduisent pas le taux d'expatriation dans la région Asie-Pacifique

## 5 Conclusion

Cette étude examine deux questions de recherche : Quels sont les facteurs déterminants pour que les MNC établissent des QR? Et comment les dimensions de contrôle sont-elles ré-articulées aux SR pour coordonner et exercer un contrôle sur les filiales ? Par exemple, comment les QG transfèrent-ils le contrôle et la coordination aux SR ? Comment les dimensions de contrôle sont-elles ré-articulées aux SR ? Les résultats de notre enquête montrent que :

- la taille d'une multinationale française est un facteur déterminant qui l'a conduite à établir des SR dans la région Asie-Pacifique ;

- les MNC françaises, lorsqu'elles régionalisent leurs fonctions de gestion et de contrôle dans les SR de l'Asie-Pacifique, ne réduisent pas le niveau de prise de décision centralisée ;

- la régionalisation de la gestion dans la région Asie-Pacifique par les MNC françaises augmente le contrôle par la socialisation ;

- les MNC françaises, lors de la mise en place d'un siège régional ou d'un centre de gestion dans la région Asie-Pacifique, réduisent le niveau de contrôle formel de leurs filiales dans cette région, principalement basé sur des rapports mensuels solides ;

- les MNC françaises, lorsqu'elles régionalisent leurs fonctions de gestion et de contrôle dans les SR de l'Asie-Pacifique, ne réduisent pas le taux d'expatriation dans la région.

C'est une contribution à une meilleure compréhension des rôles des sièges régionaux.

## Références

[1] Bartlett, C.A., Ghoshal, S., (1989), *Managing across borders : the transnational solution*, Boston: Harvard Business School Press.

[2] Rugman, A. M., Verbeke, A. (2008). "A new perspective on the regional and global strategies of multinational services firms", *Management International Review*, 48(4), 397-411.

[3] Yeung, H. W., Poon, J., Perry, M., (2001). "Towards a regional strategy: The role of regional headquarters of foreign firms in Singapore", *Urban Studies*, 38(1), pp 157-183.

[4] Amann, B., Jaussaud, J., Schaaper, J. (2014), "Clusters and regional management structures by Western MNCs in Asia: overcoming the distance challenge", *Management International Review*, 54(6), pp 879-906.

[5] Kostova, T., Marano, V., Tallman, S. (2016), "Headquarters subsidiary relationships in MNCs: Fifty years of evolving research", *Journal of World Business*, 51(1), 176-184

[6] Ghoshal, S. and Nohria, N., (1989). "Internal differentiation within multinational corporations", *Strategic Management Journal*, 10, pp 323-337

[7] Nobel, R., Birkinshaw, J., (1998). "Innovation in multinational corporations: control and communication patterns in international R&D operation", *Strategic Management Journal*, 19(5), pp 479-498

[8] Harzing, A. W., & Noorderhaven, N. (2006). Geographical distance and the role and management of subsidiaries: The case of subsidiaries down-under. *Asia Pacific Journal of Management*, 23(2), 167-185.

# LA VENTE DIRECTE A DOMICILE : UNE EXPERIENCE DE CONVIVIALITE MARCHANDE

---

Audrey Bonnemaizon<sup>1</sup>  
[audrey.bonnemaizon@u-pec.fr](mailto:audrey.bonnemaizon@u-pec.fr)

Sandrine Cadenat<sup>2</sup>  
[cadenat@u-pec.fr](mailto:cadenat@u-pec.fr)

Fanny Reniou<sup>3</sup>  
[fanny.reniou@u-pec.fr](mailto:fanny.reniou@u-pec.fr)

<sup>1,2,3</sup> IUT de Créteil Vitry, Université Paris-Est Créteil  
Institut de Recherche en Gestion, EA 2354

**Thèmes** – *Économie - Gestion - Droit*

**Résumé** – *Le concept de convivialité apparaît au 19<sup>ème</sup> siècle dans le domaine de la gastronomie. Longtemps considéré comme un « objet mou », un « concept polysémique », il se diffuse pourtant dans plusieurs espaces de la vie sociale : en sociologie, dans l'espace numérique, dans le monde des organisations, et plus récemment, dans le commerce. Mais dans la sphère marchande, c'est souvent à la vente directe à domicile qu'est associée la convivialité. Il apparaît nécessaire, ainsi, de mieux circonscrire ce concept afin d'aider les managers à activer les leviers permettant de développer la convivialité lors d'une transaction marchande. Telle est l'ambition de cette recherche. Les premiers résultats issus de l'interview de clients ayant vécu l'expérience d'une vente à domicile en réunion montrent que la convivialité est vue comme un état d'esprit positif et joyeux, libéré et sans contraintes et qui repose avant tout sur des interactions humaines où chaque acteur est investi d'un rôle qui s'exerce autour d'une action. Celle-ci intègre une double dimension participative et d'apprentissage, source principale de la convivialité avant le type de produit ou les caractéristiques du lieu de vente, qui tous deux se révèlent être des dimensions plus secondaires.*

**Mots-Clés** – *convivialité, vente directe à domicile, participation du client*

## 1 Introduction

La montée en puissance du commerce électronique est, pour les points de vente physiques, un déclencheur de la nécessité de refonder les approches commerciales. Trop grands, trop uniformes et en faible capacité de générer du lien social, les concepts de vente traditionnels s'efforcent aujourd'hui de ré-enchanter les espaces, d'offrir des expériences agréables, voire extraordinaires, et de développer les interactions sociales [1]. Une incursion dans la littérature en marketing permet de constater que le concept de « convivialité », initialement associé au domaine non marchand de la gastronomie, peut être mobilisé pour caractériser des espaces marchands. Or, bien que ce concept représente une réalité aux effets positifs pour de nombreuses entreprises, en termes d'expérience vécue et d'attachement à la marque, il n'a pas réellement été exploité pour repenser les nouveaux dispositifs commerciaux. Seuls quelques travaux mobilisent ce concept en marketing, dans le domaine du tourisme puis plus récemment des marques. La convivialité étant citée comme la première motivation des français à participer à une vente en réunion, il est apparu opportun de s'intéresser à celle-ci dans le domaine particulier de la vente directe. L'ambition de cette recherche est de mieux comprendre les représentations de la convivialité du point de vue des clients et les éléments permettant de l'engendrer.

## 2 Le concept de convivialité dans la littérature

La convivialité est un néologisme, créé par Jean Anthelme Brillat-Savarin [2], avocat et gastronome français, qui apparaît dans sa *Physiologie du goût* en 1825 pour désigner « le plaisir de vivre ensemble, de chercher des équilibres nécessaires à établir une bonne communication, un échange sincèrement amical autour d'une table ». Au fil des époques, les usages du concept se diffusent dans d'autres champs. En 1973, Ivan Illich [3] propose un essai, *La convivialité*, dans lequel il développe une critique morale de la société industrielle, destructrice et dénuée de sens. A cette société capitaliste, attachée à la possession matérielle et empreinte de réussite sociale, il oppose une société « conviviale », donnant à l'homme la possibilité d'exprimer sa créativité dans l'action grâce à des outils correspondant à ses propres valeurs et dont il a le contrôle et la responsabilité. Dans des réflexions sur la spiritualité [4], la convivialité est définie, d'une part, comme le goût pour les réunions joyeuses et les repas pris en commun et, d'autre part, comme la capacité qu'a une société de favoriser des échanges empreints de respect entre les personnes qui la composent. La convivialité est vue comme un art de vivre. Ceci ouvre la porte à la

critique en matière de solidité du concept, considéré par certains comme un concept sans consistance et polysémique, un « objet mou », qui joue le consensus [5]. Il apparaît pourtant aujourd'hui comme un concept rayonnant qui se diffuse dans d'autres espaces de la vie sociale : dans l'espace numérique, pour désigner une qualité majeure des outils informatiques [6] ou dans le monde des organisations, où la convivialité s'envisage dans une perspective participative et réductrice des différences hiérarchiques [7].

En marketing, le concept intéresse tardivement les chercheurs et force est de constater qu'il existe peu de recherches traitant des dimensions de la convivialité ainsi que de ses effets. Dans les communautés d'entrepreneurs et les réseaux d'affaires par exemple, la participation à des événements de convivialité favorise le développement des réseaux [8]. La convivialité apparaît ainsi comme un outil permettant de stimuler le sens de la communauté [9]. La convivialité est finalement la propension à partager au sein d'un groupe, ce partage contribuant à renforcer les liens dans ce groupe sans compromettre les libertés individuelles, par une proximité renforcée et un sens affirmé de la communauté [10]. C'est dans le domaine du marketing du tourisme que le concept de convivialité semble d'emblée investi. A titre d'exemple, Bouchet et Lebrun [11] montrent que, dans le tourisme sportif d'action, les individus, généralement en groupe, sont en quête d'expériences conviviales. Enfin, nous retiendrons les travaux d'Eroglu et Michel [12] qui proposent une première conceptualisation de la convivialité marchande au sein des lieux de service, inspirée par les travaux d'Illich. Cette convivialité se manifeste dans une expérience de « liberté interdépendante », juste dosage entre proximité et préservation de l'anonymat que permet le lieu marchand par rapport à la sphère publique, familiarité et possibilité de s'appropriier le lieu, de circuler, d'occuper l'espace.

## 3 La vente directe à domicile : un terrain fertile pour étudier la convivialité marchande

En 2014, France 2 indiquait dans un reportage consacré à la vente directe que « *Loin des magasins aseptisés, les clients ont plus d'intimité, plus de temps pour choisir ce qui leur plaît, et peuvent même être conseillés par les autres clients. Dans la vente à domicile, c'est en effet la convivialité qui fait recette* »<sup>1</sup>. La vente à domicile en réunion est définie comme « une vente directe impliquant une démonstration et la vente de produits à un groupe de clients participant à la réunion au domicile d'un proche,

<sup>1</sup>[http://www.francetvinfo.fr/replay-jt/france-2/20-heures/video-la-vente-a-domicile-en-pleine-croissance\\_716619.html](http://www.francetvinfo.fr/replay-jt/france-2/20-heures/video-la-vente-a-domicile-en-pleine-croissance_716619.html)

ami ou voisin » (DSA)<sup>2</sup>. Elle est réalisée par un vendeur à domicile indépendant (VDI) qui organise un atelier ou démonstration, selon un scénario de vente souvent très codifié, au domicile d'un hôte qui a pour rôle de convier et réunir plusieurs participants.

Pour répondre à l'objectif de cette recherche, une étude qualitative auprès de 16 clients ayant vécu l'expérience d'une vente à domicile en réunion a été menée. Les entretiens ont permis de faire émerger les représentations et les constituants de la convivialité dans un cadre marchand.

- Un état d'esprit

La convivialité est vue comme un état d'esprit positif, joyeux et bienveillant : « on y voit des gens qui sourient, font des petites blagues, c'est gai », « quand on fait des réunions, les gens savent qu'ils vont se marrer », « du sourire, de la gentillesse, de la rigolade », « avec des gens qu'on aime bien, qui s'intéressent à toi », « c'est la joie de vivre que tu as et que tu donnes aux autres » ; mais aussi libéré et sans contraintes : « Tu peux te lâcher, dire ce qui tu penses et être toi-même, il n'y a pas de jugement », « Contrairement à une boutique, y'a pas de clé pour ouvrir les vitrines. Tout est accessible, on peut tout essayer, c'est ça qui est convivial, y'a pas de barrières ».

- Des interactions humaines pensées et régulées

Au delà de l'état d'esprit, la convivialité repose avant tout sur des relations humaines. La convivialité émerge d'une orchestration à quatre mains : l'hôtesse d'abord, qui reçoit à la maison, qui accueille et qui conditionne positivement ses invités : « Si tu reçois chez toi, ça coule de source de mettre les gens à l'aise », « de toute façon l'hôtesse fait tout pour la créer la convivialité. Elle installe la maison, elle prépare l'apéro, des choses à grignoter, elle a envie de faire plaisir et que tout le monde se sente bien, on est bien reçus ». Le vendeur ou la vendeuse, ensuite, qui présente ses produits selon un schéma construit et acquis, qui anime, qui régule les relations : « Je pense que c'était lié à l'animateur qui était génial et qui savait vraiment entretenir un climat de décontraction, de plaisir », « c'était sympa parce que c'était très animé, par un animateur très professionnel et passionné », « y'a des gens qui peuvent parfois plomber un peu l'ambiance... certains qui se mettent en retrait ou au contraire qui se mettent en avant, mais ça c'est le rôle de la vendeuse de réguler tout ça. De mettre à l'écart les personnes ou de les interpeller d'une autre façon ».

Enfin, les interactions existent aussi entre les convives et grâce aux convives. Parce qu'ils sont socialement liés - ils sont invités par une même personne donc bénéficient

<sup>2</sup> <http://www.dsa.org.uk/about-the-dsa/what-is-direct-selling/>

en général d'une proximité sociale assez forte- la convivialité est facilitée ; « les gens sont plutôt sympas parce qu'ils se connaissent », « on est entre nous »..

- Une action participative au cœur du dispositif

Plus que le produit, ce sont les actions mises en œuvre lors de la vente qui sont des éléments clés de l'expérience conviviale. Il est question, pour le vendeur, de proposer une animation (culinaire, décorative) ludique permettant de fédérer les acteurs autour d'un objet, de les faire participer : « c'est l'activité en tant que telle qui est conviviale : c'est de jouer avec les fragrances », « tout le monde participe en fait », « chacun est acteur de la partie », « on se donne des idées, on échange sur l'objet de la vente » et de leur apprendre quelque chose : « j'aime bien apprendre des trucs », « j'ai vraiment passé un bon moment parce que j'ai eu l'impression de découvrir quelque chose et l'impression d'apprendre aussi ».

- Une expérience bornée dans l'espace et le temps

L'intimité, nécessaire à l'émergence de la convivialité, va reposer, comme le suggérait Brillat Savarin [2], sur le nombre de convives : « on n'est pas trop nombreux, on peut tous se parler », « c'est toujours avec un petit cercle autour de toi sinon c'est pas convivial et cocooning », inscrits dans un lieu : « les grands espaces, c'est pas chaleureux...on est tous regroupés autour d'une table », et dans le temps : « il ne faut pas que ça dure trop longtemps sinon tu perds l'intérêt des personnes ».

## 4 Conclusion

Pour réenchanter des milieux commerciaux traditionnels souvent perçus comme froids et impersonnels, les distributeurs s'efforcent d'offrir des expériences qui sortent de l'ordinaire et des interactions sociales [1]. Cette recherche, bien que limitée au secteur de la vente à domicile, a permis d'identifier les facteurs déclencheurs de la convivialité marchande que la distribution traditionnelle pourrait s'approprier pour offrir à ses clients des expériences commerciales conviviales. Ces facteurs constitutifs de la convivialité reposent sur des actions concrètes autour du rôle (1) des hommes (vendeur, hôte, clients), (2) des actions (participation et apprentissage) et (3) des espaces (domicile, agencement).

## Références

- [1] Kozinets R. V. (2002), Can Consumers Escape the Market? Emancipatory Illuminations from Burning Man, *Journal of Consumer Research*, vol.29, 1, 20-37.
- [2] Brillat-Savarin J.A. (1999, édition originale 1825), *Physiologie du goût ou méditations de gastronomie transcendante*, Lacour, Nîmes.
- [3] Illich I. (1973), *La convivialité*, Seuil, Paris.

- [4] Desrochers D. (1999), *La convivialité : une interprétation de la spiritualité de la libération chez Gustavo Gutiérrez*, Mediaspaul.
- [5] Thiery S. (2004), Avant-propos, *Revue Quaderni*, 53, Sapiencia, Paris, p. 57-59.
- [6] Lavigne M. (2007), Convivialité et créativité, La convivialité des interfaces à vocation ludique et / ou pédagogique. Conception, création, valeurs, usages. *Actes du colloque scientifique Ludovia*, Toulouse.
- [7] Boutaud J.J. et Bonescu M. (2008), La convivialité en entreprise, Topique et topographie d'une figure sensible, *Médiation et Information*, 29, 141-151.
- [8] Guercini S. et Ranfagni S. (2016), Conviviality behavior in entrepreneurial communities and business networks, *Journal of Business Research*, 770-776.
- [9] Lloyd S. (2002), Pleasing spectacles and elegant dinners: Conviviality, benevolence, and charity anniversaries in eighteenth-century London, *Journal of British Studies*, 41, 23-57.
- [10] Caire P., Alcalde B. et Sombatheera C. (2011), Conviviality measures, *10th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, 2, 895-902.
- [11] Bouchet P. et Lebrun A.M. (2004), Intérêt d'une approche par expériences recherchées dans la segmentation de la clientèle: le cas du tourisme sportif d'action, *Décisions Marketing*, 35, 39-48.
- [12] Eroglu S. et Michel G. (2018), The dark side of place attachment: Why do customers avoid their treasured stores?, *Journal of Business Research*, 85, 258-270.

---

## Les préférences individuelles des seniors pour les technologies : quels déterminants ?

---

Samia Benallah<sup>1</sup>

samia.benallah@univ-reims.fr

Amandine Rauly<sup>2</sup>

amandine.rauly@univ-reims.fr

<sup>1</sup> IUT de Reims-Châlons-Charleville – Département Carrières sociales, Université de Reims Champagne-Ardenne  
Laboratoire Regards, EA 6292

<sup>2</sup> UFR Sciences économiques, sociales et de gestion, Université de Reims Champagne-Ardenne  
Laboratoire Regards, EA 6292

**Thèmes** – *Economie - Santé*

**Résumé** – *L'objectif de notre recherche est de d'étudier les préférences des personnes âgées de 50 ans et plus pour les gérontechnologies. L'apport des technologies dans la prise en charge du vieillissement est l'objet d'une attention croissante, tant de la part des pouvoirs publics qui y voient une opportunité de réduire les coûts de cette prise en charge que des industriels qui en attendent des débouchés pour leurs produits. Les perspectives de développement d'un marché des technologies à destination des personnes âgées se heurtent cependant aux difficultés à identifier les attentes de ces dernières et à connaître leurs préférences dans ce domaine. Quelles perceptions les personnes âgées ont-elles des gérontechnologies ? Quels besoins expriment-elles en la matière ? Quels sont les facteurs favorisant leur adoption ? Quels prix sont-elles prêtes à payer pour pouvoir en disposer ? Notre recherche propose précisément d'apporter des éléments de réponse à cette série de questions à travers une enquête, menée en 2017, auprès de 518 personnes âgées de 50 ans et plus résidant dans la communauté d'agglomération de Châlons-en-Champagne.*

**Mots-Clés** – *Préférences individuelles, santé, silver économie, gérontechnologies.*

## 1 Introduction

Selon les dernières projections de l'INSEE, près d'une personne sur trois aura plus de 60 ans en 2040 en France et une personne sur six aura plus de 75 ans en 2070 [1]. Le vieillissement de la population est perçu à la fois comme une menace pour les comptes sociaux mais également comme un potentiel levier de croissance économique, grâce au développement d'une silver économie. Ce développement est encouragé par les pouvoirs publics et la loi relative à l'adaptation de la société au vieillissement introduit des instruments pour le favoriser. En particulier, la loi met en place, dans chaque département, une conférence des financeurs dont l'une des missions est de recenser les besoins des personnes âgées en matière de prévention de la perte d'autonomie. Cette initiative met en évidence le manque de connaissances dans ce domaine, en particulier s'agissant des besoins des personnes âgées en matière de gérontechnologies. Quelles perceptions les seniors en ont-ils ? Quels besoins expriment-ils en la matière ? Quels sont les facteurs favorisant leur adoption ?

Ces interrogations renvoient plus généralement à la question des motivations des personnes âgées à acquérir et utiliser les gérontechnologies, en lien avec leur état de santé mais aussi leurs capacités financières. Le niveau de vie relatif des retraités devrait en effet sensiblement diminuer au cours des prochaines décennies [2], ce qui interroge sur leur propension à acquérir ces technologies coûteuses. Par ailleurs, les inégalités sociales de santé sont très marquées [3]. Les personnes susceptibles d'avoir le plus fortement besoin de ces aides technologiques sont aussi celles qui sont le moins en capacité de les acquérir.

## 2 L'enquête « Bien vivre à domicile et nouvelles technologies »

Il semble donc essentiel de mieux identifier les préférences des personnes âgées vis-à-vis des technologies et d'évaluer dans quelle mesure ces dernières sont susceptibles de les utiliser. Notre recherche s'inscrit dans cette perspective. Pour cela, nous avons mis en œuvre une enquête, auprès d'une population âgée de 50 ans et plus, habitant la communauté d'agglomération châlonnaise (46 communes situées dans le département de la Marne et réunissant plus de 80 000 habitants).

L'objectif de l'enquête, intitulée « *Bien vivre à domicile et nouvelles technologies* », est de mieux caractériser la population des seniors, aussi bien en ce qui concerne leurs profils sociodémographiques que leur état de santé, leurs relations sociales ainsi que leur rapport aux technologies. L'enquête comporte également un volet permettant de faire émerger les préférences des personnes âgées concernant un dispositif de téléassistance. Ce volet, basé sur la méthode des choix discrets (voir [4] pour une présentation de la méthode), est consacré à la présentation d'offres fictives de

téléassistance couplée à des services d'accompagnement et au recueil des préférences concernant ces offres.

Pour cela, près de 2000 questionnaires ont été distribués, entre mars et août 2017, sur le territoire de l'agglomération châlonnaise. L'enquête était disponible sous format papier et électronique. Des efforts de diffusion particuliers ont été déployés pour atteindre les seniors vivant dans les zones rurales (*via* un envoi postal nominatif avec enveloppe T pour le retour) et ceux domiciliés au sein d'une RPA ou d'un EHPAD (avec l'aide des étudiantes du département Carrières sociales de l'IUT de Châlons-en-Champagne).

Au total, 548 questionnaires ont été renseignés, dont 518 ont pu être exploités. Les données issues de ces 518 questionnaires ont été redressées à partir de l'enquête « Vie quotidienne et santé des seniors – Edition 2014 » de l'INSEE (pour une présentation détaillée de cette enquête, on peut se référer à [5]). Les principales caractéristiques de l'échantillon sont résumées dans les table 1 et figure 1.

Table 1 – Caractéristiques de l'échantillon d'enquête

Zone rurale	Hommes	Plus de 70 ans	Personne seule	Maladie chronique
28 %	32 %	40 %	40 %	49 %

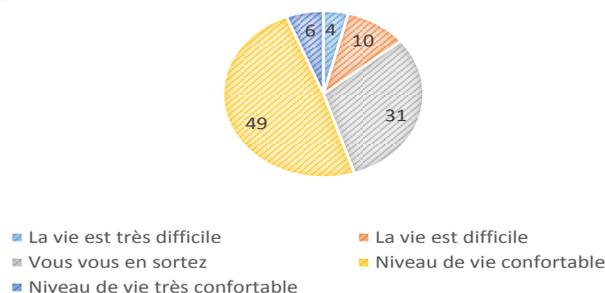


Figure 1 – Niveau de vie déclaré (répartition en %)

## 3 Mesurer le rapport aux technologies

Le développement potentiel d'un marché des technologies au service du bien-être des personnes âgées se heurte à un double obstacle. D'une part, la population ciblée par ces technologies est loin d'être homogène. Il existe en effet de fortes disparités en matière de santé, d'autonomie [6] ainsi que de revenus [7]. D'autre part, cette dernière reste relativement éloignée des technologies en comparaison des personnes plus jeunes [8].

Dans ce contexte, il semble essentiel de mieux connaître ce qui facilite ou au contraire ce qui nuit à l'acceptation des technologies par les personnes âgées. L'enquête « *Bien vivre à domicile et nouvelles technologies* » permet d'analyser les liens entre les caractéristiques des seniors interrogés et leurs réponses à des questions basées sur le modèle de référence concernant l'acceptation de la technologie : le *Senior technology acceptance model* (STAM) [9]. Ces questions permettent d'appréhender le

rapport aux technologies à travers cinq items : appréciation générale, utilité perçue, simplicité d'utilisation perçue, conditions facilitant l'usage, anxiété générée. Pour chaque individu, un score d'acceptation des technologies, pouvant prendre trois niveaux (faible, moyen ou élevé), est calculé en fonction des réponses à ces différents items.

#### 4 Facteurs liés à l'acceptation des technologies

Nous analysons les caractéristiques individuelles des seniors ayant un lien avec ce score. Pour cela, nous estimons l'équation ci-dessous :

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + \varepsilon_i,$$

$$\text{avec } Y_i = \begin{cases} 0 & (\text{faible}) \\ 1 & (\text{moyen}) \\ 2 & (\text{élevé}) \end{cases}$$

$Y_i$  est le score d'acceptation,  $X$  est un vecteur de caractéristiques individuelles et  $\varepsilon$  un terme d'erreur représentant les facteurs inobservables affectant le rapport des seniors vis-à-vis des technologies.

Table 2 – Caractéristiques de l'échantillon d'enquête

	Score d'acceptation
Age	-
Hommes (vs Femmes)	-
Célibataire (vs être en couple)	--
Avoir des enfants	+
Zone rurale (zone urbaine)	-
Niveau de revenu	--
Limitation fonctionnelle	-
Relations sociales	++
Activités	ns

Les résultats sont résumés dans le tableau 2 ci-dessus. D'une manière générale, les données de l'enquête indiquent une vision positive des technologies chez les seniors disposant de ressources sociales et financières plus importantes. Ceux ayant des enfants, en couple et ceux recevant régulièrement des visites de leur entourage ont un score d'acceptation des technologies plus élevé. A l'inverse, les seniors moins dotés socialement et financièrement, ont un score d'acceptation plus faible. C'est le cas des personnes âgées vivant en zone rurale, de celles disposant de revenus faibles (moins de 1500 euros mensuels), ou encore de celles ayant des limitations fonctionnelles (physiques, sensorielles ou cognitives).

#### 5 Conclusion

La perspective du vieillissement de la population comme levier de croissance économique repose sur l'hypothèse d'émergence de nouveaux besoins exprimés par les personnes âgées pour améliorer leur bien-être. Pour que ces besoins s'orientent vers des solutions technologiques, il semble indispensable de tenir compte des disparités

d'acceptation de technologies au sein de la population des seniors. Ces disparités sont importantes, selon les premiers résultats de l'enquête « *Bien vivre à domicile et nouvelles technologies* » et conduisent à s'interroger sur l'opportunité d'une prise en charge du vieillissement de la population par le développement de nouvelles technologies. Ces premiers résultats appellent plus généralement à approfondir les travaux visant à vérifier dans quelle mesure les technologies sont susceptibles de renforcer ou au contraire de réduire les disparités sociales de vieillissement.

#### 6 Remerciements

Cette recherche s'inscrit dans le cadre du projet NextRPA (Nouvelles expériences technologiques en résidence pour personnes âgées), porté par le CCAS de Châlons-en-Champagne. Il est soutenu financièrement par la CARSAT Nord-Est, la Région Grand-Est et la Communauté d'agglomération châlonnaise. Nous remercions les partenaires du projet et les acteurs ayant facilité le terrain d'enquête. Nous remercions Murielle Hanique et les étudiantes du département Carrières sociales de l'IUT de Châlons pour leur aide indispensable à cette recherche.

#### Références

- [1] Blanpain N. et Buisson G., *Projections de population 2013-2070 pour la France : méthode et principaux résultats*, Document de travail de l'INSEE, n° F1606, 111 p., 2016.
- [2] COR, *Évolutions et perspectives des retraites en France*, Rapport annuel, 177 p., 2016.
- [3] DREES, *L'état de santé de la population en France*, 326 p., Rapport 2015.
- [4] Louvière J. J., Flynn T. N. et Carson R. T., *Discrete choice experiments are not conjoint analysis*, Journal of Choice Modelling, vol. 3(3), pp. 57-72, 2010.
- [5] Brunel M. et Carrère A., *Incapacités et perte d'autonomie des personnes âgées en France : une évolution favorable entre 2007 et 2014*, Les dossiers de la DREES, n° 13, 46 p., 2017.
- [6] Tubeuf S., Trannoy A., Devaux M., Jusot F., *La santé des seniors selon leur origine sociale et la longévité de leurs parents*, Economie et statistique, n°411, pp. 25-46, 2008.
- [7] Arnold C. et Lelièvre M., *Le niveau de vie des personnes âgées de 1996 à 2009 : une progression moyenne en ligne avec celles des personnes d'âge actif, mais des situations individuelles et générationnelles contrastées*, Les revenus et le patrimoine des ménages, Edition 2013, pp. 33-53.
- [8] Mordier B., *L'accès des seniors aux technologies de l'information et de la communication : vers une plus grande démocratisation*, Retraite et Société, vol. 75, p. 99-114, 2016.
- [9] Chen K, Chan A. H. S, *Predictors of gerontechnology acceptance by older Hong Kong Chinese*, Technovation, vol. 34, pp. 126-135, 2014.

---

# L'évolution du poids des émotions au cours du temps : le cas des expériences des jeux vidéo

---

Elodie Mallor<sup>1</sup> Sylvie LLosà<sup>2</sup> Lionel Nicod<sup>3</sup>

elodie.mallor@univ-amu.fr sylvie.llosa@iae-aix.com lionel.nicod@univ-amu.fr

<sup>1</sup> IUT, Aix-Marseille Université

Centre d'étude et de recherche en gestion d'Aix-Marseille, EA 4225

<sup>2</sup> IAE, Aix-Marseille Université

Centre d'étude et de recherche en gestion d'Aix-Marseille, EA 4225

<sup>3</sup> IUT, Aix-Marseille Université

Centre d'étude et de recherche en gestion d'Aix-Marseille, EA 4225

**Thèmes** – *Sciences de gestion*

**Résumé** – *La question du rôle joué par les éléments cognitifs et affectifs d'une expérience sur la satisfaction dans le temps est omniprésente dans la littérature. L'objectif de ce papier est d'analyser l'évolution du poids des dimensions affective et cognitive de l'expérience client sur la satisfaction client dans le cadre d'expériences de service hédoniques. En se basant sur un panel de 2208 joueurs américains de jeux vidéo avec trois points de collecte de données correspondant à trois moments clés de la relation client, nos résultats démontrent que les émotions ont un poids croissant sur la satisfaction au cours du temps. Ces résultats vont à l'encontre des conclusions de précédentes recherches réalisées dans des contextes utilitaires. Nous précisons également le rôle joué par les éléments cognitifs de la satisfaction en soulignant leur prépondérance durant les premières expériences de service. Les conclusions de cette recherche offrent des pistes d'amélioration pour la gestion de la relation client dans le temps dans le cadre d'expériences de service hédoniques.*

**Mots-Clés** – *Expérience hédonique, émotions, temps, service*

## 1) La nécessité de considérer le cas des expériences de services hédoniques dans le temps

Depuis la fin des années 90, les chercheurs soulignent la nécessité d'étudier la satisfaction dans une approche temporelle dynamique pour mieux comprendre et prédire les comportements des consommateurs et les performances économiques des entreprises (Johnson et al. [1] Olsen et Johnson [2]). Différentes recherches dans des secteurs utilitaires comme la banque, l'éducation ou les services de téléphonie ont démontré que les dimensions de la satisfaction, et en particulier les attributs affectifs et cognitifs, ont un poids non constant au cours du temps (Homburg et al. [3] Mittal et al. [4] Pizzi et al. [5] Slotegraaf et Inman [6]). Mais il semble qu'il n'existe que très peu de recherches concernant le cas des expériences hédoniques de service dans le temps. Il s'agit en effet d'un type particulier d'expériences liées au plaisir où les émotions ont un rôle prépondérant (Babin et al. [7] Holbrook et Hirschman [8]). Pour autant, ces émotions ont-elles un rôle constant au cours du temps? Que se passe-t-il entre la première fois qu'un client joue à un jeu vidéo, visite un parc Disney, et la nième session de jeu ou visite?

Tout comme la satisfaction, il convient de considérer les émotions dans une perspective temporelle dynamique pour comprendre comment le poids de celles-ci dans la satisfaction évolue et influence les comportements clients.

## 2) L'évolution du poids des émotions sur la satisfaction

L'expérience client doit être envisagée comme un processus, un voyage du client entre les phases de préachat (d'attente), de consommation et de post consommation (Lemon et Verhoef [10]). Des recherches dans des secteurs utilitaires ont démontré que la multiplication d'expériences entraîne une augmentation du poids des éléments cognitifs dans la satisfaction au détriment d'éléments affectifs (Homburg et al. [3] Mittal et al. [4] Pizzi et al. [5] Slotegraaf et Inman [6]). Cependant on sait que les émotions influencent durablement la mémoire. Les événements accompagnés d'émotions saillantes sont mieux mémorisés que ceux accompagnés d'émotions neutres (Croisile [10]). Par conséquent, si les précédentes recherches ont conclu à une rationalisation des expériences clients avec une évaluation de plus en plus cognitive des expériences vécues, il nous semble nécessaire d'étendre ces recherches à d'autres secteurs de consommation hédoniques présentant une plus forte intensité émotionnelle. Cette recherche a donc pour objectif de confirmer à l'instar des précédentes recherches une évolution du poids des dimensions affective et cognitive de la satisfaction d'une part et, d'autre part, de démontrer qu'à l'inverse des expériences utilitaires, les

émotions peuvent avoir un poids croissant au cours du temps.

## 3) Etude de l'évolution du poids des émotions sur la satisfaction : le cas des jeux vidéo

Pour ce faire nous avons choisi de travailler sur le secteur des jeux vidéo dont la dimension hédonique est incontestable. Les joueurs attendent le jeu, en parlent puis multiplient les sessions (les expériences) de jeu. Ils voyagent entre une phase de découverte du jeu jusqu'à la totale complétion de celui-ci. Pour notre recherche nous avons passé un accord avec une entreprise privée du secteur. Un questionnaire a été établi et des joueurs américains ont été interrogés à trois moments, T0 (deux semaines avant le jeu), T1 (fin de la phase de découverte du jeu) et T2 (fin du jeu). Au total, 2208 réponses valides ont été collectées et ont fait l'objet d'un traitement statistique via le logiciel SPSS. La comparabilité des échantillons sur les trois périodes a été contrôlée et des régressions avec t-test ont été effectuées pour observer l'évolution dans le temps du poids des dimensions affective et cognitive dans la satisfaction.

## 4) Résultats et conclusions

Conformément à ce qu'il a été démontré dans des recherches utilitaires, on observe bien une évolution dans la satisfaction du poids des dimensions affective et cognitive au cours du temps. Concernant la dimension cognitive, si son poids dans la satisfaction augmente entre les expériences d'attente et de découverte du jeu, il devient stable par la suite et ne présente pas d'évolutions significatives. La dimension affective en revanche, contrairement aux cas des expériences utilitaires, augmente significativement entre les expériences de découverte et de fin de jeu mais pas entre les expériences d'attente et de découverte.

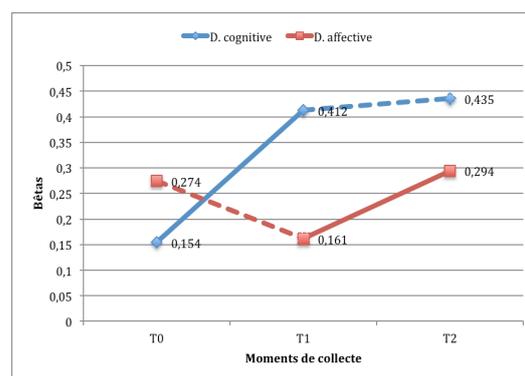


Figure 1 – Principaux résultats

En conclusion, cette recherche constitue une première étape pour comprendre l'évolution du poids des émotions dans la satisfaction dans le cadre d'expériences de service

hédonique en considérant le cas particulier des jeux vidéo. Les résultats démontrent un poids croissant des émotions au moins entre les premières expériences et l'instauration d'une relation longue de service validant partiellement nos hypothèses de recherche. D'un point de vue managérial, cette recherche peut aider les entreprises à mieux penser leurs expériences clients dans une perspective de long terme. Il conviendrait néanmoins de valider nos résultats en considérant d'autres cas d'expériences hédoniques. Malgré ses limites, cette recherche basée sur de vrais joueurs dans une approche temporelle dynamique permet de reconsidérer le rôle des émotions dans le cadre des expériences de service hédoniques.

## Références

- [1] Johnson, M.D., Anderson, E.W., Fornell, C., 1995. Rational and Adaptive Performance Expectations in a Customer Satisfaction Framework. *Journal of Consumer Research* 21, 695–707.
- [2] Olsen, L.L., Johnson, M.D., 2003. Service Equity, Satisfaction, and Loyalty: From Transaction-Specific to Cumulative Evaluations. *Journal of Service Research* 5, 184–195.
- [3] Homburg, C., Koschate, N., Hoyer, W.D., 2006. The Role of Cognition and Affect in the Formation of Customer Satisfaction: A Dynamic Perspective. *Journal of Marketing* 70, 21–31.
- [4] Mittal, V., Katrichis, J.M., Kumar, P., 2001. Attribute performance and customer satisfaction over time: evidence from two field studies. *Journal of Services Marketing* 15, 343–356.
- [5] Pizzi, G., Marzocchi, G.L., Orsingher, C., Zammit, A., 2015. The Temporal Construal of Customer Satisfaction. *Journal of Service Research* 18, 484–497.
- [6] Slotegraaf, R.J., Inman, J.J., 2004. Longitudinal Shifts in the Drivers of Satisfaction with Product Quality: The Role of Attribute Resolvability. *Journal of Marketing Research (JMR)* 41, 269–280.
- [7] Babin, B.J., Darden, W.R., Griffin, M., 1994. Work and/or Fun: Measuring Hedonic and Utilitarian Shopping Value. *Journal of Consumer Research* 20, 644–656.
- [8] Holbrook, M.B., Hirschman, E.C., 1982. The Experiential Aspects of Consumption: Consumer Fantasies, Feelings, and Fun. *Journal of Consumer Research* 9, 132–140.
- [9] Lemon, K.N., Verhoef, P.C., 2016. Understanding Customer Experience Throughout the Customer Journey. *Journal of Marketing* 80, 69–96.
- [10] Croisile, B., 2009. Approche neurocognitive de la mémoire. *Gérontologie et société* 32 / n° 130, 11–29.

---

## Avant ou Pendant : quand les distributeurs doivent-ils former les clients à leurs rôles en magasin ?

---

Lionel Nicod<sup>1</sup> Sylvie LLosà<sup>2</sup> Elodie Mallor<sup>3</sup>

Lionel.nicod@univ-amu.fr [sylvie.llosa@iae-aix.com](mailto:sylvie.llosa@iae-aix.com) elodie.mallor@univ-amu.fr

<sup>1</sup> IUT, Aix-Marseille Université

Centre d'étude et de recherche en gestion d'Aix-Marseille, EA 4225

<sup>2</sup> IAE, Aix-Marseille Université

Centre d'étude et de recherche en gestion d'Aix-Marseille, EA 4225

<sup>3</sup> IUT, Aix-Marseille Université

Centre d'étude et de recherche en gestion d'Aix-Marseille, EA 4225

**Thèmes** – *Sciences de gestion*

**Résumé** – *Avec l'émergence des nouvelles technologies (murs digitaux, applications, scannettes...), les entreprises ont accru et complexifié le rôle du client pendant les rencontres de service. Elles se doivent donc de former le client à ces nouveaux scripts de service. Pour ce faire, elles disposent de deux types de formations : la formation proactive et la formation réactive. La formation proactive consiste à expliquer au client son rôle en intégralité avant qu'il en exprime le besoin. La formation réactive consiste à l'aider quand il le demande. L'objectif de cette recherche est donc de comparer l'influence de ces deux formations sur la maîtrise du script de service, qui joue à son tour sur la confiance et le montant d'achat. A travers une étude quantitative sur 500 clients par observations, elle montre que seule la formation proactive impacte positivement ces variables. Elle conduit donc à revoir la stratégie des entreprises qui se fondent principalement sur la formation réactive à ce jour.*

**Mots-Clés** – *Coproduction, distribution, formation*

## 1) La coproduction en distribution, une activité croissante.

La dernière décennie a connu une croissance conséquente du rôle du client en magasin (scannettes, caisses rapides...). Les distributeurs considèrent les clients comme des « employés temporaires », appelés aussi coproducteurs (Mills [1] Eglie [2] Bitner [3] Vargo [4]). La coproduction recouvre l'ensemble des rôles que le client doit jouer pour produire le service (Solomon [5]). D'après la littérature (Grönroos [6]), la coproduction crée de la valeur à la fois pour le client et les entreprises. Pour les clients, elle accroît la satisfaction (Solomon [5]), la confiance (Morgan [7]) et la fidélité (Dong [8]). Pour les entreprises, elle améliore la productivité (Lovelock [9]), le montant d'achat (Leclercq [10]) et l'intention de réachat (Yim [11]). Dans cette recherche, nous seule la confiance et le montant d'achat sont considérés.

## 2) Des effets positifs de la coproduction conditionnés par la maîtrise du script de service

Toutefois, cette influence positive de la coproduction sur la confiance et le montant d'achat n'existe que si le client joue son rôle correctement. Pour cela, les distributeurs définissent ce rôle à travers des scripts (Solomon [5]). Le script de service est une séquence cohérente d'événements attendus par les clients et les employés, les impliquant comme des acteurs ou des observateurs (Solomon [5]). Ainsi, les enseignes doivent expliquer le script de service aux clients. Pour rendre les clients capables d'exécuter ce script, elles peuvent s'appuyer sur deux processus : une formation proactive ou une formation réactive. La formation proactive fournit de l'information sur le script avant la rencontre de service (Retana [12]). La formation réactive apparaît pendant l'expérience quand les clients demandent de l'aide sur le processus de service. A ce jour, les distributeurs considèrent la formation réactive comme le processus de référence à travers l'activité du personnel en contact en magasin (Arnold [13]; Keh [14]; Alhouti [15]). Si les auteurs suggèrent une influence positive de la formation proactive et réactive, aucun ne compare leurs effets.

## 3) Comparaison des effets d'une formation proactive et réactive sur la confiance et le montant d'achat

### 3.1 Le modèle

L'objet de cette communication est donc de comparer l'effet d'une formation proactive et réactive sur la maîtrise du script, le montant d'achat et la confiance du client :

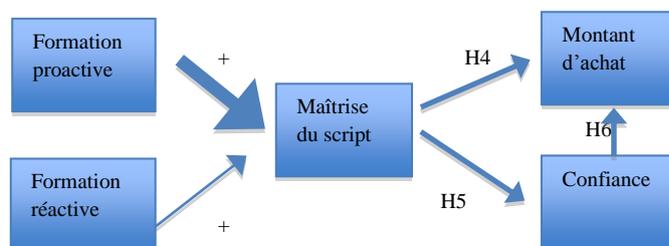


Figure 1 – Le modèle testé

### 3.2 Méthodologie

Pour répondre à cette question, 500 clients ont été interrogés et observés dans un magasin Ikéa. Une grille d'observation, fondée sur le script défini par l'entreprise, a permis d'enregistrer les écarts positifs et négatifs entre le script réalisé par le client et le script attendu. A partir de ces observations, nous avons établi un score de maîtrise du script pour chaque client sur l'intégralité de la visite. Puis les données ont fait l'objet d'une analyse multigroupes sur AMOS.

## 4) Résultats et conclusions

Les résultats empiriques indiquent que seule la formation proactive accroît la maîtrise du script, la formation réactive n'ayant pas d'influence. Cette dernière permet juste d'identifier les clients en difficulté. Dans les deux cas, la maîtrise du script améliore la confiance et le montant d'achat :

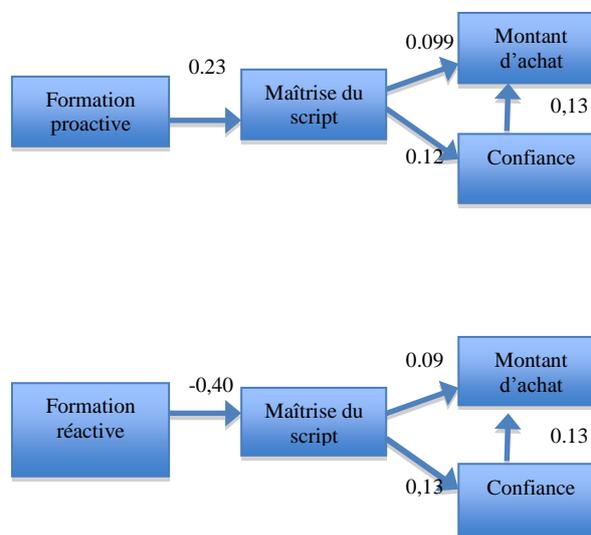


Figure 2 : Les résultats

Ces résultats suggèrent que les distributeurs devraient changer leur processus de formation. Ils devraient développer les processus de formation proactifs au lieu de s'appuyer uniquement sur des processus réactifs. La formation réactive devrait être dédiée aux solutions de

recovery en cas de difficultés ou défaillance du processus. Cette recherche devrait être répliquée dans d'autres enseignes de distribution moins participatives et en intégrant des effets modérateurs comme la familiarité du service.

## Références

- [1] Mills, P. K., & Morris, J. H. (1986). Clients as "Partial" Employees of Service Organizations: Role Development in Client Participation. *The Academy of Management Review*, 11(4), 726-735.
- [2] Eiglier, P., & Langeard, E. (1987). *Servuction, le marketing des services* (McGraw Hill). Paris.
- [3] Bitner, M. J., Faranda, W. T., Hubbert, A. R., & Zeithaml, V. A. (1997). Customer contributions and roles in service delivery. *International Journal of Service Industry Management*, 8(3), 193-205.
- [4] Vargo, S. L., & Lusch, R. F. (2004). Evolving to a New Dominant Logic for Marketing. *Journal of Marketing*, 68(1), 1-17.
- [5] Solomon, M. R. M., Surprenant, C., Czepiel, J. J. A., & Gutman, E. G. (1985). A role theory perspective on dyadic interactions: The service encounter. *Journal of Marketing*, 49(1), 99-111.
- [6] Grönroos, C., & Voima, P. (2012). Critical service logic: making sense of value creation and co-creation. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 41(2), 133-150.
- [7] Morgan, R. M., & Hunt, S. D. (1994). The Commitment Trust Theory of Relationship Marketing. *Journal of Marketing*, 58(3), 20-38.
- [8] Dong, B., Evans, K. R., & Zou, S. (2007). The effects of customer participation in co-created service recovery. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 36(1), 123-137.
- [9] Lovelock, C. H., & Young, R. F. (1979). Look to consumers to increase productivity. *Harvard Business Review*, 57, 168-179.
- [10] Leclercq, T., Hammedi, W., & Poncin, I. (2016). Dix ans de co-creation de valeur : une revue integrative. *Recherche et Applications En Marketing*, 31(3), 29-66.
- [11] Yim, K. C. B., Chan, K. W., & Lam, S. S. K. (2012). Do Customers and Employees Enjoy Service Participation? Synergistic Effects of Self and Other-Efficacy. *Journal of Marketing*, 76(November), 121-140.
- [12] Retana, G. F., Forman, C., & Wu, D. J. (2015). Proactive Customer Education, Customer Retention, and Demand for Technology Support: Evidence from a Field Experiment. *Manufacturing & Service Operations Management*, 18(1), 1-30.
- [13] Arnold, M. J., Reynolds, K. E., Ponder, N., & Lueg, J. E. (2005). Customer delight in a retail context: Investigating delightful and terrible shopping experiences. *Journal of Business Research*, 58(8), 1132-1145.
- [14] Keh, H. T., Ren, R., Hill, S. R., & Li, X. (2013). The beautiful, The Cheerful, and the Helpful : The effects of Service Employee attributes on Customer Satisfaction. *Psychology & Marketing*, 30(3), 211-226.
- [15] Alhouti, S., Gillespie, E. A., Chang, W., & Davis, L. (2015). The Thin Line between Love and Hate of Attention: The Customer Shopping Experience. *Journal of Marketing Theory and Practice*, 23(4), 415-433.

---

## A methodology to build funds of funds avoiding computational problems

### An application case for funds of funds in bull market

---

Nadège Ribau-Peltre<sup>1</sup>

[nadege.peltre@univ-lorraine.fr](mailto:nadege.peltre@univ-lorraine.fr)

Pascal Damel<sup>2</sup>

[pascal.damel@univ-lorraine.fr](mailto:pascal.damel@univ-lorraine.fr)

Hoai An Le Thi<sup>3</sup>

[hoai-an.le-thi@univ-lorraine.fr](mailto:hoai-an.le-thi@univ-lorraine.fr)

<sup>1</sup> IUT de Metz, Lorraine Université

Centre Européen de Recherche en Economie Financière et Gestion des Entreprises, EA 3942

<sup>2</sup> ESM-IAE de Metz, Lorraine Université

Laboratoire d'Informatique Théorique et Appliquée, EA 3097

<sup>3</sup> UFR Mathématiques, informatique, mécanique de Metz, Lorraine Université

Laboratoire d'Informatique Théorique et Appliquée, EA 3097

**Thèmes** – *Management (gestion)*

**Résumé** – *Funds of funds are funds that invest primarily in units of other funds. They have developed in Europe since the end of the 1990s. Their existence assumes that no fund manager can be excellent in all fields (all sectors, all geographical areas ...) and that it can be therefore interesting to compose funds from shares of funds managed by different management companies. As funds of funds increase diversification, they can be attractive at first glance. But studies have pointed out that they have some disadvantages, the main one being over-diversification. Basing on a study we published in 2014, we will show that it may be interesting to apply a method of clustering in the fund-of-funds process, especially when the initial database is very large. A prior clustering indeed, based in particular on expectations of market developments, makes it possible to reduce the size of the database on which to apply mean-variance Markowitz optimization method, thus avoiding computational problems which can occur when this optimization process is applied to a database composed of a very large number of individuals.*

**Mots-Clés** – *funds of funds, DCA method, clustering, mean-variance optimization*

## 1 Introduction

The existence of fund-of-funds is based on the principle that, since no fund manager can be excellent in all areas, funds of funds only find their excellence through multi-management, which consists of integrating funds from several management companies [1]. Since each underlying fund is composed of several securities, the funds of funds are generally highly diversified. But several studies showed that funds of funds tend to be over diversified. The good management of a fund of funds would thus go through the choice of a limited number of funds, which introduces cardinality constraints during risk-return optimization process, and can generate computational problems, that we will develop in the second paragraph of this paper. Then, based on a study we published in 2014[2], we will show that it may be interesting to apply a method of clustering in the fund-of-funds optimization process. We will present our database in the third paragraph, and our results before concluding in the fourth paragraph.

## 2 Literature review on computational problems occurring during mean-variance optimization process

Mean-variance portfolio selection consists of finding a self-financing strategy whose final value has maximal mean and minimal variance [3]. To create a size-reduced funds of funds, when the initial database of funds is large, it is necessary to introduce cardinality constraints to limit the number of assets that compose the portfolio[4]. But applying portfolio-theoretic models to a large number of assets is problematic, and the optimization problem is further increased when cardinality constraints are added. For Carrasco, and Noumon [5], two difficulties may occur: the assets could be highly correlated (i.e. the population covariance matrix is nearly singular) or the number of assets could be too large relative to the sample size (i.e. the sample covariance is (nearly) singular even though the population covariance is not). The second difficulty is the one which is the most documented in the literature. Guigues [6] summarized it as follows: if the number of assets  $n$  is close to the number of available observations per asset  $T$ , then the total number of parameters to estimate is close to the total number of observations, which is problematic. This is due to the phenomenon of non-invertability of the matrix which arises when the number of assets is larger than the number of historical data periods [7]. But in addition to non-invertability, the size of the covariance matrix itself could cause error maximization. Having a large number of variance and covariance estimations, could potentially lead to estimation outliers resulting in an unbalanced portfolio [8].

Yang and Rea [9] recommended to reduce the size of an original sample of stocks by applying a PCA (Principal Component Analysis). Other authors relied on the clustering statistical technique to facilitate the process of securities selection and optimization of a fund. In this case, the aim is not to reduce the original database by keeping only the least correlated between them securities, but to classify a large group of securities into a small number of sub-groups made up of relatively homogeneous securities, thereby simplifying decision making related to these securities. ([10],[11]).

This is specifically this method that we also used in the framework of our research, in order to divide our initial (large) sample into sub-samples with identified common financial characteristics (see the first part of this study in: [2])

## 3 Data and methodology

Our study was realized on the database constituted of the monthly returns of 551 funds made of European stocks values, on the period from October 2002 to December 2007. For each fund, we calculated, in a first time, 17 performance, risk, and risk-adjusted performance indicators (among others: absolute performance, relative performance, Sharpe ratio, Treynor ratio, etc.) on a rolling basis of 3 months, 1 year, and 3 years. Our intermediate database was then constituted of 51 variables. We computed in a second time the four moments (mean, standard deviation, skewness and kurtosis) of each indicator, which witness the 204 variables of our final database.

We thus applied an ascendant hierarchical classification, with DCA<sup>1</sup> method to determine the number of classes. We retained 7 classes, each with different financial behavior (their composition is detailed in [2])

We then applied the Markowitz mean-variance optimization method on 3 datasets: the set of all 551 funds of our initial database, the set of the funds of two clusters behaving well in bullish market<sup>2</sup> (which represents 47 funds), and the set of the funds of two clusters behaving well in bearish market<sup>3</sup> (which represents 75 funds).

## 4 Results and conclusion

We named the three efficient frontiers obtained in this way:

Markowitz-Total which corresponds to the standard Markowitz model applied directly on the initial database (551 funds), Markowitz-Upcase which corresponds to the standard Markowitz model applied on the upcase data produced with clustering process (the funds of the classes

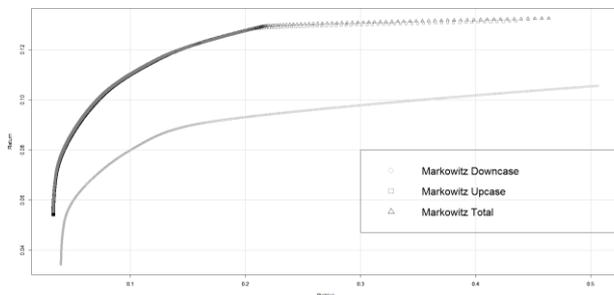
---

<sup>1</sup> Difference of Convex Algorithm

<sup>2</sup> the clusters DCA2 and DCA4 in [2]

<sup>3</sup> the clusters we named DCA3 and DCA5 in [2]

DCA2 and DCA4 which represents 47 funds) and Markowitz-Downcase which corresponds to the standard Markowitz model applied on the downcase data produced with clustering process (the funds of the classes DCA3 and DCA5, which represents 75 funds).



Graph 1 – Efficient frontiers on the series Markowitz-Total, Markowitz-Upcase and Markowitz-Downcase

We can observe that, whatever the set of funds, the number of observations (1368 daily returns between October 2002 and December 2007) is far greater than the number of funds in the optimization process (551 funds for the overall database, 47 funds in the assumption of bull market and 75 funds in the assumption of bear market. Problems of matrix inversion traditionally met in this kind of optimization, when the number of data is higher than the number of observations, do not take place in this study.

2002 to 2007 is a period of growth for economy and finance, the majority of the financial markets was bullish. It is therefore not surprising that Markowitz-Total and Markowitz-Upcase series are in close proximity to each other. Markowitz Downcase series is graphically clearly below Markowitz-Total and Markowitz-Upcase series.

Since Markowitz-Total and Markowitz-Upcase curves are very close to each other, it is visually impossible to determine if one is above the other. Since abscissas of the two curves are different, we used interpolation and integration methods to determine the extent to which the two curves differ from each other. The results showed that Markowitz-Downcase curve is below and far from Markowitz-Toral curve, and that Markowitz-Upcase curve appears below but very close to Markowitz-Total curve.

This means that, for the same level of risk, a very slightly higher level of return is obtained with a portfolio composed of the 551 funds included in the original database, than with a portfolio made up of 47 funds that behave well bull market cases. On the other hand, Markowitz-Downcase curve is clearly well below Markowitz-Total curve, which shows that the funds used to construct this efficient frontier are not adequate in a

bull market context. We thus show that it is possible to reach almost the same efficient frontier from a sample of 47 funds than from a sample of 551 funds, if the funds have been correctly selected to be in line with market expectations

However, the results of this research have an operational limit. Our method is based on market expectations, which determine the selection of funds, and it is on this selection that Markowitz's method of average-variance optimization is applied. However, since the 2007-2008 crisis, as markets are particularly disrupted, it has become even more difficult than before to create market expectations, even for financial specialists. The risk is that, if expectations prove to be wrong, to make inaccurate choices and include in the selection funds that could not in any case generate a high efficient frontier.

## References

- [1] A. Carretta and G. Mattarocci, "Funds of Funds' Portfolio Composition and its Impact on Performance: Evidence from the Italian Market," Nov. 2005.
- [2] H. A. L. Thi, P. Damel, N. Peltre, and N. T. Phuc, "The Confrontation of Two Clustering Methods in Portfolio Management: Ward's Method Versus DCA Method," in *Advanced Computational Methods for Knowledge Engineering*, Springer, Cham, 2014, pp. 87–98.
- [3] M. Schweizer, "Mean-Variance Hedging," in *Encyclopedia of Quantitative Finance*, R. Cont, Ed. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2010.
- [4] K. T. Lwin, R. Qu, and B. L. MacCarthy, "Mean-VaR portfolio optimization: A nonparametric approach," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 260, no. 2, pp. 751–766, Jul. 2017.
- [5] M. Carrasco and N. Noumon, "Optimal portfolio selection using regularization," Discussion paper, 2011.
- [6] V. Guigues, "Sensitivity analysis and calibration of the covariance matrix for stable portfolio selection," *Comput. Optim. Appl.*, vol. 48, no. 3, pp. 553–579, Apr. 2011.
- [7] M. Senneret, Y. Malevergne, P. Abry, G. Perrin, and L. Jaffres, "Covariance Versus Precision Matrix Estimation for Efficient Asset Allocation," *IEEE J. Sel. Top. Signal Process.*, vol. 10, no. 6, pp. 982–993, Sep. 2016.
- [8] R. G. Clarke, H. de Silva, and S. Thorley, "Minimum-Variance Portfolios in the U.S. Equity Market," *J. Portf. Manag.*, vol. 33, no. 1, pp. 10–24, Jan. 2006.
- [9] L. Yang, W. Rea, and A. Rea, "Stock Selection with Principal Component Analysis," University of Canterbury, Department of Economics and Finance, 15/03, Feb. 2015.
- [10] K. Marvin and S. Bhatt, "Creating Diversified Portfolios Using Cluster Analysis - Semantic Scholar." [Online]. Available: /paper/Creating-Diversified-Portfolios-Using-Cluster-Anal-Marvin-Bhatt/f2202672d7f514aa3b92df788618467611972c14. [Accessed: 25-Aug-2017].
- [11] C. D. Souza and S. Gokcan, "Allocation Methodologies and Customizing Hedge Fund Multi-Manager Multi-Strategy Products," *J. Altern. Invest.*, vol. 6, no. 4, pp. 7–22, Jan. 2004.

---

## L'e-mail marketing de la permission à la relation

---

**Hélène Yildiz**  
Helene.Yildiz@univ-lorraine.fr

IUT de Longwy, Université de Lorraine, CEREFIGE, EA 3942

### **Thème –Gestion**

**Résumé** – L'e-mail marketing<sup>1</sup> est un outil très important pour les entreprises car c'est un des moyens de communication les plus efficaces pour toucher le consommateur, et il permet des retours sur investissements relativement élevés. Toutefois, pour aboutir à des résultats satisfaisants, il nécessite une bonne maîtrise de la phase de recrutement pour développer la base de prospect et mettre en place une relation de longue durée avec ceux-ci. A partir, d'une expérimentation en trois phases, menée au sein d'une grande entreprise de presse régionale, cette étude montre que certaines conditions engendrent une plus grande permission de la part de l'internaute à l'entreprise et que certaines conditions dans lesquelles sont données la permission aboutissent à une volonté de garder une relation avec l'entreprise.

**Mots-Clés** – e-mail marketing, permission, engagement, comportement du consommateur.

---

<sup>1</sup> Nous définirons l'e-mail marketing en nous référant à la définition qu'en donne l'American Marketing Association. Celle-ci présente l'avantage d'être à la fois simple et générale. Par e-mail marketing nous entendrons « toute activité marketing réalisée via l'e-mail ». Que cette activité consiste en de la publicité, de la vente, ou enquête en ligne.

---

# Le système informationnel au secours de la logistique des catastrophes humanitaires

---

Sylvie Gerbaix<sup>1</sup> Marc Bidan<sup>2</sup> Sylvie Michel<sup>3</sup>

[Marc.Bidan@univ-nantes.fr](mailto:Marc.Bidan@univ-nantes.fr) [sylvie.michel@u-bordeaux.fr](mailto:sylvie.michel@u-bordeaux.fr) [sylvie.gerbaix@amu.fr](mailto:sylvie.gerbaix@amu.fr)

<sup>1</sup> IUT de Aix, Université de Aix Marseille  
Centre d'étude et de recherche en gestion d'Aix-Marseille

<sup>2</sup> Polytech Nantes, Université de Nantes  
Laboratoire d'économie et de management de Nantes Atlantique

<sup>3</sup> IUT de Bordeaux, Université de Bordeaux  
Institut de Recherche en Gestion des Organisations

**Thèmes** *Économie - Gestion - SHS*

**Résumé** *Cette communication a pour objet de montrer et légitimer l'apparition d'une logistique humanitaire de « plein exercice » portée par la montée en puissance des systèmes d'information. Les systèmes d'information fonctionnels sont devenus à la fois support et moteur d'une logistique dédiée au traitement des crises depuis une trentaine d'années sur de multiples terrains d'intervention. Cet article s'appuie sur une étude de cas fouillée sur une longue période et basée sur MSF Logistique à Mérignac. La démarche méthodologique est donc qualitative et ancrée terrain et le corpus théorique est double car il mobilise celui du management logistique et celui du management des systèmes d'information. Au final, nous montrons la légitimité académique et opérationnelle de la logistique dédiée à l'humanitaire forte de son couplage habile et frugal et pas automatiquement opéré en temps réel d'ailleurs - entre la SCM et les SI*

**Mots-Clés** *Logistique, Systèmes d'information, MSF, Etude de cas, Supply chain management, Management de la chaîne logistique, logistique humanitaire.*

## 1 Introduction

Cette recherche a pour origine morbide le fort séisme de janvier 2010 en Haïti (magnitude 7,2) et la curieuse idée d'étudier concrètement le cheminement de l'hôpital gonflable livré sur place en kit. Il s'agissait de suivre le travail des logisticiens de Médecins Sans Frontières (MSF) basés à Mérignac en Gironde. C'est donc au travers des remontées des acteurs de « terrain », en France ou en Haïti, approchés sur leur plateforme, de jour comme de nuit au grés des rotations, que nous avons perçus, l'importance des problématiques liées au management des systèmes d'information dans les préoccupations liées à la logistique des catastrophes humanitaires. Dans de telles conditions extrêmes, quelles données faut-il réellement collecter ? Comment les collecter et les traiter ? Comment et à qui les restituer ? Comment coupler les flux d'informations avec les flux physiques de façon à améliorer la performance de la chaîne logistique ? Comment prioriser entre l'argent et le catastrophique ?

En effet, le fait de mobiliser les ressources nécessaires, notamment en biens, en véhicules, en services, en informations, en compétences etc., au bon endroit, au bon moment, au bon destinataire, est souvent une condition sine qua non de la réussite de l'opération de sauvetage. Dès lors, la connaissance des besoins, l'évaluation des stocks existants, la modélisation des données sur zone, sont tout à la fois indispensables, mais aussi le plus souvent problématiques en raison des perturbations importantes sur les sites opérationnels des catastrophes. Ainsi, dans le cas des situations de crise humanitaire, alors même que la logistique est une question de survie, les informations indispensables aux opérations de logistique font souvent défaut.

Les interviews avec des professionnels humanitaires montrent qu'il n'y a pas de distinction claire entre les termes *logistique humanitaire* (LH) et *Supply chain management humanitaire* (SCMH). Ces termes sont utilisés de manière interchangeable.

Cette fonction englobe donc une gamme d'activités, telles que la préparation, la planification, le transport, l'approvisionnement, l'entreposage, le suivi et la localisation, et le dédouanement. De plus, la notion de logistique humanitaire intègre, pour chacune de ces activités, les informations associées aux flux logistiques et aux processus de décision.

Cependant, le découplage ou la déconnexion temporelle, spatiale et fonctionnelle entre la « base arrière » de l'action humanitaire et le site opérationnel de la catastrophe est le plus souvent très problématique.

Dès lors, la logistique de catastrophe humanitaire doit faire face à des exigences informationnelles et

organisationnelles spécifiques et impérieuses.

Le cas de MSF Logistique, illustre la recherche d'une solution simple et fiable pour répondre à ces exigences. C'est la création d'une entité logistique à la fois classique, intégrative et spécifique nommée DOSI.

## 2 L'organisation de la logistique des catastrophes humanitaires : le cas de MSF logistique à Mérignac (33).

### 2.1 Les impérieuses exigences informationnelles et organisationnelles pour la logistique des catastrophes humanitaires

Selon la Fédération Internationale des Sociétés de la Croix Rouge et du Croissant rouge, une catastrophe consiste en un événement soudain et désastreux qui perturbe gravement le fonctionnement d'une communauté ou d'une société et qui cause des pertes humaines, matérielles, économiques ou environnementales dépassant les capacités de la société ou de la communauté à faire face, à l'aide de ses propres ressources. Bien qu'étant souvent causées par la nature, les catastrophes peuvent aussi avoir une origine humaine. Cinq grandes catégories de catastrophe sont définies : naturelles (par exemple une sécheresse), hydrométéorologiques (inondations par exemple), techniques (accidents industriels tels que explosions chimiques, explosions nucléaires, etc.), géologiques (tremblements de terre), et humaine (par exemple, les épidémies et les mouvements de population).

La chaîne logistique humanitaire est mobilisée immédiatement après la survenance d'une catastrophe, dans le but de sauver des vies, de soulager la souffrance et de réduire l'impact sur la stabilité de la société. La gestion de cette chaîne logistique et sa performance sont donc au cœur des défis et enjeux de la logistique des catastrophes humanitaires.

Comme dans le cas de la logistique commerciale, il s'agit de livrer le bon produit, au bon moment, au bon endroit, au bon destinataire. Pour les logisticiens, les défis opérationnels et organisationnels étant en partie comparables, la logistique humanitaire peut tirer parti des outils, des règles et processus de la logistique classique ou commerciale. Mais, pour les humanitaires, les contraintes et les enjeux sont démultipliés, voire extrêmes. Une logistique humanitaire efficace doit être capable de répondre aussi rapidement que possible à de multiples interventions, en dépit d'un niveau d'incertitude toujours élevé. Contrairement aux logisticiens du secteur commercial, la logistique des catastrophes humanitaires est toujours confrontée à l'inconnu s'agissant notamment du temps (moment, durée), du lieu et de la gravité d'une catastrophe, en termes de personnes et de biens. Ces incertitudes sont exacerbées par les perturbations que connaissent les systèmes logistiques et

l'organisation des flux matériels et informationnels sur les sites opérationnels des catastrophes.

C'est pour répondre à ces enjeux que MSF, dans le cadre de sa stratégie globale, a conçu une entité particulière, appelée MSF logistique.

## 2.2 MSF logistique, la quête d'une organisation matérielle et informationnelle au secours des catastrophes humanitaires

Médecins sans frontières (MSF) est une association internationale, humanitaire et médicale, à but non lucratif, créée en 1971 à Paris par des médecins et des journalistes, suite au désastre humanitaire du Biafra. MSF est aujourd'hui implantée dans une vingtaine de pays. Cette Organisation non gouvernementale (ONG) apporte une assistance médicale à des populations dont la vie ou la santé sont menacées, principalement en cas de conflits armés, d'épidémies, de pandémies ou encore de catastrophes naturelles.

Pour ses missions auprès des populations, il s'agit d'organiser l'acheminement des flux matériels : aussi bien des médicaments que des produits non-médicaux (véhicules et pièces détachées, matériel de traitement de l'eau, tentes, etc.). Mais parallèlement, c'est toute une circulation d'informations qui précède et accompagne ces flux. Ainsi, les outils et services de communication sont également des maillons importants de la chaîne.

C'est pour assurer cette mission d'organisation de ces flux matériels et informationnels que MSF logistique a été créée en 1986, sous la forme d'une association à but non lucratif et à but humanitaire. Rony Brauman, ex-Président de MSF, en décrit ainsi les enjeux : « *Tout ce qui permet de communiquer, de se déplacer, de soigner, d'opérer, d'offrir hygiène, d'acheter, de distribuer de la nourriture. Voilà la logistique.* ». Le complexe logistique, développé à Bordeaux, à côté de l'aéroport, illustre l'importance des flux à organiser et gérer, résumés en quelques chiffres : une superficie totale de 82 000 m<sup>2</sup> (dont 20 000 m<sup>2</sup> de capacité de stockage avec systèmes de guidage au sol et traçabilité), 5 080 tonnes expédiées par an, 20 105 références produites pour 18 millions d'euros de stock et 130 millions d'euros de chiffre d'activités.

Une des innovations logistiques conçue par MSF pour une partie de ces flux matériels a été la création de kits, prêts à l'emploi, conçus pour différentes catégories d'urgence. Pour Rony Brauman, ex-Président de MSF : « [La logistique] c'est le royaume des kits. Kits « réfugiés », kits vaccination, kits anesthésie, kits administration, kits chirurgie... : 20 années de savoir-faire en kits prêts à être expédiés à l'autre bout du monde [1] ». D'autres kits ont été créés dont le plus connu est le kit « hôpital modulable », opérationnel en quelques heures après un déploiement technique sur le terrain.

Pour assurer ses missions, MSF Log intègre l'ensemble

des métiers de la chaîne d'approvisionnement. Selon les responsables, il s'agit de *mettre en musique* la réception de la commande depuis les centres opérationnels jusqu'à la livraison et mise en œuvre sur zone d'intervention en passant bien sûr par les étapes usuelles telles que les achats, le stockage et l'entreposage, la préparation des commandes, la palettisation, la sécurisation, les formalités de douane et de police et le transport des produits (terre, air, mer). Pour les opérations d'urgence, les commandes sont prêtes en moins de 24 heures et MSF Log est à même de livrer jusqu'à 100 tonnes de marchandises en 24h dans 40 pays ! Cette logistique humanitaire est remarquable et fait de cette structure l'une des plus performante du monde actuellement.

## 3 Conclusion autour de la DOSI de MSF

Néanmoins, les exigences, défis et contraintes sont tels que le système est toujours faillible et perfectible. Il reste une préoccupation constante des responsables.

C'est ainsi que MSF a opté pour la création d'une future Direction de l'Organisation et des Systèmes d'Information (DOSI) qui vise à réunir dans une même entité la gestion du SI (flux informationnels) et de l'Organisation (flux physiques et processus). Cette future DOSI aura pour mission de faire fonctionner cette énorme machine et de « faciliter » ses missions opérationnelles qui ne sont et ne seront jamais tout à fait anodines. Se profile ainsi, l'esquisse d'un « alignement stratégique » du SI avec les missions Logistiques de MSF. Les populations fragilisées et/ou déplacées doivent pouvoir compter sur un haut niveau de performance logistique.

L'organisation mise en œuvre emprunte aux outils classiques de la logistique mais reliés aux catastrophes.

Les problèmes demeurent récurrents en raison notamment du découplage entre sites opérationnels et « base arrière », accentués par la distance, l'urgence, les incertitudes de l'imprévu. C'est tout l'enjeu de la logistique humanitaire que d'associer réflexion stratégique, organisationnelle et systèmes d'information. Et c'est malheureusement au travers de tels contextes dramatiques que des avancées majeures sont réalisées.

## 4 Remerciements

Les auteurs expriment leur gratitude aux professionnels de *MSF logistique* notamment à la direction de la DOSI

## Références

[1] Michel S., Gerbaix S., Bidan M., (2018) *Une revue de la littérature centrée sur la logistique humanitaire entre complexité, incertitude, urgence et systèmes d'information.* Actes du Colloque de l'Association Information et Management, AIM, Montréal, mai 2018.

[2] Michel S., Bidan M., (2016) *theconversation.com/voyage-au-coeur-des-defis-nocturnes-de-msf-logistique*

---

## Quand le fournisseur libère son entreprise, quels impacts sur la relation clients ?

---

Thierry Allègre<sup>1</sup>      Nathalie Merminod<sup>2</sup>

thierry.allegre@univ-amu.fr    nathalie.merminod@univ-amu.fr

<sup>1</sup> Aix Marseille Univ, CRET-LOG, Aix-en-Provence, France

<sup>2</sup> Aix Marseille Univ, CRET-LOG/IUT Techniques de Commercialisation, Aix-en-Provence, France

**Thèmes** – *Gestion*

**Résumé** – *Depuis quelques années, le concept d'entreprise libérée, proposé par Getz (2009) se déploie dans les organisations. Cette approche questionne le management intra-organisationnel au sein de l'organisation. Dans une vision inter-organisationnelle, aucune recherche n'a été menée, à notre connaissance, sur les conséquences du processus de "libéralisation" sur la relation client-fournisseur. Dans cette recherche exploratoire, les impacts de ce processus sur la relation sont analysés, du point de vue du client qui voit son fournisseur entrer dans cette démarche. Les résultats indiquent qu'aucun changement majeur n'émerge mais que des bénéfices potentiels peuvent être identifiés à moyen terme.*

**Mots-Clés** – *Entreprise libérée, relation client-fournisseur, prestations de services*

## 1 Introduction

Depuis quelques années, la notion d'entreprise libérée se déploie timidement dans les organisations. Au-delà de la philosophie portée par le concept proposé par Getz (2009), elle questionne le management intra-organisationnel au sein de l'entreprise. Elle propose d'en finir avec l'entreprise taylorienne, pyramidale et hiérarchique et met à mal notamment les niveaux intermédiaires d'encadrement en proposant un partage des objectifs et des responsabilités. Bien que séduisante, les critiques sont nombreuses, Geuze (2015) la qualifiant même « de stratégie de communication et d'imposture ». Au-delà des querelles et des positions prises par les auteurs en faveur ou en opposition avec le concept, nous nous proposons pour notre part d'aborder une vision complémentaire, celle de l'impact que pourrait avoir la « libéralisation » d'une entreprise sur la relation avec son client, dans une approche inter-organisationnelle.

## 2 L'entreprise libérée, quels contours

### 2.1 Définition

La première utilisation du terme « entreprise libérée » apparaît dans l'ouvrage de Peters (1993), mais c'est l'ouvrage de Carney et Getz (2009) et l'article de Getz (2009) qui vont mettre en avant cette notion. La définition de l'entreprise libérée proposée est relativement floue, la notion étant définie par « ce qu'elle n'est pas », c'est-à-dire un contre-modèle à l'approche dite traditionnelle taylorienne (Getz, 2009, p.34) : « *we decided to look for the answer to this non-adoption question by narrowing down the initiative-freeing form to its radical variant, which we call F-form: an organizational form in which employees have complete freedom and responsibility to take actions that they, not their bosses, decide are best* ». L'entreprise libérée n'est alors pas définie par ses caractéristiques mais par ses « fonctions ».

### 2.2 Conditions d'adoption

Afin que ce type d'organisation soit adopté, certaines conditions apparaissent fondamentales (Carney et Getz, 2009). La première est le style de leadership, qui est nommé « liberating ». La deuxième correspond aux besoins fondamentaux relatifs à l'environnement de travail ; auto-motivation, ou besoin d'autonomie par exemple. La troisième condition porte sur la nécessité pour l'entreprise d'avoir une vision de rang mondial et la quatrième sur le fait que l'entreprise ait des valeurs similaires à des valeurs de liberté dans son histoire et son identité.

Enfin, pour que l'entreprise « se libère », quatre étapes semblent émerger (Getz, 2009 ; 2012) :

(1) : « Le démantèlement des symboles et des pratiques

qui empêchaient les salariés de se sentir égaux » mené en parallèle d'une réduction, voire d'une suppression des pratiques communes de management.

(2) : La suppression de ces pratiques doit être remplacée par la vision du leader de l'entreprise, qu'il doit partager, et la mise en place de règles de comportement partagées.

(3) : La mise en place d'un environnement favorisant l'auto-motivation, appuyé fortement par les leaders libérateurs.

(4) La préservation de cette nouvelle culture dans le temps.

### 2.3 Critiques du modèle

Plusieurs critiques émergent. La plus courante est liée à « l'effet de mode », le concept serait donc temporaire dans son déploiement, comme d'autres approches précédentes (Geuze, 2015). Plus généralement, les recherches sur les nouvelles formes organisationnelles (équipes autonomes, management par objectifs) indiquent que ce type d'organisation présente des risques et des conséquences négatives potentiels pour le salarié (Ajzen et al., 2016). Bien qu'elles portent sur la responsabilisation et l'autonomie des salariés, elles n'accroissent pas tant que cela l'autonomie mais renforcerait plutôt le contrôle et la pression sur les employés (Geary et Dobbins, 2001). Dans le cas spécifique des entreprises libérées, des formes d'exclusions peuvent parfois être observées dans le processus de libération, comme souligné par Aguilar (2016, p.52) dans le cas de l'entreprise Décathlon.

Les recherches portant sur la mise en place de cette approche, dans une vision intra-organisationnelle, semblent donc émerger depuis quelques années. Cependant, aucune recherche, à notre connaissance, n'a été menée sur une vision inter-organisationnelle, pour identifier et comprendre, par exemple, quelles pourraient être les conséquences de ce changement fort, notamment dans une relation client-fournisseur.

## 3 Étude de cas, méthodologie et résultats

### 3.1 Méthodologie et acteurs de la relation

L'étude de cas unique porte sur une relation client fournisseur dans le cas où le fournisseur décide de libérer son entreprise. Un guide d'entretien semi-directif a été élaboré avant la collecte des données (Yin, 2009). Trois entretiens semi-directifs ont été réalisés auprès de l'entreprise acheteuse, avec le responsable de la relation, entre novembre 2017 et janvier 2018. Des documents complémentaires ont été récoltés (communication média du fournisseur, documents relatifs à la relation).

L'entreprise fournisseur (F), est une filiale d'un groupe spécialisé dans la prestation de services. En 2016, elle réalise un chiffre d'affaires de plus de cent millions

d'euros. En 2011, l'entreprise F a décidé d'engager une démarche de « transformation de l'entreprise » à l'issue d'une succession de difficultés importantes (humaines et économiques), autour de deux axes : (1) revoir l'organisation (qualifiée de trop hiérarchique, trop centralisée) ; (2) prendre soin des collaborateurs en passant d'un management traditionnel fondé sur l'obéissance à une dynamique fondée sur la confiance et la liberté. Filiale d'un groupe international, l'entreprise cliente (C), est spécialisée dans la distribution de produits alimentaires auprès des points de vente d'un réseau présent sur le territoire national. C sous-traite une partie de son activité à F, notamment des prestations logistiques.

### 3.2 Résultats

La relation, établie entre les deux sociétés, qui date du début des années 90, est une relation classique entre fournisseur et donneur d'ordres. Le courant d'affaires annuel est supérieur à plusieurs millions d'euros. C évalue F de manière annuelle, comme ses autres prestataires. La persistance du référencement de F dans le temps permet de déduire que la prestation de F est qualitative en termes de service, et économiquement acceptable.

De manière qui pourrait paraître paradoxale, aucun changement n'est constaté dans la relation, entre 2011 et aujourd'hui, malgré la transformation majeure vécue par F. Aucun acteur chez C (ni le responsable de la relation, ni les équipes présentes sur les plateformes) ne fait remonter de situations liées à ce processus qui pourraient questionner la qualité ou la pérennité de la relation. La relation semble se poursuivre dans les mêmes conditions et de la même manière que précédemment. Finalement, si lors des échanges entre les équipes de direction générale le sujet n'était pas évoqué régulièrement, ce processus de transformation engagé par F semblerait « transparent » pour C.

### 3.3 Avantages et risques perçus

Les avantages perçus par cette démarche à moyen et long termes pour C sont :

- Renforcer le professionnalisme des équipes du fournisseur, par une meilleure reconnaissance des employés, par une culture d'entreprise forte ;
- Offrir de la créativité et des opportunités pour de nouveaux services/produits initiés par l'équipe du fournisseur, la démarche d'innovation étant au cœur de cette approche ;
- Accentuer la stabilité des équipes de l'entreprise engagée dans un processus de transformation.

Les risques perçus sont, par ailleurs, d'une part, le risque potentiel lié au contexte même de la relation, un processus de ce type conduit à des changements organisationnels qui peuvent se répercuter sur les comportements des individus et notamment à une

dispersion des prises de décision. Maintenir un point d'entrée stable chez le fournisseur paraît alors fondamental. Les risques peuvent également être d'ordre commercial, le fournisseur pouvant favoriser le travail avec des entreprises déployant le même modèle que lui.

## 4 Conclusion

Alors même que le modèle de l'entreprise libérée semble apporter de profonds changements intra-organisationnels pour l'entreprise qui se libère, le cas analysé ici semble indiquer une stabilité forte dans la relation client-fournisseur. Les avantages perçus par l'entreprise cliente sont nombreux et visent surtout un horizon moyen terme. Cette étude de cas présente l'intérêt de questionner les impacts potentiels sur une relation inter-organisationnelle d'un changement intra-organisationnel majeur. La limite inhérente au choix de l'étude de cas unique est que les résultats sont nécessairement circonstanciés et ne présentent donc pas de généralisation possible. Il serait intéressant d'envisager d'autres études de cas, via d'autres dyades ou l'étude des relations établies par l'entreprise F avec d'autres de ses clients. Observer l'évolution de la relation dans le temps pour voir si le processus engagé par F est contributeur d'innovation pour C est également une piste de recherche.

## Références

- Aguilar F., *Critique de la notion de « libération d'entreprise ». Analyse du cas Décathlon*, Mémoire de master, Université catholique de Louvain, 2016, 96p
- Ajzen I., *The theory of planned behaviour*, *Organizational Behavior & Human Decision Processes*, 50(2), 1991, p.179-211
- Carney, B., Getz, I., Freedom, Inc.: Free Your Employees and Let Them Lead Your Business to Higher Productivity, Profits, and Growth, *Crown Business*, 2009
- Geary, J.F., Dobbins, A., *Teamworking: a new dynamic in the pursuit of management control*, *Human Resource Management Journal*, 11(1), 2001, p.3-23.
- Getz, I., *Liberating Leadership: How the Initiative-Freeing Radical Organizational Form Has Been Successfully Adopted.*, *California Management Review*, 51(4), 2009, p.32-58
- Getz, I., *La liberté d'action des salariés : Une simple théorie, ou un inéluctable destin ?* *Annales des Mines - Gérer et comprendre*, n°108, 2012, p.27-38
- Geuze, F., *L'entreprise libérée, entre communication et imposture*, <https://www.parlonsrh.com/>, 2015
- Peters, T., *L'entreprise libérée*, Dunod, Paris, 1993
- Yin, R.K., *Case Study Research: Design and Methods*, 4th ed. Sage Publications., 2009

---

## **Pensée magique et superstition : Représentations des joueurs et non joueurs de loterie, une approche exploratoire**

---

Patrice Cottet<sup>1</sup>

patrice.cottet@univ-reims.fr

Emmanuèle Gardair<sup>2</sup>

emmanuelle.gardair@univ-reims.fr

<sup>1</sup> IUT de Troyes, Université de Reims

Laboratoire d'Economie et Gestion de Reims (REGARDS) - EA 6292

<sup>2</sup> IUT de Troyes, Université de Reims

Laboratoire d'Economie et Gestion de Reims (REGARDS) - EA 6292

**Thèmes** *Économie - Gestion - Droit*

**Résumé** *Cet article se propose d'identifier les représentations développées par des joueurs et non joueurs de loterie en intégrant l'impact de la pensée magique et de la superstition, A l'issue d'une revue de littérature soulignant le rôle et les caractéristiques de la pensée magique et de la superstition, une investigation qualitative basée sur le test projectif des phrases à compléter, menée auprès de trente-trois joueurs de loterie et vingt-six non joueurs, met en évidence les représentations des jeux de loterie. Sur la base de ces résultats, des implications managériales sont suggérées.*

**Mots-Clés** *Pensée magique, superstition, phrases à compléter.*

## 1 Introduction

La semaine comprenant un vendredi treize voit le nombre de joueurs de loto augmenter de 25%. Et lorsque le jour de jeu est un vendredi treize, ce nombre double. Comment expliquer ce comportement contraire à toutes formes de rationalité élémentaire ? Car la probabilité de gagner n'est pas augmentée par l'apparition d'un jour particulier. Pourtant, le marché mondial des jeux d'argent, est estimé pour 2020 à 635 milliards \$. Le marché français s'inscrit dans cette dynamique. Désormais, selon l'observatoire des jeux, 46 millions de français jouent à des jeux d'argent et de hasard de façon régulière ou occasionnelle et représente un marché de 45,6 milliards d'euros en 2016 (+ 30 % en 10 ans). Les mises par client ont progressé de 37 % en cinq ans et la strate des joueurs pariant plus de 1500 euros est passée de 1,8% à 7,2%. Malgré l'importance de ce marché, les travaux en marketing sur cette thématique restent embryonnaires. En effet, rares sont les recherches qui abordent ce thème. Le point commun des recherches existantes est de privilégier un cadre théorique à forte dominante cognitiviste. Si ces travaux sont utiles, ils minorent l'importance de facteurs psychiques et comportementaux moins rationnels, voire irrationnels et de processus plus inconscients tels que le recours à la pensée magique et à la superstition. Cet objectif est suggéré par Ariyabuddhiphongs [2] qui analysant vingt ans de publication sur les jeux conclut à la nécessité de cet axe. De même, Wohl [7] renforce ce constat en signalant que « très peu de recherches examinent comment les joueurs se perçoivent eux-mêmes capables d'influencer les résultats de jeux de hasard ». Sur la base d'une investigation qualitative, l'objectif de cette recherche exploratoire est d'identifier les représentations des joueurs et des non joueurs de loterie et notamment les croyances superstitieuses. Dans un premier temps, nous mettrons en évidence les principaux ancrages théoriques relatifs à notre thème d'investigation. Dans un deuxième temps, nous présenterons notre méthodologie et les principaux résultats qui en découlent. Enfin, la conclusion soulignera les implications managériales, les limites et voies de recherche.

## 2 Pensée magique et superstition

Les premières études concernant la pensée magique et la superstition relèvent de l'anthropologie. Ces travaux font référence à la superstition comme à un sous-produit de la pensée magique. Par exemple, Frazer [5] s'intéresse au dysfonctionnement de la pensée logique à l'œuvre dans la magie et distingue la magie homéopathique qui obéit à la « loi de similitude » et la magie contagieuse qui fonctionne avec la « loi de contact ». Lévy-Bruhl [6] définit cette pensée par le

recours au mystique ; elle s'oppose en cela à la pensée scientifique. Si la pensée magique est un fait social total, la superstition est une modalité plus localisée du champ des croyances. La superstition découle de la pensée magique et se caractérise par son objectif de contrôle de l'environnement. Si la superstition a été relativement bien étudiée dans le domaine du sport, il n'en va pas de même dans le domaine du marketing consacré aux jeux.

## 3 Dimensions, fonctions et mesure de la superstition

L'échelle de superstition proposée par Delacroix et Guillard [3] est composée de cinq dimensions. Ang, Lai et Leong [1], de leur côté, ont identifié trois éléments qui permettent de caractériser une superstition : sa valence, son accessibilité, et sa pertinence. Enfin, une échelle de superstition, prédisant l'attitude superstitieuse de participants d'un tirage à la loterie a également été proposée par Fluke, Webster, Saucier [4]. Le constat qui résulte de ces travaux est qu'aucune échelle récente en langue française ne semble pour l'instant constituer un instrument fiable de mesure de la superstition prenant en compte le besoin de contrôle chez les joueurs.

## 4 Collecte des données

Compte tenu de la difficulté à évoquer le recours à un comportement superstitieux traduisant un manque de contrôle, recueillir des données sur ce domaine impose d'utiliser des démarches de collectes indirectes. Aussi, nous avons retenu l'approche projective. Plus précisément, pour éviter que le consommateur ne se décrive directement, c'est l'outil des phrases à compléter qui est privilégié ici. Après test, dix-neuf phrases sont proposées. L'échantillon est constitué de 33 joueurs de réguliers de loterie et de 26 non joueurs aux profils très diversifiés.

## 5 Résultats

Deux types d'analyse ont été réalisés : une analyse à l'aide du logiciel Alceste et une analyse thématique à l'aide d'une grille d'analyse de contenu élaborée par les chercheurs à la lecture de l'ensemble du corpus. Trois classes sont identifiées. La première classe représente 80,37 % des uce classées et concerne le thème des attitudes face au jeu (« réfléchir » : 25 occurrences, <sup>2</sup> = 4, entretien 44 : « Réfléchir à la somme jouée et ne pas la dépasser ») et les jugements de valeurs qui lui sont associés (« inutile » : 15 occurrences, <sup>2</sup> = 3, entretien 42 : « se demander si cela sert vraiment à quelque chose »). La seconde classe (10,43% des uce classées) correspond aux représentations de la chance (« bonne étoile » 10 occurrences, <sup>2</sup> = 63, uci 32 : « il faut croire à sa bonne

étoile ») et aux pratiques superstitieuses comme le fait de croiser les doigts qui entretiennent l'illusion de pouvoir contrôler le hasard. Cette classe montre aussi que le recours à des pratiques superstitieuses est conscient alors que la superstition est souvent présentée comme un mécanisme inconscient. Enfin, la troisième classe (9,20 % des uce analysées) évoque la dimension de l'argent (33 occurrences,  $2=5$ , entretien 5 : « c'est tenter sa chance de gagner beaucoup d'argent, suffisamment pour toute sa vie »). Cette classe recouvre la dimension ambivalente de la relation au jeu d'argent. L'analyse thématique des corpus révèle la prééminence de la référence aux croyances en la chance et à diverses superstitions. Ces deux thèmes représentent dans les deux cas le tiers du corpus. Ces croyances s'opposent au processus rationnel. Les individus évoquent ensuite la dimension temporelle. Les références à l'argent, qu'il s'agisse des mises ou des gains et pertes potentielles, sont aussi très présentes ainsi que la référence aux stratégies de jeu. Enfin, la référence à la dimension affective concerne principalement les émotions suscitées par le jeu (« envie, plaisir, espoir, désespoir...») qui fait écho à la recherche d'expériences. Les individus évoquent également la dimension d'opportunité que représente la loterie. Les verbatim renvoient aussi au processus de contrôle et au risque inhérent au jeu, à l'addiction possible. L'analyse permet de distinguer le corpus des joueurs par la présence de quatre dimensions spécifiques : fictionnelle, ludique, relative à la manière de jouer et sociale. La dimension fictionnelle renvoie aux rêves et aux espoirs suscités par le jeu (« rêver, imaginer, se projeter dans le temps »). On note également la référence à la dimension hédonique du jeu, correspondant au plaisir de jouer. Elle apparaît comme une motivation du passage à l'acte de jouer. Les évocations de la manière de jouer (« être serein, sûr...») et de la dimension sociale sont également spécifiques des joueurs. La superstition est également davantage présente dans le discours des joueurs à travers un nombre d'occurrences moyen par individu plus élevé (3,03 vs 2,46). A propos des croyances en la chance, les joueurs sont plus volubiles que les non joueurs (4,54 vs 3,92 occurrences moyennes).

## 6 Discussion et implications managériales

L'analyse du discours de joueurs et non joueurs de loterie met en évidence différents éléments de la représentation des jeux de loterie. Ces résultats relativisent les cadres théoriques traditionnels qui valorisent une approche à dominante cognitiviste et enrichissent la compréhension de mécanismes irrationnels peu accessibles directement. Sur le plan managérial, ces résultats identifient et justifient les leviers que peuvent actionner les parties prenantes du secteur des jeux. Par

exemple, convaincre les joueurs réguliers de ne pas s'engager dans une pratique intensive et d'éviter les addictions s'inscrit dans la logique d'un marketing responsable. Cette recherche exploratoire comporte des limites qui sont autant de voies de recherche futures. Du fait de la focalisation sur la loterie, la validité externe est réduite. En effet, la diversité de l'offre de jeux rend illusoire un simple transfert entre jeux. Il serait également fructueux de comparer les profils de joueurs off line/on line/off et online. S'interroger sur le lien illusion de contrôle / superstition constitue une voie théorique à explorer. Si l'utilisation des phrases à compléter s'est révélée riche, d'autres tests projectifs permettraient de déceler des dimensions de la superstition peut-être non saisies dans le présent travail. Par ailleurs, le recours à un échantillon de convenance réduit la portée du travail. Il conviendrait de prolonger ce travail exploratoire par une démarche quantitative tel qu'un protocole expérimental.

## Références

- [1] Ang S. H., Lai W. K. et Leong S. M. (2014), The Effects of Superstition on Choice and Latency, *Psychology and Marketing*, 31, 1074-1083.
- [2] Ariyabuddhipongs V. (2011), Lottery gambling: A review, *Journal of Gambling Studies*, 15-33.
- [3] Delacroix E. et Guillard V. (2012), La superstition : définition et mesure, *Revue Française du Marketing*, 239, 30-48.
- [4] Fluke S. M., Webster R. J. et Saucier D. A. (2014), Methodological and theoretical improvements in the study of superstitious beliefs and behavior, *British Journal of Psychology*, 105, 102-126.
- [5] Frazer, J. G. (1890/1977), *Le cycle du rameau d'or*, Paris, Gallimard.
- [6] Lévy-Bruhl, L. (1922). *La mentalité primitive*, Paris, PUF.
- [7] Wohl M.J A. (2008), Croyance en soi chanceux : effet de la croyance en la chance personnelle sur l'émergence et le maintien des conduites de jeu de hasard et d'argent, *Psychologie Française*, 53, 7-23.

---

## Vers davantage de convivialité en magasin

### Un exemple de marketing expérientiel dans le commerce de la librairie

---

Carole Poirel<sup>1</sup>

Manon Cardinal<sup>2</sup>

Cécile Dunand<sup>3</sup> ..... Jessica Ray<sup>4</sup>

Carole.poirel@univ-amu.fr manon.cardinal@etu.univ-amu.fr cecile.dunand@etu.univ-amu.fr  
jessica.ray@etu.univ-amu.fr

<sup>1</sup> IUT, Aix-Marseille Université

Aix Marseille Univ, CRET-LOG, Aix-en-Provence, France

<sup>2,3,4</sup> IUT, Aix-Marseille Université

Département Métiers du livre et du patrimoine, Aix-en-Provence, France

#### Thèmes –Gestion

**Résumé** – *Le présent article contribue à la réflexion conduite à l'heure actuelle dans les milieux professionnels sur l'avenir des librairies indépendantes. Si celles-ci rencontrent des difficultés désormais bien identifiées, elles disposent également de ressources et compétences leur permettant d'innover, dans la lignée du marketing expérientiel, dans des formats de magasins reposant sur la convivialité. Prenant comme terrain d'appui une librairie-salon de thé renommée à Aix-en-Provence, nous avons cherché à comprendre, à travers des entretiens semi-directifs auprès de clients, quelles pouvaient être leurs motivations et attentes. Nos résultats mettent en évidence l'importance du magasin comme source d'expérience et de création de lien social pour les clients ainsi que la diversification de l'assortiment comme stratégie gagnante pour la librairie indépendante.*

**Mots-Clés** – *innovation commerciale, assortiment, librairie, commerce, marketing expérientiel.*

## 1 Introduction

Alors que la librairie indépendante pourrait paraître dans l'opinion commune totalement dépassée par Amazon, elle résiste en France grâce à la loi sur le prix unique du livre mais également grâce à la capacité d'innovation commerciale des libraires [1]. Parmi les innovations qui semblent bien fonctionner à l'heure actuelle, se trouve la diversification de l'assortiment par ajout de services complémentaires aux rayons livres, de type boissons et restauration légère, destinés à créer une atmosphère conviviale [2]. Nous livrons dans cet article les résultats d'un travail portant sur ce type de stratégie commerciale. Il a été réalisé par des apprenties libraires dans le cadre de leur projet tuteuré de licence professionnelle spécialisée librairie à l'IUT d'Aix-Marseille.

## 2 Enjeux marketing et stratégies du commerce de la librairie

Les difficultés rencontrées par les librairies indépendantes ont bien été identifiées [3] : recul du livre et de la lecture au profit des écrans ; concurrence des hypermarchés et des grandes surfaces spécialisées dans les loisirs de type Fnac (outre la Fnac, anciennement Virgin, Espace Culturel Leclerc et Cultura) ; poids des charges inhérentes au commerce de proximité de centre-ville (loyers et transport) ; rentabilité structurellement faible et aléatoire tenant aux fondamentaux du métier de libraire (assortiment diversifié, présence d'un personnel qualifié dans la surface de vente pour renseigner et conseiller à la demande des clients, programme d'animation propre au commerce culturel dans une cité).

Pourtant, malgré ces difficultés, les librairies indépendantes continuent de représenter plus de 20% des parts de marché à côté des hypermarchés, des GSS de type Fnac et de la vente en ligne [4]. Cette résistance est le résultat d'une innovation commerciale qui est allée dans le sens du commerce connecté alliant web et point de vente physique d'une part [5] et de la diversification de l'assortiment d'autre part [6]. C'est sur ce deuxième aspect que se focalise cet article, avec des services complémentaires à la librairie tenant au café, salon de thé, bar, snack ou restaurant.

Certes, l'alliance des nourritures terrestres aux nourritures intellectuelles n'est pas nouvelle et remonte au 19<sup>ème</sup> siècle avec les « salons de lecture ». Mais sur la période contemporaine, depuis la création de Cap&Lan en 1993 en Bretagne à Guimaëc, les librairies café, salon de thé, bar ou restauration se sont multipliées. Alors que la vente en ligne fait florès, nous convoquons dans cet article un retour vers les points de vente et leur capacité à se différencier par le ré-enchantement de l'expérience vécue en magasin [7]. Le marketing expérientiel vise ainsi

à valoriser l'expérience de magasinage du consommateur de manière à rendre le contexte d'achat le plus gratifiant possible. En d'autres termes, la librairie n'est pas seulement une source d'approvisionnement en livres pour le consommateur mais également un moyen de faire une pause, de s'accorder une détente solitaire ou un moment de partage entre amis ou en famille voire de créer du lien social avec les personnes présentes dans le lieu par exemple au moment d'une animation programmée par les libraires. On peut se demander dans quelle mesure cette source d'expérience est susceptible de générer un chiffre d'affaires voire un bénéfice supplémentaires, salutaires à ce commerce si fragile économiquement parlant.

## 3 Eléments de méthodologie

La librairie Book in Bar se présente comme une librairie internationale vendant des livres en anglais et en français ainsi que dans d'autres langues sur une centaine de m<sup>2</sup> (allemand, espagnol, chinois, russe, etc.). Située à Aix-en-Provence dans le quartier Mazarin, elle est proche du musée Granet et du centre d'art Caumont mais un peu plus éloignée de l'hyper-centre commercial de la ville. La librairie représente 85% de l'activité, et la partie salon de thé, les 15% restants avec des pâtisseries qui ne sont pas faites sur place mais achetées auprès d'un prestataire spécialisé. Book in Bar dispose d'un site Internet informant les clients des dernières parutions et du programme d'animation et qui permet également d'acheter des ouvrages en ligne avec l'option retrait en magasin (sous trois jours) ou bien avec l'option livraison à domicile (moyennant frais postaux en lettre prioritaire à 2,60 € ou en colissimo à 6,45€ ou 8,10€).

Après autorisation des responsables, nous avons procédé à 23 entretiens effectués à des moments différents de la semaine et de la journée, auprès de clients installés au salon de thé ou bien en train de regarder les livres sur les tables ou dans les rayons, seul ou entre amis ou bien encore en famille. Nous voulions en effet refléter une variété de situations d'achat. La grille d'entretien a reposé sur trois principaux thèmes : i) les usages du lieu (librairie seulement ou salon de thé seulement ou bien encore les deux combinés et de quelle manière) ; ii) les pratiques d'achat de livres en général (pratiques multicanal ou attachement à la librairie indépendante) ; iii) la satisfaction globale des clients et leurs suggestions d'amélioration.

Nous avons ainsi enregistré au total près de 6 heures d'entretiens, donnant lieu à une quarantaine de pages de discours retranscrites (marges normales, times new roman 12, interligne 1,5). Une analyse de contenu thématique a été réalisée manuellement, sans aide de logiciel [8]. Le codage a été effectué conjointement au cours de deux séances réunissant les participantes à l'enquête sur un

mode de type « *brain storming* ».

#### 4 Principaux résultats et discussion

Le principal résultat de notre enquête de terrain peut être résumé dans ces deux chiffres : alors que 68% des clients interrogés sont entrés dans la librairie-salon de thé dans l'intention de profiter uniquement du salon de thé, 67% des clients interrogés ont acheté des livres au cours de leur visite. Bien entendu, ceux qui ont acheté des livres, avaient également l'intention initiale de le faire. Mais ces deux chiffres soulignent tout de même l'impact favorable sur les ventes de livres de l'adjonction d'un espace de petite restauration. Cela signifie que la présence d'un espace de restauration est propice à la vente de livres. Le fait de marquer une pause ou un temps d'arrêt dans une vie dense et rythmée plaît aux clients qui viennent au départ boire un thé et déguster une pâtisserie et qui repartent avec un livre. Suivant le marketing expérientiel, les clients quittent les lieux gratifiés par un bénéfice hédoniste et symbolique. Et pour le point de vente, tout laisse à penser que le concept permet d'élargir la clientèle et de générer un chiffre d'affaires supplémentaire.

L'atmosphère générale produit un effet incitatif à l'achat de livres. Celle-ci est générée par l'aménagement du lieu, les assortiments et le concept en lui-même. Les clients en ont témoigné en termes d'« *aspect british et cosy de la décoration* », de « *cocon où se reposer* », de « *lieu intime et calme où il fait bon se poser pour profiter d'un moment hors du temps* ». De plus, l'assortiment livres fondé sur la multi-culturalité appelle une clientèle cosmopolite, ce qui ouvre des possibilités, vraisemblablement plus importantes encore que dans une autre librairie-café, d'échanges et de rencontres.

#### 5 Conclusion

Notre travail présente un certain nombre de limites dont celle en particulier inhérente au cas choisi, Book In Bar à Aix-en-Provence. En effet, cette librairie fonctionne sur un modèle économique spécifique adjoignant un salon de thé à la vente spécialisée de livres étrangers majoritairement anglo-américains. D'autres modèles de librairies existent sur le concept de convivialité [2] : fonction du type d'assortiment (généraliste, généraliste avec spécialité, spécialisé, anciens et occasion), fonction du type de restauration (café, salon de thé, bar, espace de restauration, restaurant), fonction de l'importance de la restauration par rapport à la librairie (accessoire, importante, majoritaire ; faite sur place ou livrée en partenariat avec des prestataires). Notre travail pourrait être continué sur une échelle plus vaste pour aboutir à une typologie des différents business-model existants. Enfin, les aspects économiques et financiers pourraient venir compléter les aspects marketing à travers, justement, la notion de business-model [9]. Qu'en est-il en effet de

l'impact véritable de ces concepts commerciaux sur la rentabilité ? Car il s'agit bien pour des libraires d'appréhender un autre métier que le métier de libraire, de se former ou de s'adjoindre par le biais d'un recrutement de salariés ou de nouveaux associés les compétences nécessaires. L'investissement matériel est également requis quand il s'agit de faire évoluer une librairie existante vers ce type de concept commercial (aménagement de l'espace de vente, changements architecturaux, acquisition de nouveaux matériel et mobilier, etc.). Si le concept commercial permet d'augmenter le chiffre d'affaires, qu'en est-il *in fine* de la rentabilité globale ? L'activité supplémentaire permet-elle réellement d'améliorer la rentabilité de la librairie située parmi les plus faibles de tous les commerces [10] ?

#### Références

- [1] François Rouet, *Le livre une filière en danger ?*, La documentation Française, 4<sup>e</sup> édition, Paris, 2013.
- [2] Agence Régionale du Livre PACA, *Les librairies café, guide pratique*, disponible sur <http://fill-livrelecture.org/publication-la-librairie-autrement-les-librairies-cafes-arl-paca/> (Consulté le 10/02/2018)
- [3] Vincent Chabault, *Vers la fin des librairies ?*, La Documentation française, Collection Doc' en poche, 2014.
- [4] Collectif, *Chiffres clés de la culture et de la communication, édition 2017*, La Documentation française, Mai 2017.
- [5] Régine Vanheems, « Distribution multicanal : vers une évaluation du rôle du vendeur dans l'intégration des canaux de distribution », *Revue Française du Marketing*, n°223, p. 53-65, 2009
- [6] ObSoCo, *Les clients de la librairie indépendante : mieux les connaître pour mieux les fidéliser*, étude réalisée pour le compte du Syndicat de la Librairie Française (SLF), Paris, 2013
- [7] Patrick Hetzel, *Planète conso : Marketing expérientiel et nouveaux univers de consommation*, Éditions d'Organisation, Paris, 2002.
- [8] Laurence Bardin, *L'analyse de contenu*, Presses Universitaires de France, Paris, 2013 (1<sup>re</sup> édition : 1998)
- [9] Lecocq Xavier, Demil Benoît, Warnier Vanessa, « Le business model, un outil d'analyse stratégique », *L'Expansion Management Review*, n°123, p. 96-109, 2006.
- [10] Xerfi, *La situation économique et financière des librairies indépendantes*, Rapport pour le compte du Ministère de la Culture et de la Communication et le Syndicat de la Librairie Française, Paris, 2011.

# Energie / Environnement

# Génération d'onde sphérique par la technique du Compressed Balloon

---

Jérémy Alloul

Mame William-Louis

jeremy.alloul@univ-orleans.fr mame.william-louis@univ-orleans.fr

IUT de Bourges, Orléans Université  
Laboratoire PRISME, A4229

**THÈMES** – *Énergie - Informatique - Mathématiques*

**RÉSUMÉ** – *Une nouvelle méthode de résolution des équations d'Euler (conservation de la masse, de l'énergie et de la quantité de mouvement) est utilisée pour générer et propager des ondes de détonation. Il s'agit de la méthode Conservative Element/Solution Element, ou CE/SE. Cette nouvelle méthode ne distingue plus l'espace et le temps et considère ce dernier comme une dimension. Le but de ces trois années est dans un premier temps de développer un programme Fortran de ce schéma numérique en une dimension. Nous validerons ce programme à la fois par des solutions analytiques et par des expériences à l'échelle réduite des ondes incidentes de détonation. Dans un deuxième temps, nous développerons un solveur 3D basé sur le CE/SE, et nous tenterons de la même manière de valider les simulations au travers d'expériences.*

**MOTS-CLÉS** – *CFD, Schéma CE/SE, Equations d'Euler, Onde de détonation.*

## 1 Introduction

La méthode CE/SE est une méthode peu utilisée et pourtant extrêmement efficace de résolution des équations de conservation. Elle a été développée pour la première fois en 1993 pour la NASA par Sin-Chung Chang [1].

La principale différence entre un solveur basé sur cette méthode et un autre basé sur la méthode de Riemann consiste à considérer le temps comme étant une dimension, et donc à ne pas séparer l'espace et le temps.

Notre objectif est de concevoir un code de calcul capable de générer des simulations insensibles au CFL, des conditions aux limites de type non réflexives et enfin, capable de gérer facilement l'implémentation d'une nouvelle équation d'état pour le gaz.

Nous allons ici vous présenter la théorie du modèle CE/SE en une dimension et quelques résultats que nous avons obtenus en programmant ce schéma numérique, en nous servant d'un tube à choc comme exemple.

## 2 Description du CE/SE 1D

### 2.1 Théorie

L'équation d'Euler s'écrit :

$$\frac{\partial u_m}{\partial t} + \frac{\partial f_m}{\partial x} = S_m; m = 1, 2, 3 \quad (1)$$

Où  $u$  et  $f$  contiennent respectivement les termes des équations de continuité, de bilan de quantité de mouvement et de bilan d'énergie, et  $S$  représentant les termes sources, dépendant de  $u$ . Le terme de gauche est assimilé à un gradient.

$u$  et  $f$  peuvent s'exprimer au travers de développement de Taylor à l'ordre 2 :

$$u_m^*(x, t; j, n) = (u_m)_j^n + (u_{mx})_j^n(x - x_j) + (u_{mt})_j^n(t - t^n) \quad (2)$$

$$f_m^*(x, t; j, n) = (f_m)_j^n + (f_{mx})_j^n(x - x_j) + (f_{mt})_j^n(t - t^n) \quad (3)$$

Où les termes en  $u_m$  et  $f_m$  sont des constantes au point d'espace  $j$ , au temps  $n$ .

Pour simplifier les choses, on suppose que le terme source est nul.

On pose comme résultat, non démontré ici, que, d'une part :

$$\iint \nabla h^* dS = \int h_m^* dS = 0 \quad (4)$$

Et que, d'autre part :

$$\int h_m^* dS = \psi_m(x', t'; j, n) - \psi_m(x, t; j, n) = 0 \quad (5)$$

Où  $\psi$  est une fonction potentielle s'exprimant en fonction de  $u$  et  $f$ .

Ces équations reviennent à dire que l'intégrale sur un contour fermé est nulle. La solution recherchée au point

$j$  et au temps  $n$  s'exprime donc au travers des points en  $j+1/2$  et  $j-1/2$  au temps précédent,  $n-1/2$ . Finalement, pour un problème posé sur une seule dimension spatiale et en considérant également le temps comme une dimension. on raisonne sur une surface,

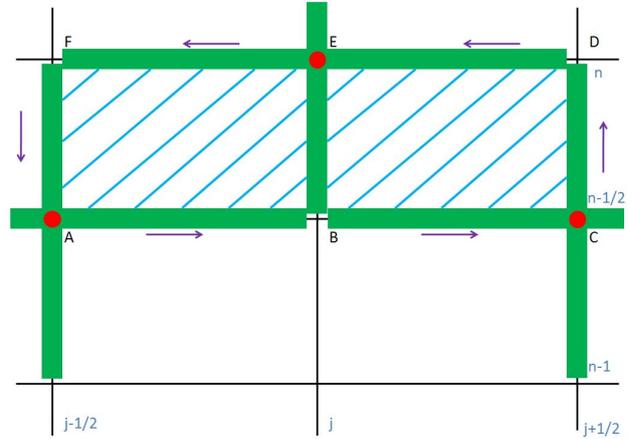


FIGURE 1 – Schéma CESE

Ce schéma explique le principe du schéma CE/SE. Les Conservatives Elements  $CE_-(j, n)$  et  $CE_+(j, n)$  se trouvent hachurés en bleu respectivement à gauche et à droite. Ces CE sont entourés par les trois Solution Elements  $(j - \frac{1}{2}, n - \frac{1}{2})$ ,  $(j, n)$  et  $(j + \frac{1}{2}, n - \frac{1}{2})$  de gauche à droite. L'intégrale sur un contour fermé étant nulle, cela revient à dire que la somme des  $\psi_m$  (équation 5) des points B, D et F appartenant aux différents SE est nulle. On obtient ainsi le schéma numérique explicite suivant, qui exprime  $u$  au point  $j$ , au temps  $n$ , en fonction des valeurs au temps  $n-1$  :

$$(u_m)_j^n = \frac{1}{2} \left[ (u_m)_{j-\frac{1}{2}}^{n-\frac{1}{2}} + (u_m)_{j+\frac{1}{2}}^{n-\frac{1}{2}} + (s_m)_{j-\frac{1}{2}}^{n-\frac{1}{2}} - (s_m)_{j+\frac{1}{2}}^{n-\frac{1}{2}} \right] \quad (6)$$

Où :

$$(s_m)_j^n = \frac{\Delta t}{\Delta x} (f_m)_j^n + \frac{(\Delta t)^2}{4\Delta x} (f_{mt})_j^n + \frac{\Delta x}{4} (u_{mx})_j^n \quad (7)$$

Ceci est une première partie de l'expression du schéma numérique, il reste à exprimer le gradient en  $x$  de  $u$ . Ce gradient peut s'exprimer de différentes manières, et c'est ce qui fait la force du CE/SE. Nous ne présentons pas ici ce développement.

Nous finirons cette partie par la condition de stabilité de ce schéma. Cette condition est celle du Courant-Friedrichs-Lewi, ou CFL. Elle s'exprime par :

$$\Delta t = \frac{CFL \times \Delta x}{u \pm c} \quad (8)$$

## 2.2 Validation

Grâce au schéma modifié par Sin-Chung Chang [2], on peut prouver que la simulation est insensible au CFL :

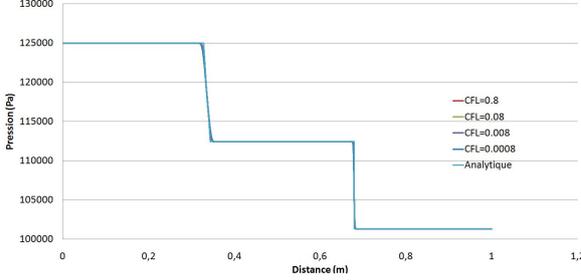


FIGURE 2 – Insensibilité au CFL et comparaison à l'analytique

La figure 2.2 présente la distribution de la pression sur une distance de 1 m, dans un tube à choc. Le principe du tube à choc est le suivant : une chambre à haute pression à gauche est séparée d'une chambre à basse pression à droite par une membrane. A  $t=0$ , la membrane est supprimée. Une onde de détente se propage alors vers la gauche tandis qu'une onde de compression se propage vers la droite. Ici, la simulation a été réalisée pour quatre CFL différents. On remarque que les quatre courbes sont superposées, ce qui signifie que le schéma est insensible au CFL. De plus, les courbes de la simulation sont raisonnablement proche de la courbe analytique, qui est la solution exacte. Pour le cas d'une détonation, il faut nous placer en symétrie sphérique en ajoutant les termes sources suivants :

$$S_1 = \frac{-2}{r} \rho v + S_\rho \quad (9)$$

$$S_2 = \frac{-2}{r} \rho v^2 + S_{\rho v} \quad (10)$$

$$S_3 = \frac{-2}{r} (\rho e + p)v + S_{\rho e} \quad (11)$$

Les termes  $S_\rho$ ,  $S_{\rho v}$  et  $S_{\rho e}$  sont des possibles termes sources de masse et/ou d'énergie et peuvent inclure des effets de diffusion.

Ces termes sources transforment le schéma numérique et ce dernier devient alors un problème raide : le terme  $(u_m)_j^n$  que l'on cherche s'exprimera en fonction d'un terme source  $S$ , lui-même fonction du terme  $(u_m)_j^n$ . On utilise alors la méthode de Newton-Raphson pour résoudre ce problème.

La table 1 illustre la génération d'une détonation par 0.635g de TNT et sa propagation à différents instants. La comparaison des pics de pression obtenus avec les mesures de Mills dans le papier de Benselama et al. [3] montre une bonne concordance.

TABLE 1 – Comparaison des pressions

Temps (ms)	$P_{num}$ (Pa)	$P_{exp}$ (Pa)	Erreur (%)
0.6	404290	405300	0.2
1	123737	117320	5
1.5	115216	114497	0.6

## 3 Conclusions

Dans un premier temps, la théorie du schéma CE/SE en une dimension a été étudiée. Nous avons programmé ce schéma en Fortran en le complexifiant au fur et à mesure, en nous servant d'un tube à choc comme exemple. Nous avons adimensionné nos paramètres, puis nous avons implémenté différentes conditions aux limites telle qu'une paroi fixe, inexistante, ou une condition aux limites de type non-réfléctive. Nous avons cherché à rendre notre schéma insensible au CFL. Nous avons également ajouté les termes sources, ce qui change la méthode de résolution des équations : le problème devient alors raide.

## Références

- [1] Sin-Chun Chang. New Developments in the Method of Space-Time Conservation Element and Solution Element - Applications to the Euler and Navier-Stokes Equations. 106226 :1–5, 1993.
- [2] Sin Chung Chang. COURANT NUMBER AND MACH NUMBER INSENSITIVE CE / SE EULER SOLVERS. 41st AIAA / ASME / SAE / ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit 11-13 July 2005 Tucson, Arizona, (July), 2005.
- [3] Adel M. Benselama, Mame J.P. William-Louis, and François Monnoyer. A 1D-3D mixed method for the numerical simulation of blast waves in confined geometries. *Journal of Computational Physics*, 228(18) :6796–6810, 2009.

# Commande non linéaire robuste destinée à un parc hydrolien connecté à un réseau de forte puissance

---

Fabien Oculi<sup>1</sup>

Fabienne Floret<sup>1</sup>

Homère Nkwawo<sup>1</sup>

fabien.oculi@edu.univ-paris-13.fr fabienne.floret@univ-paris13.fr homere.nkwawo@univ-paris13.fr

<sup>1</sup> IUT, Université Sorbonne Paris Cité Paris 13  
Département Génie Électrique et Informatique Industrielle Villetaneuse  
Équipe 2ASD: Automatique Appliquée aux Systèmes Dynamiques

**THÈMES** – *Automatique - Génie Électrique - Mathématiques appliquées*

**RÉSUMÉ** – *Le présent article propose une commande non linéaire pour les systèmes de conversion hydrolien en configuration multimachine. Notre objectif est de garantir la stabilité en régime établi d'un système hydrolien tout en tenant compte des effets d'interconnexion entre les génératrices synchrones. Il est nécessaire pour cela de réguler la fréquence, la puissance et la tension aux bornes de chaque machine afin d'assurer leur connexion au réseau. Par la simulation, nous vérifions que notre système régulé rejette bien des perturbations sévères d'ordre électrique et mécanique. Les résultats montrent que les dynamiques des vitesses angulaires, des puissances et des tensions aux bornes des deux machines obtenues avec notre Régulateur Multimachine Décentralisé par Backstepping (RMDDB) présentent des propriétés de robustesse et de stabilité supérieures à celles obtenues avec un régulateur linéaire conventionnel: Automatic Voltage Regulator - Power System Stabilizer (AVR-PSS).*

**MOTS-CLÉS** – *Commande Non-linéaire Robuste, Backstepping, Stabilité des Systèmes Dynamiques, Hydroliennes.*

## 1 Introduction

Le développement récent de parcs hydroliens nous a incité à nous intéresser à la conception de régulateur robuste permettant de maintenir une tension et une fréquence constantes en cas de court-circuits sur les lignes de transmission ou de perturbations mécaniques sur les turbines. Jusqu'à présent, les régulateurs conventionnels tels que les AVR-PSS, garantissent la stabilité en régimes transitoire et permanent mais leur conception basée essentiellement sur une approximation linéaire autour de point de fonctionnement peut entraîner une déstabilisation du réseau suite à de fortes perturbations sur celui-ci. Pour pallier à ces inconvénients, des lois de commandes avancées non-linéaires basées sur les critères de stabilité au sens de Lyapunov ont été développées telles que le mode glissant [1], la linéarisation par retour d'état [2], le backstepping [3]. Ce travail est une extension au cas multimachine du régulateur par backstepping conçu dans la configuration monomachine [4].

## 2 Modèle d'état non linéaire du système hydrolien multimachine

Le comportement du  $i^{eme}$  sous-système est régi par ces trois équations différentielles non linéaires apparaissant dans [2]. :

$$\begin{cases} \dot{x}_{1i} = x_{2i} \\ \dot{x}_{2i} = \underbrace{-\frac{D_i}{M_i}x_{2i} + \frac{\omega_s}{M_i}P_{m_i}}_{\varphi_2(x_{1i}, x_{2i})} + \underbrace{\left(-\frac{\omega_s}{M_i}\right)}_{\psi_2(x_{1i}, x_{2i})} \cdot x_{3i} \\ \dot{x}_{3i} = \underbrace{-\frac{1}{T'_{do}}x_{3i} + \gamma_{ij}}_{\varphi_3(x_{1i}, x_{2i}, x_{3i})} + \underbrace{\frac{I_{q_i}}{T'_{do}}}_{\psi_3(x_{1i}, x_{2i}, x_{3i})} \cdot u_i \end{cases}$$

où  $x_i = [x_{1i} \ x_{2i} \ x_{3i}]^T \triangleq [\delta_i \ \omega_i \ P_{e_i}]^T$  et

$$\gamma_{ij} = \sum_{\substack{j=1 \\ \neq i}}^n E'_{q_i} \dot{E}'_{q_j} B_{ij} \sin \delta_{ij} + \sum_{\substack{j=1 \\ \neq i}}^n \omega_{ij} E'_{q_i} E'_{q_j} B_{ij} \cos \delta_{ij} + \omega_i \frac{E'_{q_i} V_s}{x_{d_i}} \cos \delta_i \quad (1)$$

L'indice  $i$  indique la  $i^{eme}$  machine interconnectée à la  $j^{eme}$  machine. L'équation Eq.(1) est le terme d'interconnexion entre les génératrices synchrones connectées au réseau de forte puissance. L'expression générale de la tension terminale s'exprime en fonction de la force électromotrice  $E'_{q_i}$  et des courants  $I_{d_i}$  et  $I_{q_i}$  comme suit :

$$V_{t_i} = \sqrt{(x_{d_i} I_{q_i})^2 + (E'_{q_i} - x_{d_i} I_{d_i})^2} \quad (2)$$

dans l'hypothèse où  $x_{q_i} = x_{d_i} = x'_{d_i}$ . La force électromotrice  $E'_{q_i}$  n'étant pas une variable d'état de notre sous-système et n'étant pas mesurable, nous construisons algébriquement

la tension terminale  $V_{t_i}$  en fonction de  $P_{e_i}$ , variable d'état mesurable. Après calcul, l'Eq.(2) devient :

$$V_{t_i} = \left\{ \left( \frac{x_{d_i} V_s}{x_{d_s i}} \right)^2 + \left( \frac{x_{d_s i}}{V_s} \right)^2 \left[ \lambda_i^2 + x_{d_i}^2 \sum_{\substack{j=1 \\ \neq i}}^n B_{ij} \right] P_{e_i}^2 (1 + \cot^2 \delta_i) + 2\lambda_i x_{d_i} \sum_{\substack{j=1 \\ \neq i}}^n |P_{e_i}|_{max} + 2x_{d_i} P_{e_i} \left( \lambda_i + x_{d_i} \sum_{\substack{j=1 \\ \neq i}}^n B_{ij} \right) \cot \delta_i \right\}^{1/2} \quad (3)$$

avec  $\lambda_i = 1 + x_{d_i} B_{ii}$ .

## 3 Objectifs de régulation

Le principe du régulateur proposé associé au  $i^{eme}$  sous-système est illustré sur la Figure 1 et les objectifs de régulation sont énumérés ci-dessous.

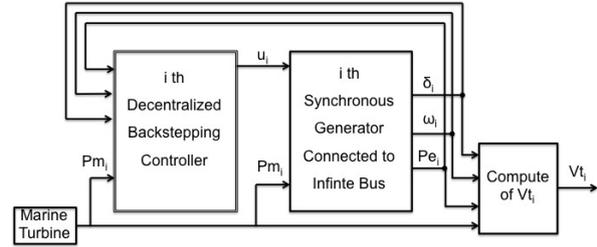


FIGURE 1 – Structure de la régulation non linéaire proposée

- La fréquence du réseau doit être maintenue à 50 Hz.
- La tension  $V_{t_i}$  aux bornes de la  $i^{eme}$  machine doit converger vers la tension nominale du réseau (1 p.u).
- Les perturbations électrique et mécanique sévères doivent être rejetées le plus rapidement possible.

La convergence de la tension terminale  $V_{t_i}$  est conditionnée par la convergence de l'angle de puissance  $\delta_i$  vers sa valeur de référence  $\delta_{i_{ref}}$  qui est la trajectoire désirée garantissant la stabilité de notre système non linéaire. Elle est obtenue par résolution de l'Eq.(3) pour  $V_{t_i} = 1$  per-unit (p.u).

## 4 Conception de la loi de commande par backstepping

La procédure de conception du régulateur par backstepping du  $i^{eme}$  sous-système est synthétisé ci-dessous et détaillé dans [4].

**Étape 1 :** Calcul de la première loi de contrôle virtuelle.

$$\alpha_1(x_1) = -c_1 z_1 \quad c_1 > 0$$

telle que la fonction de Lyapunov et sa dérivée sont :

$$V_1 = \frac{1}{2} z_1^2 \quad \dot{V}_1 = z_1 \cdot \dot{z}_1 \leq 0$$

**Étape 2 :** Calcul de la seconde loi de contrôle virtuelle.

$$\alpha_2(x_1, x_2) = -\frac{z_1 + c_2 z_2 + \varphi_2(x_1, x_2) - \dot{\alpha}_1}{\psi_2(x_1, x_2)} \quad c_2 > 0$$

telle que la fonction de Lyapunov et sa dérivée sont :

$$V_2 = V_1 + \frac{1}{2}z_2^2 \quad \dot{V}_2 = \dot{V}_1 + z_2 \cdot \dot{z}_2 \leq 0$$

**Étape 3** : Calcul de la loi de commande  $u_i$ .

$$u_i = -\frac{c_3 \cdot z_3 + \varphi_3(x_1, x_2, x_3) + \psi_2(x_1, x_2) \cdot z_2 - \dot{\alpha}_2}{\psi_3(x_1, x_2, x_3)} \quad c_3 > 0$$

telle que la fonction de Lyapunov et sa dérivée sont :

$$V_3 = V_2 + \frac{1}{2}z_3^2 \quad \dot{V}_3 = \dot{V}_2 + z_3 \cdot \dot{z}_3 \leq 0$$

L'expression de la loi de commande à implémenter peut s'exprimer en fonction des variables d'états comme ci-dessous.

$$u_i = \frac{T'_{doi}}{I_{qi}} \left\{ \left[ \frac{\omega_s}{M_i} c_1 + \frac{M_i}{\omega_s} (1 + c_1 c_2) c_3 \right] (\delta_i - \delta_{iref}) + \left[ \frac{M_i}{\omega_s} (1 + c_1 c_2) + \left( c_3 - \frac{D_i}{\omega_s} \right) \left( c_1 + c_2 - \frac{D_i}{M_i} \right) + \frac{\omega_s}{M_i} \right] \omega_i - \left( c_1 + c_2 + c_3 - \frac{D_i}{M_i} \right) (P_{ei} - P_{mi}) + \frac{1}{T'_{doi}} P_{ei} - \gamma_{ij} \right\} \quad (4)$$

Les performances du système dépendent des paramètres de réglages du régulateur,  $c_1, c_2$  et  $c_3$ , qui sont strictement positifs. Remarquons qu'il faut nécessairement avoir  $I_{qi} \neq 0$  pour assurer le pilotage des machines en évitant le décrochage de celles-ci.

## 5 Résultats de simulation

Le test de robustesse est illustré par la Figure 2 suivante :

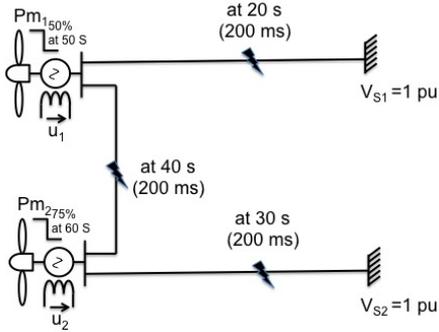


FIGURE 2 – Localisation des courts-circuits et perturbations mécaniques du système hydrolien à deux machines.

Les réponses temporelles obtenues pour la deuxième génératrice, mais non illustrées sont similaires à la première génératrice puisque les hydroliennes présentent sensiblement les mêmes caractéristiques électriques et mécaniques. Nous remarquons que les pics de surintensités apparaissant aux moments des court-circuits sont élevés avec l'AVR-PSS alors qu'ils n'apparaissent pas ou sont très atténués avec le régulateur non linéaire.

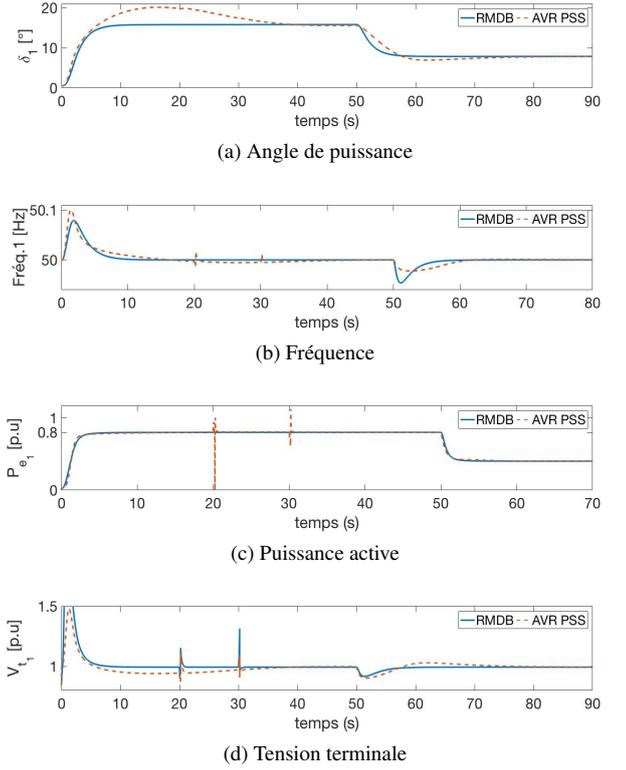


FIGURE 3 – Test de robustesse sur GEN1

## 6 Conclusions

Notre régulateur non linéaire par backstepping montre clairement des performances supérieures en régime permanent que le régulateur linéaire. De plus, il suffit d'ajuster à notre guise trois paramètres  $c_1, c_2$  et  $c_3$  pour améliorer la rapidité, la stabilité et la précision de notre système.

## Références

- [1] M Dansoko, H Nkwawo, B Diourté, F Floret, R Goma, and G Kenné. Robust multivariable sliding mode control design for generator excitation of marine turbine in multimachine configuration. *Electrical Power and Energy Systems*, 63 :423–428, 2014.
- [2] Y Guo, David J. Hill, and Youyi Wang. Nonlinear decentralized control of large-scale power systems. *Automatica*, 36(9) :1275–1289, 2000.
- [3] J Zhou and C Wen. *Adaptive Backstepping Control of Uncertain Systems*, volume 372 of *Lecture Notes in Control And Information Sciences*, page 228. Springer, 2008.
- [4] F Oculi, F Floret, H Nkwawo, R Goma, and M Dansoko. Robust nonlinear backstepping controller for a tidal stream generator connected to a high power grid. *JECM Energy7 conference*, 4 :22–27, 2017.

---

## Étude expérimentale de l'allumage laser de poudres propulsives à risque atténué

---

Léo Courty<sup>1</sup>

[leo.courty@univ-orleans.fr](mailto:leo.courty@univ-orleans.fr)

Philippe Gillard<sup>1</sup>

[philippe.gillard@univ-orleans.fr](mailto:philippe.gillard@univ-orleans.fr)

Jean-François Lagrange<sup>1</sup>

[jf.lagrange@gmail.com](mailto:jf.lagrange@gmail.com)

<sup>1</sup> IUT de Bourges, Université d'Orléans  
Laboratoire PRISME, EA 4229

**Thème** – Énergie

**Résumé** – *Le développement de poudres propulsives dites à risque atténué, encouragé par la mise en sécurité des biens et des personnes lors de la manipulation, du transport et du stockage de ces poudres, peut entraîner des problèmes d'allumage lors de leur utilisation. L'allumage par laser apparaît comme un procédé prometteur pour pallier cette perte de sensibilité. Ce travail expérimental propose d'étudier l'allumage et la combustion de deux poudres commerciales, principalement composées de deux matériaux classiquement utilisés dans ce domaine : nitrocellulose et RDX. L'allumage se fait à l'aide d'une diode laser. L'étude est faite pour différentes pressions initiales, différentes puissances du laser et sous deux atmosphères gazeuses : azote et argon. Les énergies donnant une probabilité d'allumage de 50 % sont également étudiées. Les résultats sont présentés pour les deux poudres et comparés. L'azote apparaît comme un inhibiteur de combustion pour ce type de matériaux et la poudre à base de nitrocellulose est plus réactive que celle à base de RDX.*

**Mots-Clés** – combustion, nitrocellulose, RDX, MURAT.

## 1 Introduction

Les poudres propulsives sont une famille de matériaux énergétiques, matériaux dans lesquels sont inclus à la fois comburant et combustible. Leurs décompositions, sous forme de réactions d'oxydo-réductions, libèrent de grandes quantités de gaz en un temps très court, utilisées sous forme de travail mécanique pour propulser un projectile. L'amélioration de la sécurité dans les phases logistiques (transport, stockage) d'utilisation de ces poudres a permis le développement ces dernières années de poudres dites à risque atténué. Ces nouvelles poudres entrent dans le cadre des munitions à risque atténué (MURAT). Ces nouveaux matériaux présentent une probabilité d'initiation intempestive (accidentelle ou criminelle) beaucoup plus faible et la violence de la réaction et les dommages collatéraux sont limités comparés aux poudres classiques. En revanche, ces matériaux sont également plus difficiles à amorcer avec les dispositifs d'amorçage conventionnels. L'étude de leurs comportements à l'allumage est donc fondamentale. L'étude présentée dans cet article repose sur un allumage laser par dépôt d'une énergie thermique à la surface du matériau énergétique à l'aide d'une diode laser. Ce mode d'allumage est une alternative aux dispositifs d'initiation pyrotechniques conventionnels, permettant de déposer une quantité d'énergie suffisante pour compenser la perte de sensibilité. De plus, l'allumage laser permet une localisation précise du point d'allumage et peu de pertes thermiques, ce qui contribue également à l'amélioration de la sécurité. Les pionniers de l'allumage laser sur des matériaux énergétiques sont Brish et al. [1] mais cette technique fait toujours l'objet de nombreux travaux de recherche [2]. Deux types de poudres ont été étudiés dans ce travail, l'une à base de nitrocellulose et l'autre principalement composée de RDX (1,3,5-trinitrohexahydro-s-triazine). Ces deux composés sont des explosifs qui, mélangés à d'autres constituants, peuvent former des poudres propulsives à risque atténué. Nous avons récemment publié [3,4] séparément l'allumage et la combustion de ces deux types de poudre. L'objet de cette étude est de comparer leur comportement.

L'étude détaillée de la combustion des poudres propulsives présente donc un intérêt majeur en balistique intérieure, aussi bien pour la performance des systèmes que pour la sécurité des biens et des personnes. Le dispositif expérimental ainsi que les matériaux utilisés sont présentés dans la deuxième partie. La troisième partie est consacrée à la présentation des principaux résultats et à leurs discussions.

## 2 Dispositif expérimental et matériaux

Les expériences ont été conduites à base de deux types de poudres. La première (appelée P1) est sous forme de

grains cylindriques et est composée de nitrocellulose (~98 %) et de diphénylamine (~1,2 %). Leurs longueurs, masses et diamètres moyens sont respectivement de 11,4 mm, 355 mg et 5,4 mm, chaque cylindre étant perforé de 7 trous. Deux photos des poudres à base de nitrocellulose sont présentées sur la Figure 1.



Figure 1 – Photos de la poudre à base de nitrocellulose P1.

La deuxième poudre, appelée P2, est également sous forme de grains cylindriques perforés de 7 trous et est composée de RDX (~84 %) et d'un liant (~16 %), lui-même principalement composé de PBHT (polybutadiène hydroxytéléchélique). Les longueurs, masses et diamètres moyens sont respectivement de 3,8 mm, 26 mg et 2,7 mm. Des photos prises au microscope électronique à balayage (MEB) de cette poudre sont présentées sur la Figure 2.

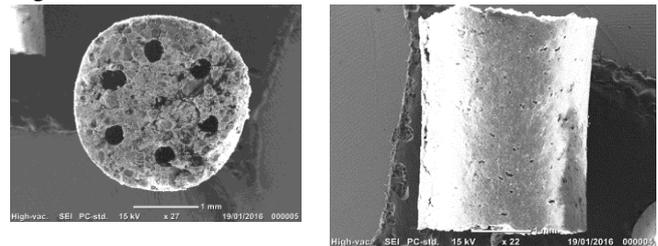


Figure 2 – Images MEB de la poudre à base de RDX P2.

Ces deux matériaux énergétiques sont des poudres propulsives commerciales fournies par ArianeGroup.

Le dispositif expérimental utilisé se compose d'un réacteur cylindrique (diamètre interne 55 cm<sup>3</sup>) en acier inoxydable couplé à une diode laser (Coherent, 808 nm), d'un système optique et d'un capteur de pression (Kistler 603B). Ce dispositif est schématisé sur la Figure 3. Une fibre optique transporte le faisceau laser jusqu'au système optique pour former une tâche de 1,25 mm de diamètre.

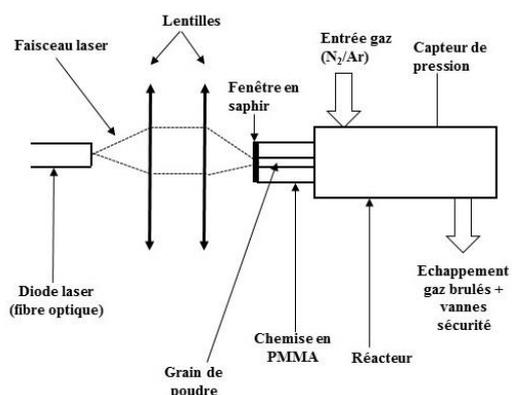


Figure 3 – Schéma du dispositif expérimental utilisé.

Une expérience se déroule de la manière suivante : un grain de poudre est placé dans une chemise en PMMA, cette chemise est placée dans le réacteur qui est fermé par une fenêtre en saphir. Une pression initiale est appliquée, une impulsion laser est envoyée et la pression est enregistrée s'il y a allumage. Deux atmosphères gazeuses pour la pressurisation initiale ont été étudiées, azote et argon, et les pressions variées entre 10 et 70 bars pour les deux gaz. Les durées d'impulsion laser peuvent être modulées, ainsi que la puissance du laser en changeant le courant de la diode. Cinq puissances ont été étudiées : 1,43, 2,86, 5,00, 6,42 et 9,95 W.

Les surpressions et délais d'allumage sont déduits du signal de pression pour chaque tir. Les probabilités d'allumage en fonction de l'énergie déposée sont étudiées pour différentes puissances du laser. Les énergies donnant une probabilité d'allumage de 50 % ( $E_{50}$ ) sont étudiées avec la méthode de Langlie modifiée [5]. Les valeurs  $E_{50}$  sont ainsi obtenues à l'issue de 20 à 30 tirs.

### 3 Résultats et discussions

Les résultats présentés ici concernent les délais d'allumage ( $t_i$ , Figure 4), les surpressions ( $\Delta P$ , Figure 5) et les énergies d'allumage ( $E_{50}$ , Figure 6) pour les deux poudres et les différentes conditions d'étude. Toutes ces données ont été obtenues avec une pression initiale de 50 bars. On remarque sur la Figure 4 que le délai d'allumage diminue avec l'augmentation de la puissance laser pour les deux poudres et quelle que soit l'atmosphère gazeuse. L'effet de l'atmosphère est d'ailleurs très faible sur ce paramètre. Les  $t_i$  sont plus faibles pour P1 que pour P2, la poudre à base de nitrocellulose est donc plus réactive que celle à base de RDX. Les délais sont inférieurs d'environ 50 ms pour P1 quelle que soit l'atmosphère.

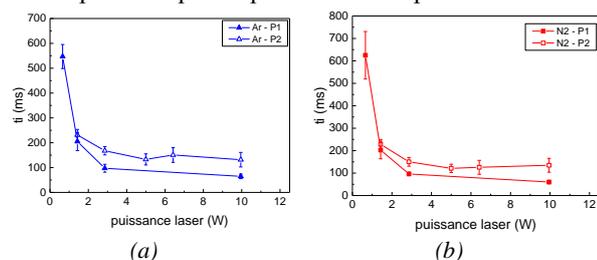


Figure 4 – Délais d'allumage en fonction de la puissance laser sous argon (a) et azote (b).

Les surpressions présentées sur la Figure 5 sont divisées par la masse initiale du comprimé. On remarque cette fois que la puissance du laser n'a que peu d'effet sur les surpressions obtenues. En revanche, l'atmosphère gazeuse joue un rôle important sur les  $\Delta P$ , celles-ci étant supérieures dans l'argon. Le fait que l'azote soit un inhibiteur de combustion pour ce type de matériaux a déjà été plusieurs fois remarqué [3,4]. La vitesse de combustion peut être estimée en dérivant  $\Delta P$  par rapport

au temps, on constate comme précédemment que la poudre à base de nitrocellulose est environ deux fois plus réactive que celle à base de RDX.

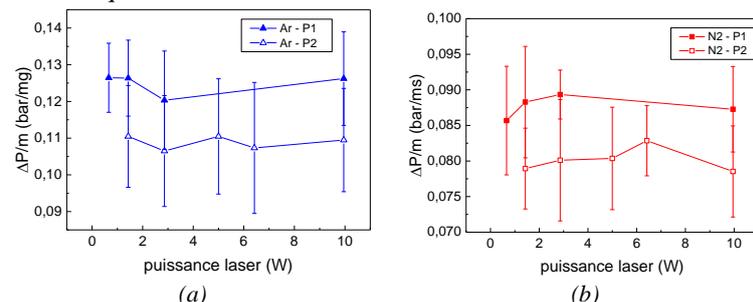


Figure 5 – Surpressions en fonction de la puissance laser sous argon (a) et azote (b).

On remarque sur la Figure 6 l'existence d'une puissance limite à 3 W au-delà de laquelle il faut plus d'énergie pour allumer la poudre à base de RDX, et plus d'énergie pour allumer celle à base de nitrocellulose en-deçà.

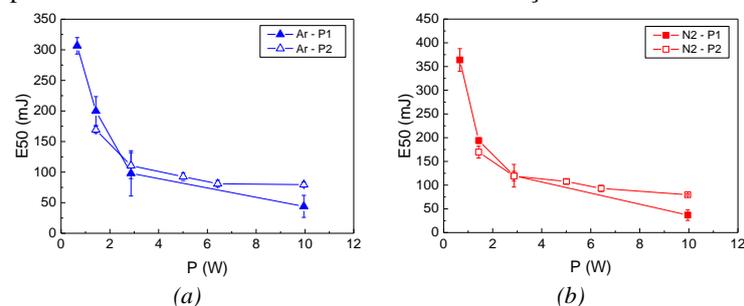


Figure 6 –  $E_{50}$  en fonction de la puissance laser sous argon (a) et azote (b).

### 4 Conclusions

L'allumage laser de poudres MURAT est prometteur. De futures études permettront avec des poudres non-commerciales (composition complète connue) d'étudier en détails leur allumage et le mode de combustion.

### 5 Remerciements

Les auteurs remercient ArianeGroup pour la fourniture des poudres propulsives. Cette étude fait partie du projet LILOVEM financé par la Région Centre-Val de Loire.

### Références

- [1] A.A. Brish, I.A. Galeev, B.N. Zaitsev et al., *Mechanism of initiation of condensed explosives by laser radiation*, Combustion, Explosion and Shock Waves, 5, 1969, p. 326-328.
- [2] D.N. Herreros, X. Fang, *Laser ignition of elastomer-modified cast double-base (EMCDB) propellant using a diode laser*, Optics & Laser Technology, 89, 2017, p. 21-26.
- [3] P. Gillard, L. Courty, S. De Persis et al., *Combustion properties of a low-vulnerability propellant: an experimental and theoretical study using laser ignition*, Journal of Energetic Materials 2018 In Press, DOI: 10.1080/07370652.2018.1439126
- [4] L. Courty, J.F. Lagrange et al., *Experimental study on laser ignition of low vulnerability propellant based on nitrocellulose*, 26<sup>th</sup> ICDERS, Boston, Etats-Unis, 2017.
- [5] GTPS, *Méthode statistique, approche dichotomique*, Groupe de Travail de la Pyrotechnie Spatiale, Document N° 11E, 1993.

---

## Removal of Humidity by Ionic Liquid Filter to Protect Gas Sensors

---

Xueru Yan<sup>1</sup>, Alexandre Favard<sup>2</sup>, Jean-Luc Seguin<sup>2</sup>, Marc Bendahan<sup>2</sup>,  
Stéphane Anguille<sup>1</sup>, Philippe Moulin<sup>1</sup>

xueru.yan@centrale-marseille.fr alexandre.favard@im2np.fr jean-luc.seguin@im2np.fr  
marc.bendahan@im2np.fr stephane.anguille@univ-amu.fr philippe.moulin@univ-amu.fr

<sup>1</sup> IUT, Aix-Marseille Université

Laboratoire de Mécanique, Modélisation & Procédés Propres, UMR 7340

<sup>2</sup> IUT, Aix-Marseille Université

Institut Matériaux Microélectronique Nanosciences de Provence, UMR 7334

**Thèmes** – *Environnement - Électronique*

**Résumé** – *Air quality has become a hot issue of common concern, particularly BTEX gases (Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylene). They often cause serious environmental problems and have negative effect on human health even at very low concentration. Gas sensors have been in use for monitoring flammable as well as toxic gases. Since a few years, metal oxide gas sensor are also used to the control and monitor the air quality The detection of gaseous pollutants under real conditions requires working in a humid environment. It is well known that the humidity reduces the performances of gas sensors, particularly in terms of sensitivity. In this work, we demonstrated the possibility to reduce the humidity impact on a metal oxide sensor by using ionic liquid-based filter, without modification of the sensor sensitivity.*

**Mots-Clés** – *ionic liquid based filter, VOCs gas sensor, humidity removal.*

## 1 Introduction

With the development of society and the advancement of technology, human demand on the environment has gradually gone beyond the bearing capacity of the environment. Air quality has become a hot issue of common concern, particularly BTEX gases (Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylene). They often cause serious environmental problems and have negative effect on human health even at very low concentration. Since a few years, metal oxide gas sensors are used to control and monitor the air quality. It is well known the performance of metal oxide gas sensors is influenced by relative humidity [1]. In this work, we demonstrated the possibility to reduce the humidity impact on a metal oxide sensor using an ionic liquid-based filter, without modification of the sensor sensitivity.

## 2 Materials and Methods

### 2.1 Ionic liquid based filter

Ionic liquids (ILs) are salts which form liquid phase at room temperature. More importantly, these are endowed with excellent solvating ability and can be recycled [2]. In this study, the 1-butyl-3-methylimidazolium bromide ( $[Bmim^+][Br^-]$ ) [3] is selected as absorbent due to its high viscosity hygroscopic properties and availability. The innovation of this filter is to capture the water vapor from a mix of gases without impacting the target gases [4].

### 2.2 Gas Sensor

The gas sensor is composed of a sensitive layer of tungsten trioxide ( $WO_3$ ) thin film (50 nm) deposited by reactive RF magnetron sputtering on a transducer developed in IM2NP laboratory [5].

The  $WO_3$  is a n-type metal oxide with a large gap and oxygen vacancies and its conductivity depends on the composition of the surrounding gas atmosphere.

The sensor response under BTEX vapors was calculated using the relation (1):

$$\text{Sensor response (\%)} = \left( \frac{R_{\text{air}} - R_{\text{gas}}}{R_{\text{gas}}} \right) \times 100 \quad (1)$$

With  $R_{\text{air}}$ , the sensor's resistance under air and  $R_{\text{gas}}$ , the sensor's resistance under BTEX vapors.

### 2.3 Test bench for electrical characterization under target gases and humidity

We used a fully automated test bench specially designed for the BTEX gases detection in the presence of different humidity levels. It is composed of a gas dilution and humidification system that generates an output mixture at very low concentrations (1 to 500 ppb) with a variable humidity (0 to 90%), an integrated test cell and an

acquisition system to characterize the electrical responses of the sensor.

## 3 Results and Discussion

### 3.1 Influence of humidity on sensor response

To study the humidity influence on the sensor response, the gas sensor was exposed at 500 ppb of BTEX under dry air and wet air (relative humidity 50%). With the figure 1 shown, under dry air, the sensor response is 24%. When the introduction of 50% relative humidity in mixture gas, the sensor response is reduced to 12%. As some studies reported that humidity leads to a decrease of the sensor response [6, 7].

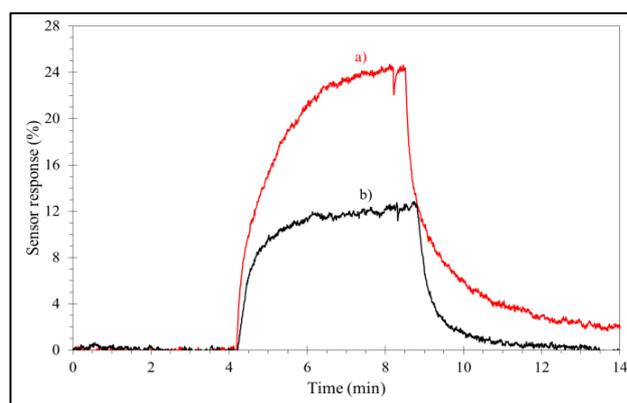


Figure 1 - Sensors response to 500 ppb of BTEX, a) in dry air (0 %), b) in wet air (50 % RH)

### 3.2 Influence of filters to sensor under dry air

It is important that the addition of a filter upstream of the sensor does not disturb its response. We therefore studied the sensor response under identical conditions (HR 0%, BTEX: 500ppb) initially without filter and then with filter.

We first designed a filter composed by a mixture of active carbon (AC) and ionic liquid (IL), to capture humidity. However, when we placed this filter upstream the sensor, sensor response decreased to 12% (fig.2a) compared to sensor response without filter (fig.2b).

It means that this filter has an influence on gas sensor response. In order to understand this problem, we renewed the experiment with a first filter based only on pure activated carbon and then with a second filter based only on ionic liquid. With the AC filter, the sensor response decreased to 12% (fig.2c), which is the same as the response of mixed IL-AC filter.

However, when only the IL filter was placed upstream the sensor, the response to 500 ppb of BTEX remains 25% (fig.2d). Based on this experiment we can conclude that the IL filter does not capture BTEX gases. For the next experiments we choose this filter configuration (IL filter only).

It is well known that AC can remove VOCs from a gas

mixture, as already reported in the literature [8, 9]. Because of the overwhelming physical adsorption mechanisms, active carbon with large surface area and rich pore structure shows high adsorption capacity to VOCs. Furthermore, the presence of chemical functional groups on AC surfaces makes it a good adsorbent for VOCs through chemical adsorption mechanisms. When the [Bmim<sup>+</sup>][Br<sup>-</sup>] was exposed on wet air, it was found that it caught water vapors because the anions of IL ([Br<sup>-</sup>]) and water molecules form H-bonding [10].

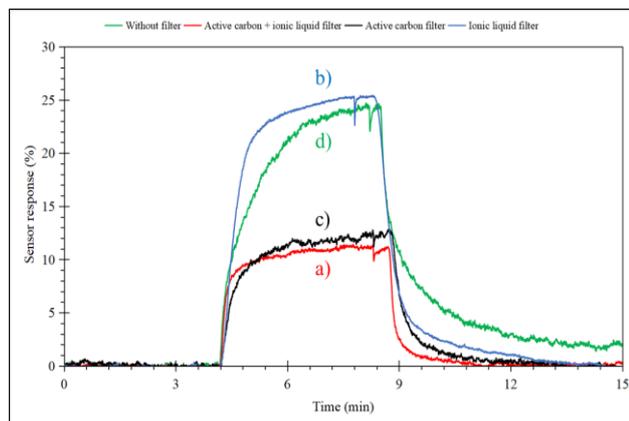


Figure 2 - Compared response to 500 ppb of BTEX with different filters under dry air (0 % HR, 100 sccm)

### 3.3 Influence of ionic liquid filter on sensor response under wet air

To reduce the humidity influence on the sensor response, according to last experiment, we placed an IL filter upstream the sensor, and the sensor was exposed to 500 ppb of BTEX with 50% relative humidity.

In figure 3, we can observe that with or without IL filter, the sensor response remains 25%. Hence, with this filter, the gas sensor keeps its performances, even under 50% of relative humidity.

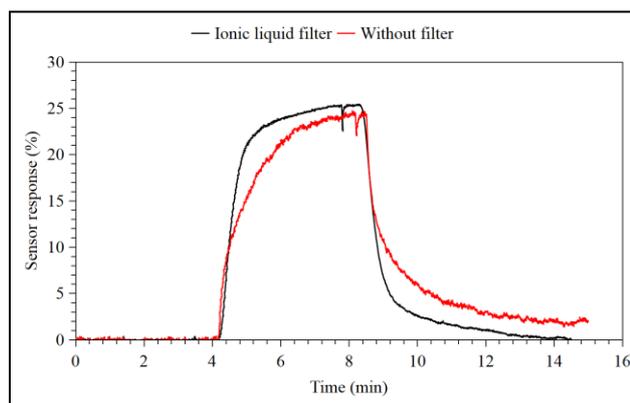


Figure 3 - Sensors response under 500 ppb of BTEX, a) in dry air (0 % RH), b) wet air (50 % RH) with ionic liquid filter

## 4 Conclusions

In this work, we proposed a new solution to protect gas sensors from humidity. We confirmed that with an IL filter, which is comprised by [Bmim<sup>+</sup>][Br<sup>-</sup>], on upstream can reduce the influence on gas sensor. We also demonstrated that the ionic liquid filter does not disturb BTEX detection.

## 5 Acknowledgment

The author wishes to thank Mr. Alain COMBES for technical support throughout this work.

## References

- [1] C. Wang, L. Yin, L. Zhang, D. Xiang, R. Gao, *Metal Oxide Gas Sensors: Sensitivity and Influencing Factors*, Sensors vol 10, 2010, p. 2088 – 2106
- [2] M.H. Ibrahim, M.Hayyan, M.A.Hashim, A. Hayyanm, *The role of ionic liquids in desulfurization of fuels: A review*, Renewable and Sustainable Energy Review, 2016
- [3] P.L.A. Alviz, A. J. Alvarez, *Comparative life cycle assessment of the use of an ionic liquid ([Bmim][Br]) versus a volatile organic solvent in the production of acetylsalicylic acid*, Journal of Cleaner Production, 2017
- [4] Anguille S., Testa F., Moulin P., *Device for extraction of pollutants by multichannel tubular membrane*, EP 14306002.8, 2016, EP2015/064462
- [5] A. Favard, T. Contaret, K. Aguir, A. Dumas, M. Bendahan, *Highly Sensitive WO<sub>3</sub> Thin Films Integrated on Microsensor Platforms for ppb BTEX Detection in a Gas Mixture with High Rate of Humidity*, Proceeding IEEE Sensor, 2017
- [6] Q Qi, T. Zhang, X. Zheng, H. Fan, L. Liu, R. Wang, Y. Zeng, *Electrical response of Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-doped SnO<sub>2</sub> to C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> and effect of humidity interference*, Sensors and Actuators B, vol 134, 2008, p. 36 – 42
- [7] R. Ionescu, A. Vancu, C. Moise, A. Tomescu, *Role of water vapour in the interaction of SnO<sub>2</sub> gas sensors with CO and CH<sub>4</sub>*, Sensors and Actuators B, vol 61, 1999, p. 39 – 42
- [8] X. Zhang, B. Gao, A. E. Creamer, C. Cao, Y. Li, *Adsorption of VOCs onto engineered carbon materials: A review*, Journal of Hazardous Materials, vol 338, 2017, p. 102-123
- [9] Y. Long, S. Wu, Y. Xiao, P. Cui, H. Zhou, *VOCs reduction and inhibition mechanisms of using active carbon filler in bituminous materials*, Journal of Cleaner Production, vol 181, 2018, p. 784 - 793
- [10] E.P. Grishina, L.M. Ramenskaya, M.S.Gruwdev, O.V. Kraeva, *Water effect on physicochemical properties of 1-butyl-3-methylimidazolium based ionic liquids with inorganic anions*, Journal of Molecular Liquids, vol 177, 2013, p. 267 - 272

---

## Mise au point de modèles réduits de la consommation énergétique en exploitation des bâtiments pour la contractualisation de Contrats de Performance Energétique

---

Aymeric Novel<sup>1,2</sup>  
anovel@terao.fr

Francis Allard<sup>2</sup>  
[francis.allard@univ-lr.fr](mailto:francis.allard@univ-lr.fr)

Patrice Joubert<sup>2</sup>  
Patrice.joubert@univ-lr.fr

<sup>1</sup> TERA0, 21 rue de Paradis, 75 010 Paris

<sup>2</sup> LaSIE, Université de La Rochelle, Av. Michel Crépeau, 17043 La Rochelle cedex 1

**Thèmes** – Bâtiment, Énergie.

**Résumé** – *La gestion de l'énergie des bâtiments en phase exploitation fait apparaître le fait que la consommation énergétique est fortement impactée par les usages du bâtiment, souvent en décalage par rapport aux données contractuelles initiales. Pour les bâtiments performants, on peut même observer une décorrélation partielle de la consommation vis-à-vis du climat, au profit d'une corrélation forte avec les usages. La variabilité des usages au cours de la vie d'un bâtiment nécessite de pouvoir quantifier à priori l'influence de facteurs variés. Si l'approche Simulation Thermique Dynamique est appropriée à de telles études, elle n'est cependant pas transposable à une approche métier pour les prestataires énergéticiens et des modèles « réduits » doivent être recherchés. La méthodologie proposée dans cet article repose sur l'utilisation de la méthode des plans d'expérience pour construire un modèle polynomial de la consommation d'énergie d'un bâtiment en fonction des paramètres d'usage.*

**Mots-Clés** – Contrat de performance énergétique, plans d'expérience, Usages, Simulation thermique dynamique.

## 1 Introduction

La gestion de l'énergie des bâtiments en phase exploitation fait apparaître le fait que la consommation énergétique est fortement impactée par les usages du bâtiment, souvent en décalage par rapport aux données contractuelles initiales, et en particulier du fait du comportement des occupants (Vorger, [1]).

Il est donc primordial de prévoir la consommation énergétique réelle des bâtiments en phase exploitation, en particulier dans le cas de Contrats de Performance Energétiques (CPE), qui constituent un outil de maîtrise du risque sur la consommation énergétique pour un périmètre donné. Traditionnellement, le CPE intègre les risques non maîtrisés par les prestataires sous la forme d'un modèle réduit appelé « l'équation d'ajustement » liée à la corrélation climatique, et parfois à des paramètres d'usages, mais de façon peu précise. Or, la variabilité des usages au cours de la vie d'un bâtiment nécessite de pouvoir quantifier *a priori* l'influence de facteurs variés. L'approche Simulation Thermique Dynamique (STD) est appropriée à de telles études mais n'est pas transposable à une approche métier pour les prestataires énergéticiens et des modèles réduits doivent être recherchés.

Nous examinons ici une approche de modélisation par plans d'expérience de type D-optimaux qui semblent les plus adaptés pour la détermination des polynômes de prédictions des consommations dans le bâtiment (Romani, [2]). Cela permet de réduire le nombre de STD nécessaires à un nombre réduit de simulations pour établir une corrélation statistiquement robuste.

## 2 Méthodologie

La méthode proposée est de construire un modèle polynomial des besoins de chauffage d'un bâtiment de bureaux en fonction des paramètres d'usage, afin de connaître les besoins du bâtiment lorsqu'il est plus ou moins bien utilisé par les usagers. Le plan d'expérience est réalisé sur la base d'un modèle STD à l'aide du logiciel EnergyPlus® via DesignBuilder®.

Cet article présente les résultats obtenus pour un étage de bureau type avec une modélisation polynomiale des besoins de chauffage en fonction des familles de facteurs liés au comportement des usagers (ex : ouverture des fenêtres, utilisation des stores), pour identifier les facteurs d'influence, et produire des modèles réduits d'équation d'ajustement pour l'élaboration de CPE.

## 3 Modèle de simulation thermique dynamique

Le modèle utilisé est simple mais représentatif d'un espace de bureaux. Le plateau considéré présente une longueur de 50m, une largeur de 16m et une hauteur sous plafond de 3m, exposé nord/sud. Les bureaux, profonds de 7m, alignés le long des façades nord et sud sont

séparés par un couloir de distribution. Le ratio de surface vitrée est de 50%.

Les caractéristiques thermiques de l'enveloppe sont les suivantes : murs extérieurs béton de 15cm isolés en ITE par de la laine de verre de 20cm avec un bardage de 3cm ( $U=0,2\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ). Le plancher intermédiaire est constitué de 1cm de faux plafond, de 10cm d'air, de 10cm de béton et de 3mm de moquette ( $U=1,4\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ). Les vitrages basse émissivité 6/13/6 à lame d'argon présentent un coefficient de transmission surfacique  $U=1,5\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ , un facteur solaire de 56% et un facteur de transmission lumineuse de 74%. Ils sont équipés de stores extérieurs diffusants avec un facteur solaire de 5% et un facteur de transmission lumineuse de 5%. Les planchers intermédiaires sont considérés adiabatiques.

Les infiltrations d'air de l'enveloppe et celles générées par l'ouverture des fenêtres sont modélisées en dynamique et prennent en compte l'effet du vent et des différences de température.

Le climat est celui de Paris Orly. L'albédo est fixée à 20%, sans masques environnants.

Le taux de ventilation est de  $36\text{m}^3/\text{h}/\text{pers}$ , asservi au taux d'occupation de  $0,1\text{pers}/\text{m}^2$ . Le métabolisme moyen considéré est de  $110\text{W}/\text{pers}$ . Les horaires de présence sont définis de 9h à 18h avec 50% de présence entre 12h et 14h. La puissance installée d'éclairage est de  $5\text{W}/\text{m}^2$  et la puissance utile moyenne bureautique est de  $8\text{W}/\text{m}^2$ .

Avec ces hypothèses et les scénarios d'usage de référence suivants, le besoin de chauffage de référence est de  $29,4\text{kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ .

Tableau 1 – Scénarios d'usage de référence

Scénario	Valeur
Niveau d'ouverture moyen des fenêtres	10%
Heures d'ouvertures des fenêtres	9h – 11h
Niveau de fermeture moyen des stores	20%
Heures de fermeture des stores	9h – 11h
Heures de fonctionnement bureautique	9h – 18h
Heures de fonctionnement de l'éclairage	9h – 18h
Température de consigne	20°C
Absentéisme moyen	3%

## 4 Application des plans d'expérience

Dans cette première étape de validation de la démarche, les facteurs de comportement suivants ont été considérés :

Tableau 2 – Facteurs « comportement des usagers »

Niveau d'ouverture des fenêtres
Heures d'ouverture des fenêtres
Niveau d'ouverture des stores
Heures d'ouverture des stores
Heures de fonctionnement bureautique
Heures de fonctionnement éclairage
Température de consigne
Nombre de jours d'absence

Pour chacun des facteurs, des valeurs min et max sont définies. Par exemple, les heures de fonctionnement de la bureautique sont considérées pouvoir varier de 0 à 9h par jour.

Pour l'ouverture des fenêtres, deux cas ont été considérés :

- cas n°1 : pas de limite aux ouvertures de fenêtres. Dans ce cas, les fenêtres peuvent être ouvertes de 5 à 95% pendant 30 min à 8h30 par jour.
- cas n°2 : une limite est définie pour les ouvertures de fenêtres, avec une ouverture de 5 à 10%, et pour une durée variable de 30min à 2h par jour.

Nous avons posé *a priori* un modèle polynomial de premier degré avec interaction (PDAI), les interactions considérées sont donc d'ordre 2 uniquement, et la réponse  $y$  vis-à-vis des facteurs tests  $x_i$  est de la forme :

$$y = a_0 + \sum a_i x_i + \sum a_{ij} x_i x_j$$

La mise en œuvre des plans D-optimaux conduit alors à un plan d'expérience de 44 simulations pour chaque cas, ce qui est tout à fait acceptable en temps de simulation.

## 5 Résultats

Le plan d'expérience permet de classer les facteurs par ordre d'influence. Dans le cas n°1, la figure 1 indique le que les facteurs *Ouv\_Fen*, *Heures\_Ouv\_Fen*, *Ouv\_Fen x Heures\_Ouv\_Fen*, *Heures\_Ouv\_Fen x Tc*, *Ouv\_Fen x Tc* et *Tc* sont les plus impactants pour la consommation.

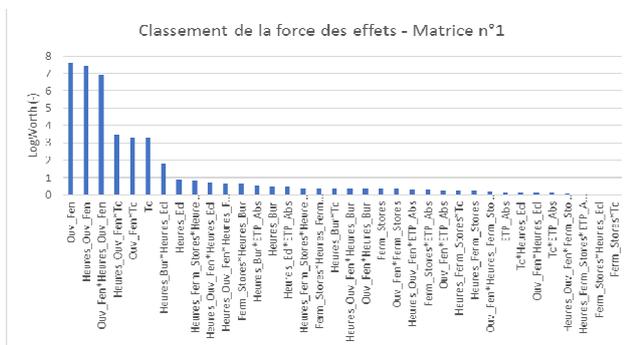


Figure 1 – Classement des effets pour le plan n°1

Dans le cas n°2, le groupe de paramètres influents est: *Tc*, *Heures\_Ouv\_Fen*, *Ouv\_Fen*, *Heures\_Bur*, *Ouv\_Fen x Heures\_Ouv\_Fen*, *Ferm\_Stores x Heures\_Ferm\_Stores*, *Heures\_Ecl*, *Ferm\_Stores*, *Heures\_Ouv\_Fen x Tc*, *Heures\_Ferm\_Stores*, *Ouv\_Fen x Tc* et *Heures\_Bur x Tc*.

On constate que les facteurs influents sont plus nombreux et intègrent plus les apports internes et solaires avec des effets du même ordre que la température de consigne et l'ouverture des fenêtres, alors que dans le cas n°1, la température de consigne n'arrivait qu'en dernier. Ceci est cohérent avec le domaine d'usage des bâtiments basse consommation et les observations « terrain » de décorrélation partielle des consommations par rapport au

climat.

Nous avons ensuite testé la robustesse des modèles polynomiaux obtenus par tirage de valeurs aléatoires pour chaque facteur sur le domaine min/max de chacun d'eux. Le graphique suivant montre que la corrélation entre les résultats issus du modèle polynomial et les résultats STD reste très bonne dans le cas n°2, qui est le plus sensible car influencé par le plus de facteurs.

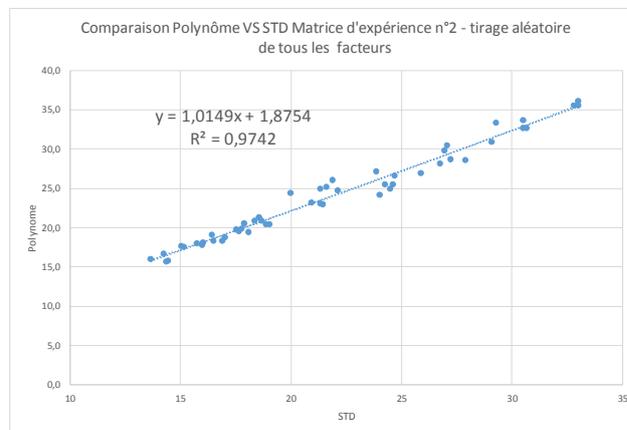


Figure 2 – Comparaison entre le polynôme et les résultats de STD pour le cas n°2, pour des valeurs de facteurs aléatoires

## 6 Conclusions

La mise en œuvre d'une approche par plan d'expérience de l'influence des facteurs d'usage semble pertinente pour obtenir des modèles réduits polynomiaux des besoins de chauffage des bâtiments. Une précision satisfaisante a été obtenue à partir de plans D-optimaux avec des interactions d'ordre 2 simplement, ce qui permet un nombre réduit de simulations par STD, et une interprétation facile des expressions polynomiales en termes d'impact des facteurs physiques sur la réponse.

Cette méthode présente un grand intérêt pour les bâtiments basse consommation qui sont très dépendants des usages.

Nous élargirons par la suite son usage aux autres postes de consommation (systèmes en particulier) afin d'en faire un outil de suivi des performances fiable pour proposer des équations d'ajustement dans le cas des contrats de performance énergétique (CPE).

## Références

- [1] Eric Vorger, « Etude de l'influence du comportement des occupants sur la performance énergétique des bâtiments ». Thèse de doctorat, Ecole nationale supérieure des mines de Paris, 2014. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-01144461>.
- [2] Zaïd Romani, « Développement d'une méthode d'aide à la décision multicritère pour la conception des bâtiments neufs et la réhabilitation des bâtiments existants à haute efficacité énergétique ». Thèse de doctorat, Université de La Rochelle, 2015. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01373443>.

---

## Comment évaluer l'état d'un habitat marin par une approche écosystémique ?

---

Sandrine Ruitton<sup>1, 2</sup>, Charles-François Boudouresque<sup>2</sup>, Aurélie Blanfuné<sup>2</sup>, Thierry Thibaut<sup>2</sup>

sandrine.ruitton@univ-amu.fr, charles.boudouresque@univ-amu.fr, aurelie.blanfune-thibaut@univ-amu.fr, thierry.thibaut@univ-amu.fr

<sup>1</sup> IUT, Aix-Marseille Université  
Institut Méditerranéen d'Océanologie, UMR 110

<sup>2</sup>OSU Pythéas  
Institut Méditerranéen d'Océanologie, UMR 110

### Thèmes – Environnement

**Résumé** – *Les indicateurs biologiques, basés sur des espèces dont la fonction, la population ou le statut reflètent la qualité de l'environnement, sont largement utilisés dans le domaine marin. La bonne qualité d'un milieu et l'état apparent d'une espèce ne sont pas toujours révélateurs d'un bon état et du bon fonctionnement de l'ensemble de l'écosystème, même s'il s'agit d'espèces ingénieurs ou clés d'écosystèmes. Un point clé de la directive cadre stratégie pour le milieu marin (DCSMM - Union Européenne) est l'approche écosystémique. Sur la base d'un modèle conceptuel simplifié de fonctionnement de l'écosystème, nous proposons une méthode destinée à construire un indice écosystémique afin d'apprécier la qualité de son fonctionnement. Cet indice (EBQI pour Ecosystem Based Quality Index) est basé sur la prise en compte d'un ensemble de compartiments fonctionnels représentatifs, la pondération de ces compartiments et l'évaluation de la qualité de chaque compartiment par comparaison à une ligne de base supposée. L'EBQI est facile à mettre en œuvre, non destructif, relativement robuste, en fonction du choix des compartiments et de leur pondération, et associé à des indices de confiance (chaque compartiment, et la note globale) qui indiquent une faiblesse et des biais éventuels et donc le besoin d'acquisitions de données sur le terrain. La méthode a été testée pour l'herbier à Posidonia oceanica, largement utilisé comme indicateur biologique mais également pour d'autres écosystèmes.*

**Mots-Clés** – Approche écosystémique, indicateur, Méditerranée, DCSMM

## 1 Introduction

Les activités humaines peuvent profondément modifier l'environnement, la composition en espèces et le fonctionnement des écosystèmes. Les indices biotiques, qui reflètent la qualité de l'environnement, sont largement utilisés dans le domaine marin, en particulier dans le contexte des directives européennes, pour (i) évaluer la qualité d'une masse d'eau, (ii) évaluer les effets des processus tels que les courants, la sédimentation ou le changement climatique, et (iii) surveiller l'état des espèces d'intérêt, qu'il s'agisse d'espèces emblématiques, indicatrices de l'état de l'écosystème ou indicatrices de pollution. Cependant, un indice basé sur la santé d'une espèce donne-t-il des informations sur l'état de l'écosystème entier auquel il appartient, même s'il s'agit d'une espèce clé ou ingénieure de l'écosystème ?

Un point clé de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM, 2010/477 / UE) repose sur l'évaluation du « bon état écologique » afin de garantir l'utilisation actuelle du milieu marin et pour les générations futures. Pour y répondre, nous proposons donc une approche basée sur le fonctionnement de l'écosystème.

## 2 Établir des modèles conceptuels de fonctionnement

Des modèles conceptuels simplifiés du fonctionnement des écosystèmes marins ont été établis pour chaque habitat, en fonction des compartiments fonctionnels et des relations entre eux (figure 1). Les compartiments ont été pondérés, en fonction de leur poids relatif ( $W$ ) dans le fonctionnement de l'écosystème selon les avis d'expert, de 5 (poids le plus élevé) à 1 (poids le plus faible). La méthode DELPHI a été utilisée comme méthode objective pour intégrer les avis d'expert.

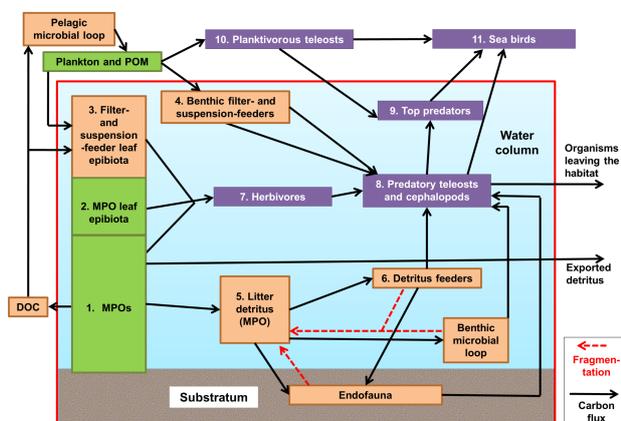


Figure 1 – Modèle conceptuel de fonctionnement d'un écosystème marin théorique. Compartiments fonctionnels

(boîtes) : les producteurs primaires sont en vert (MPO = Organisme Photosynthétique Multicellulaire, POM = matière organique particulaire), les filtreurs, les suspensivores, les détritus, les détritivores, le carbone organique dissous (DOC) et les boucles microbiennes sont en orange, les prédateurs sont en violet. L'habitat est inclus dans le rectangle rouge.

## 3 Évaluation des compartiments fonctionnels

Les onze compartiments considérés sont les plus pertinents pour le fonctionnement de l'écosystème et pouvant être quantifiés sans difficulté. L'état du compartiment ( $S$ ) a été évalué au moyen d'une échelle semi-quantitative, allant de très bon (4) à très mauvais (0).

Le(s) paramètre(s) le(s) plus pertinent(s) a (ont) été choisi(s) selon la littérature et les avis d'expert. L'étalonnage de l'échelle était basé sur la littérature disponible ; si elle n'existe pas, des données de terrain devront être acquises.

Autant que possible, des méthodes non destructives ont été choisies pour mesurer les paramètres de l'état des compartiments fonctionnels.

La note de chaque compartiment est obtenue par son statut (0 à 4) et par son poids (1 à 5), et a donc une valeur comprise de 0 à 20 (selon le poids du compartiment considéré).

## 4 L'EBQI : indicateur de qualité basé sur l'écosystème

Les notes de tous les compartiments sont additionnées, afin d'obtenir une note finale permettant d'évaluer l'état de l'écosystème (EBQI) sur un site donné. Pour des raisons pratiques, l'EBQI a été converti sur une échelle de 0 à 10 (tableau 1).

$$EBQI = \left[ \frac{\sum_{i=1}^{11} (W_i \times S_i)}{\sum_{i=1}^{11} (W_i \times S_{\max})} \right] \times 10$$

$W_i$  est le poids du compartiment  $i$ .  $S_i$  est l'état du compartiment  $i$ ,  $S_{\max}$  est la note la plus élevée (= 4) du compartiment et  $i$  est le numéro du compartiment (1 à 11 dans l'exemple de la figure 1).

Tableau 1 – Les 5 classes d'état de l'écosystème de l'herbier à *Posidonia oceanica* (Personnic *et al.*, 2014). L'EBQI est compris entre 0 et 10.

EBQI	Ecological status classes
< 3.5	<b>Bad</b>
3.5 ≥ EBQI < 4.5	<b>Poor</b>
4.5 ≥ EBQI < 6	<b>Moderate</b>
6.0 ≥ EBQI < 7.5	<b>Good</b>
EBQI ≥ 7.5	<b>High</b>

## 5 L'indice de confiance (CI)

Pour chaque état de compartiment, un indice de confiance (CI) est donné en fonction des données ayant permis d'établir ce statut (tableau 2).

Tableau 2 - Critères d'évaluation de l'indice de confiance (CI) de l'état d'un compartiment.

IDC	Critères
4	Données de terrain récentes et fiables utilisant le protocole recommandé
3	Données de terrain récentes et complétées par du « dire d'expert » Données de terrain acquises avec un protocole différent de celui recommandé
2	Pas de données de terrain mais un « dire d'expert » récent
1	Pas de données de terrain mais un « dire d'expert » ancien
0	Pas de données de terrain et pas de « dire d'expert »

Les raisons de l'utilisation d'un CI sont (i) que les données pour un ou plusieurs compartiments peuvent être manquantes ou de mauvaise qualité dans certains sites, (ii) la fiabilité des données disponibles peut être différente entre compartiments et sites, et (iii) il permet d'attirer l'attention des gestionnaires et des scientifiques sur les compartiments qui sont mal connus et qui méritent l'acquisition de données sur le terrain. La contribution de chaque compartiment a été donnée par son CI (0 à 4) et par sa pondération (1 à 5), et donc ils sont classés de 0 à 20.

$$CI_{EBQI} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (W_i \times CI_i)}{\sum_{i=1}^n (W_i \times CI_{\max})} \right] \times 4$$

$W_i$  est la pondération du compartiment  $i$ ,  $CI_i$  l'indice de confiance du compartiment  $i$ ,  $CI_{\max}$  le CI le plus élevé possible (= 4) pour un compartiment et  $i$  est le numéro du compartiment  $i$  (1 à 11 pour l'exemple de la figure 1).

## 6 Conclusions

Cette méthode a été testée sur les herbiers à *Posidonia oceanica*, l'écosystème côtier le mieux documenté en Méditerranéen et appliquée sur dix-sept sites (Personnic *et al.*, 2014). Nous avons montré que (i) l'EBQI n'était pas redondant avec des indices déjà existants, (ii) l'EBQI était robuste même si certains choix arbitraires sont possibles pour les compartiments considérés et leur pondération (avis d'expert) et (iii) la mise en œuvre de l'EBQI n'est pas trop lourde sur le terrain. L'acquisition des paramètres nécessitant la plongée sous-marine doit être programmée afin d'optimiser le travail sur le terrain. Par exemple, les recensements visuels des poissons

peuvent fournir les données pour plusieurs compartiments. L'utilisation de l'EBQI nécessite (i) d'avoir une base de référence pour évaluer l'état des compartiments dans les zones non soumises aux impacts anthropiques et (ii) d'être adaptée en fonction des caractéristiques biogéographiques. En Méditerranée, l'EBQI a été développé pour les grottes sous-marines (Rastorgueff *et al.*, 2015), les habitats coralligènes (Ruitton *et al.*, 2015) et l'infralittoral à algues photophiles (Thibaut *et al.*, 2017). Il pourrait être utilisé pour la plupart des écosystèmes marins.

## Remerciements

Les auteurs expriment leur gratitude à l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse et à l'Agence Française pour la Biodiversité pour leur soutien dans le développement de ces indices.

## Références

- [1] Personnic S., Boudouresque C.F., Astruch P., Ballesteros E., Bellan-Santini D., Bonhomme P., Feunteun E., Harmelin-Vivien M., Pergent G., Pergent-Martini C., Pastor J., Poggiale J.C., Renaud F., Thibaut T., Ruitton S., 2014. An ecosystem-based approach to evaluate the status of a Mediterranean ecosystem, the *Posidonia oceanica* seagrass meadow. Plos ONE. 9(6): e98994.
- [2] Rastorgueff P.A., Bellan-Santini D., Bianchi C.N., Bussotti S., Chevaldonné P., Guidetti P., Harmelin J.G., Montefalcone M., Morri C., Pérez T., Ruitton S., Vacelet J., Personnic S., 2015. An ecosystem-based approach to evaluate the ecological quality of Mediterranean undersea caves. Ecological Indicators 54: 137-152.
- [3] Ruitton S., Personnic S., Ballesteros E., Bellan-Santini D., Boudouresque C.F., Chevaldonné P., Bianchi C.N., David R., Feral J.P., Guidetti P., Harmelin J.G., Montefalcone M., Morri C., Pergent G., Pergent-Martini C., Sartoretto S., Tanoue H., Thibaut T., Vacelet J., Verlaque M., 2014. An ecosystem-based approach to assess the status of the mediterranean coralligenous habitat. Proceedings of the 2nd Mediterranean Symposium on the conservation of Coralligenous & other Calcareous Bio-Concretions (Portorož, Slovenia, 29-30 October 2014). Bouaffif C., Langar H., Ouerghi A. (eds.), RAC/SPA publ., Tunis: 153-158.
- [4] Thibaut T., Blanfuné A., Boudouresque C.F., Personnic S., Ruitton S., Ballesteros E., Bellan-Santini D., Bianchi C.N., Bussotti S., Cebrian E., Cheminee A., Culioli J.M., Derrien S., Guidetti P., Harmelin-Vivien M., Hereu B., Morri C., Poggiale J.C., Verlaque M., 2017. An ecosystem-based approach to assess the status of Mediterranean shallow algae-dominated rocky reefs. Marine Pollution Bulletin, 117: 311-329.

---

## Cartographie de l'évolution du couvert végétal de bassins versants aux marnes noires

---

Sandrine Alinat

Sandrine.alinat@univ-amu.fr

IUT, Aix-Marseille Université  
UMR TELEMME CNRS - AMU 7303

**Thèmes** – *Environnement*

**Résumé** – *A Draix, dans les Alpes-de-Haute-Provence, les bassins versants aux sols marneux de terres noires subissent une forte érosion en raison des conditions météorologiques. Dans le cadre d'un observatoire de l'érosion de ces bassins versants, il est réalisé une cartographie de l'évolution du couvert végétal de 2004 à 2015. Le suivi de la couverture végétale qui retient les terres, participe à la production de connaissances et à une meilleure compréhension des processus élémentaires et de leurs interactions dont l'enjeu principal est la caractérisation des réponses hydrologiques et sédimentaires des hydro-systèmes méditerranéens de montagnes. La cartographie résulte de traitements de photographies aériennes, à partir d'outils des systèmes d'informations géographiques (SIG) ou de télédétection. Les zones converties en fichiers vecteurs, sont intersectées, redécoupées pour identifier l'évolution de leur état, du couvert végétal dense, clair, au sol nu. Des graphiques et tableaux des valeurs des surfaces illustrent les cartes de l'occupation des sols, aux vues en trois dimensions où le couvert végétal est superposé au relief. Les pentes importantes de ce relief, sont un facteur déterminant dans le processus d'érosion. Néanmoins, le modèle numérique de terrain nécessite d'être de la même année que celle de l'image aérienne, tout en étant très précis.*

**Mots-Clés** – *Couvert végétal, marnes noires, SIG*

## 1 Introduction

Les bassins versants aux marnes noires « badlands », à Draix dans les Alpes-de-Haute-Provence connaissent une forte érosion alluviale. Les fortes précipitations du climat méditerranéen emportent les terres, reliefs et surfaces au couvert végétal peuvent en être rapidement modifiés. Un Observatoire de Recherche en Environnement Draix Bléone [1], fût mis en place en 2002 pour étudier les processus hydrologiques et érosifs en montagne. C'est dans ce contexte que cette étude s'intéresse à l'évolution du couvert végétal depuis 2004 jusqu'en 2015. La méthodologie s'appuie sur le traitement de photographies aériennes, à partir d'outils de systèmes d'informations géographiques. Une cartographie aux vues en trois dimensions permet de visualiser les types de couvert végétal sur le relief et l'importances des pentes.

## 2 Un couvert végétal instable

### 2.1 Un paysage de « badlands »

Le bassin versant du Laval, situé entre 800 et 1250 mètres d'altitude a une surface de 86 ha. Le climat est montagnard et méditerranéen, aux hivers froids et aux étés très secs, connaissant des événements orageux apportant une forte pluviométrie (900 mm/an en moyenne). Le paysage y est très vallonné avec des pentes de 37,5% en moyenne. Les marnes noires vulnérables à l'érosion hydrique sont fortement soumises aux crues violentes. Les transports de sédiments présentent d'importants volumes, retrouvés bien plus en aval dans la vallée de la Durance.

La couverture végétale est composée de forêts essentiellement de pins sylvestres ou de pins noirs d'Autriche, de quelques zones de chênes pubescents et de zones arbustives de buis, genêts thym, etc. Le taux de recouvrement végétal varie entre 45% et 55%. Afin de mener à bien l'identification des unités paysagères, le couvert végétal est distingué en deux catégories, le dense et le clair. Le couvert végétal dense se distingue par une végétation haute à l'aspect foncé et serré ; le sol n'y est pas visible. Les arbres jouent un rôle significatif, un maintien d'un sol en sous-bois et une érosion limitée par les racines en pente forte. Quant au couvert végétal clair, il a un aspect clair et parsemé, à tendance arbustive ou herbacée, avec les terres nues visibles. Les limites des zones en végétation claire sont les plus évolutives, en positif ou en négatif.

### 2.2 Identification des différentes unités paysagères

L'identification des types des unités paysagères est issue de traitements et d'interprétations de photographies aériennes orthorectifiées, mises à disposition par l'IGN. Une série d'images couvrent une période de onze ans, ce

qui permet d'avoir un recul minimal, avec des photographies datant de 2004, 2009, 2012 et 2015. Un fichier raster est créé à partir d'une mosaïque d'images pour chacune des périodes. Le traitement est effectué uniquement sur la zone du bassin versant du Laval afin, d'une part, de calculer au plus juste les surfaces, et d'autre part, de pouvoir mettre en relation toutes autres données du bassin versant (pluviométrie, etc.).

Le traitement des images est effectué par photo-interprétation (logiciel Multispec). Quatre classes sont retenues dans un premier temps : végétation dense, végétation claire, marnes noires et marnes noires ombragées. Dans un second temps, les deux classes affectées aux marnes noires sont associées. Bien que la résolution de photographies aériennes soit de qualité, (0.50 m), un taux d'erreurs calculé automatiquement, est à prendre en compte. Les zones ombragées en végétation ou en marnes noires sont parfois peu distinctes, ou encore, les limites des unités en végétation claire sont floues.

## 3 Evolutions des surfaces du couvert végétal

### 3.1 Etat des lieux par période

Pour chaque période, les images issues de la photo-interprétations sont traitées à l'aide d'un outil de Système d'Information Géographique (SIG) afin de créer un fichier d'objets vectoriels où chacune des zones est représentée par un polygone géoréférencé.

Les surfaces sont calculées, des requêtes sélectionnent les polygones en fonction de leur classe. Chacune des périodes est calculée et cartographiée : en vert clair le couvert végétal clair, en vert foncé le couvert végétal dense, en gris clair les marnes, en gris foncé les marnes ombragées. Fig. 1 -2.

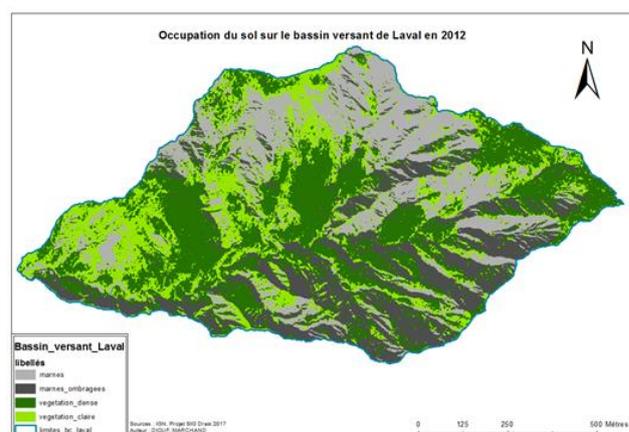


Figure 1 – Unités paysagères en 2012

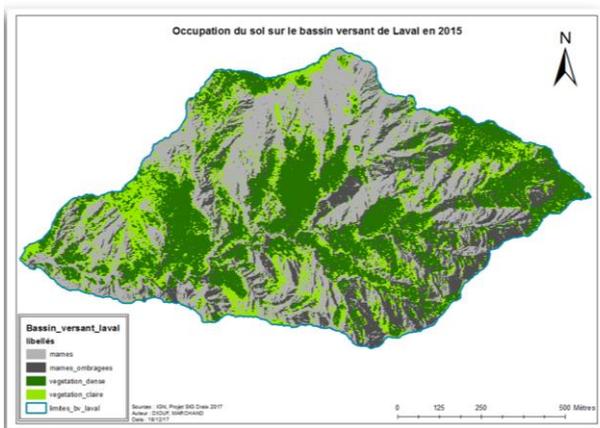


Figure 2 – Unités paysagères en 2015

Table 1 – Part en % des types d’occupation des sols

	Végétation dense	Végétation claire	Marnes
2004	31,91	16,45	51,63
2009	29,72	15,68	54,6
2012	33,67	22,71	43,62
2015	31,5	18,2	50,3

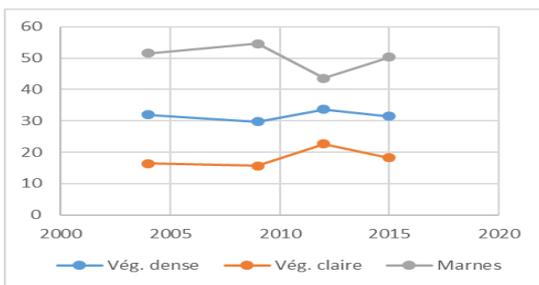


Figure 3 – Evolution en % de 2004 à 2015

En 2012, la végétation a gagné sur les marnes noires, mais des surfaces sont perdues dès 2015, une année qui a connu quelques violents orages. L'évolution du couvert végétal clair est plus rapide. Les arbres implantés par des racines robustes ont une meilleure stabilité.

### 3.2 Evolution par type d’occupation des sols

Le suivi de l'évolution de l'occupation des sols s'avère intéressant dès qu'on identifie qui devient quoi, c'est-à-dire, le devenir de chacune des classes par période. Pour cela, une cartographie avec une légende matricielle est réalisée, entre deux périodes.

A l'aide des outils SIG, de nouvelles couches sont créées à partir d'intersections ; par sélection des zones modifiées, leurs surfaces sont calculées. La part du couvert végétal (51%) est identique à celle des marnes noires (49%). L'évolution des unités paysagères montre une légère augmentation des surfaces du couvert végétal clair, un couvert dense stable, et, une légère diminution

des zones en marne noire. 70% du couvert en végétation dense reste intact. Concernant les unités en végétation claire, 26% a évolué en végétation dense et 29% en marne.

Table 2 – Evolution des unités paysagères de 2004 à 2015 – Surface en m<sup>2</sup>

		2012		
		Végétation dense	Végétation claire	Marnes
2004	Végétation dense	192 536 .	45 167	35 695
	Végétation claire	36 977	63 357	40 613
	Marnes	40 415	47 365	354 563

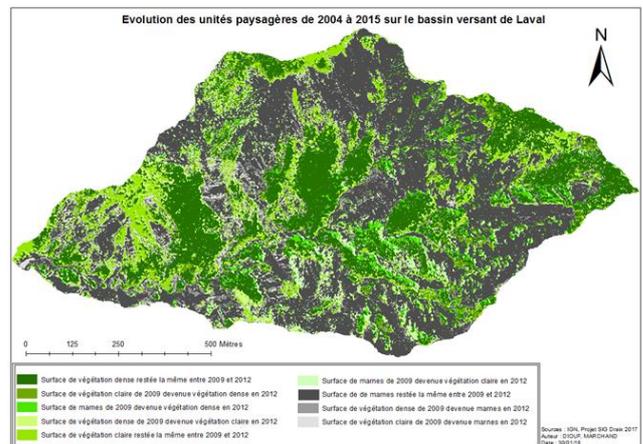


Figure 3 – Evolution des unités paysagères de 2004 à 2015

## 4 Conclusions

L'évolution du couvert végétal est corrélé au relief et à la dynamique hydrologique. Une cartographie des pentes permet quelques observations toutefois une vérification sur le terrain s'impose. La végétation dense recule principalement sur les zones de crêtes, la végétation claire s'étale sur entre des zones arbustives ou aux abords, uniquement sur des pentes faibles ou moyennes. Les marnes noires se situent principalement sur les zones en forte pente ou en ripisylve.

## 5 Remerciements

Je tiens à remercier Berthe Dioul et Marion Marchand, étudiants en LP ATU Géomatique sur le site de Digne, pour la réalisation cartographique, ainsi que l'équipe de ORE Draix Bléone et de l'IRSTEA pour leur collaboration.

## Références

[1] <https://oredraixbleone.irstea.fr>

---

## Propriétés photoélectriques de cellules solaires organiques inverses intégrant des nanosphères de type cœur-coquille Ag@SiO<sub>2</sub>

---

Kekeli N'Konou,<sup>1</sup> Malika Chalh,<sup>2</sup> Virginie Monnier,<sup>3</sup> Nicholas. P. Blanchard,<sup>4</sup>  
Yann Chevotot,<sup>3</sup> Bruno Lucas,<sup>2</sup> Sylvain Vedraïne,<sup>2</sup> Philippe Torchio<sup>1</sup>  
kekelidavid.nkonou@im2np.fr malika.chalh@etu.unilim.fr virginie.monnier@ec-lyon.fr  
nicholas.blanchard@univ-lyon1.fr Yann.Chevotot@ec-lyon.fr bruno.lucas@unilim.fr sylvain.vedraïne@unilim.fr  
philippe.torchio@univ-amu.fr

<sup>1</sup> Aix-Marseille Univ, IM2NP, CNRS-UMR 7334, Domaine Universitaire de Saint- Jérôme,  
Service 231, 13397 Marseille Cedex 20, France

<sup>2</sup> Université de Limoges, XLIM-CNRS 7252, 123 Avenue Albert Thomas, 87060 Limoges,  
France

<sup>3</sup> Université de Lyon, Institut des Nanotechnologies de Lyon UMR CNRS 5270, Ecole  
Centrale de Lyon, 36 Avenue Guy de Collongue, F-69134 Ecully, France.

<sup>4</sup> Université de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, Institut Lumière Matière,  
F-69622, Villeurbanne, France.

**Thèmes** – Photovoltaïque - optoélectronique

**Résumé** –

*L'une des approches pour améliorer les performances des cellules solaires organiques sans augmenter l'épaisseur de la couche photo-active est d'incorporer des nanoparticules (NPs) métalliques dans la couche active ou à sa proximité. Ces NPs peuvent alors générer des effets optiques diffusifs ou bien des résonances issues de plasmons de surfaces localisés favorisant la création de porteurs de charge. Il est en effet essentiel d'utiliser des couches actives fines à cause de la faible mobilité de ces porteurs de charge. Dans notre étude, nous utilisons des NPs de type cœur-coquille (Ag@SiO<sub>2</sub>) car la coquille diélectrique est susceptible d'éviter des problèmes électriques comme la recombinaison des porteurs de charges, la diminution des résistances shunts par création de courts-circuits ou la désexcitation des excitons, qui pourraient se produire au contact de NPs métalliques pures (Ag). Nous étudions les propriétés photoélectriques de cellules solaires organiques inverses plasmoniques incorporant des NPs Ag ou Ag@SiO<sub>2</sub> synthétisées avec une épaisseur de coquille de 5 nm puis déposées à la tournette sur la couche d'oxyde de zinc. Les cellules contenant ces NPs Ag@SiO<sub>2</sub> ont permis d'obtenir un gain en densité de courant de court-circuit de 12,03 à 13,44 mA/cm<sup>2</sup> par rapport aux cellules de référence (sans NPs).*

**Mots-Clés** – nanoparticule cœur-coquille Ag@SiO<sub>2</sub>, cellule solaire organique, plasmonique, modélisation FDTD

## 1 Introduction

La filière photovoltaïque organique se positionne aujourd'hui dans le cadre de la production d'énergie renouvelable comme une technologie prometteuse en raison de son faible coût de fabrication, son faible impact environnemental et la possibilité d'obtenir de grandes surfaces sur substrats flexibles et transparents. Cette filière présente cependant des rendements de conversion plus faibles que ceux des technologies à base silicium en raison de la faible longueur de diffusion des charges dans les semi-conducteurs organiques ; toute augmentation de l'épaisseur de la couche photoactive entraînant une diminution de l'efficacité de collecte de charges. Depuis quelques années, des travaux ont permis de montrer que l'intégration de nanoparticules métalliques (MNPs) [1] dans les couches de CSOs permet de coupler des plasmons localisés et donc d'augmenter sensiblement le champ électromagnétique local afin d'augmenter l'absorption des photons. Ces MNPs peuvent alors générer des effets diffusifs ou bien des résonances issues de plasmons localisés. Bien que cette stratégie présente des résultats encourageants, en particulier sur le plan de l'absorption optique, on peut cependant constater sur l'aspect électrique des problèmes liés aux migrations ou ségrégations de MNPs dans les zones non souhaitées d'une cellule qui peuvent engendrer des courts-circuits néfastes au fonctionnement photoélectrique. L'utilisation de NPs de type cœur-coquille a été proposée dans la littérature [2-5] comme une solution alternative, avec une coquille diélectrique qui a pour rôle de neutraliser ces inconvénients, ainsi que d'éventuelles recombinaisons des porteurs de charges. L'objectif est alors ici d'étudier l'influence de nanoparticules argent-silice ( $\text{Ag@SiO}_2$ ) sur les propriétés photoélectriques de CSOs à architecture inverse.

## 2 Procédure expérimentale

### 2.1 Produits utilisés

Du tétraéthoxyorthosilicate (TEOS), des solutions de chlorure d'ammoniac à 25 et 28 %, de l'éthanol de pureté 99 % et du polyvinylpyrrolidone avec un poids moléculaire moyen de 10000 g/mol (PVP10) ont été achetés chez Sigma-Aldrich. Pour toutes les manipulations, les verreries ont été lavées sous hotte aspirante à l'eau régale, ce qui permet de dissoudre les impuretés et d'éviter la germination de NPs. La synthèse des nanoparticules de type cœur-coquille se fait en deux étapes : la première consiste à synthétiser les nanoparticules métalliques et la seconde à recouvrir ces NPs métalliques avec une couche de silice.

### 2.2 Synthèse du cœur en argent

Le principe de base est de réduire le sel d'argent par le citrate de sodium en milieu aqueux pour former des

nanoparticules d'argent. Le protocole de synthèse du cœur en argent est le suivant : (1) Dissoudre 1g de citrate de sodium dans de l'eau distillée dans un erlenmeyer de 100 mL portée à ébullition sous forte agitation ; (2) Ajouter 9 mg d' $\text{AgNO}_3$  dans 49 mL d'eau et chauffer doucement le mélange à reflux sous agitation magnétique à l'abri de lumière ; (3) Injecter très rapidement 1 mL d'une solution de citrate de sodium de concentration 10 g/L dans l'erlenmeyer pour favoriser la formation de sites de nucléation et la croissance des nanoparticules d'argent. Le citrate de sodium agit comme un agent stabilisant en surface des nanoparticules et joue le rôle de réducteur ; (4) Laisser réagir 50 minutes pour que la réaction soit complète et stable ; (5) Laisser refroidir pendant 1h et recueillir la dispersion de NPs d'Ag contenant  $3,3 \times 10^{10}$  NPs/mL.

### 2.3 Synthèse de la coquille de silice

Après avoir synthétisé le cœur en argent, on recouvre la surface des NPs d'Ag avec une couche de silice. Pour cela, nous avons utilisé la méthode de Stöber qui consiste à ajouter un précurseur de silice comme le tétraéthoxyorthosilicate (TEOS) dans une suspension éthanolique de NPs Ag. Le TEOS s'hydrolyse facilement et se condense en surface des NPs Ag en présence d'un catalyseur basique comme l'ammoniac.

Dans un premier temps, nous avons mélangé 2 mL de la solution colloïdale de NPs Ag précédemment synthétisée avec 75  $\mu\text{L}$  d'une solution de PVP10 à 12,8 g/L ; le mélange réactionnel est ensuite agité pendant 24 h à température ambiante. La solution colloïdale de NPs Ag modifiées par le PVP est recueillie après centrifugation à 7600 g pendant 5 min. Ensuite, après élimination du surnageant, on ajoute goutte à goutte 8  $\mu\text{L}$  d'une solution d'ammoniac et 70  $\mu\text{L}$  d'éthanol sous agitation magnétique vigoureuse. Après avoir agité ce mélange pendant 10 min, on ajoute 0,2  $\mu\text{L}$  d'une solution de TEOS (10% vol. en éthanol) pour obtenir les NPs  $\text{Ag@SiO}_2$  synthétisées avec une coquille de 5 nm d'épaisseur redispersé en eau. L'épaisseur de la coquille de silice varie en fonction de la quantité de la solution de TEOS. Le mélange réactionnel est ensuite encore agité pendant 1 h. Le produit est séparé par centrifugation à 7600 g pendant 5 min, et redispersé dans 2 mL d'eau distillée. La procédure de synthèse des NPs  $\text{Ag@SiO}_2$  a été schématisé à la figure 1. Notons que l'ajout d'un surfactant permet d'obtenir une solution stable et homogène sur une période de plusieurs mois.

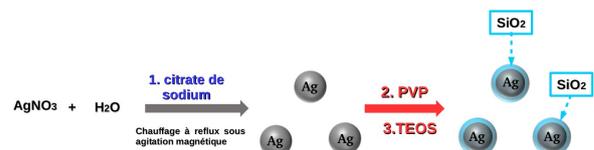


Figure 1- Schéma illustrant le processus de synthèse des nanoparticules de type cœur-coquille  $\text{Ag@SiO}_2$

## 2.4 Réalisation des cellules solaires organiques inverses plasmoniques

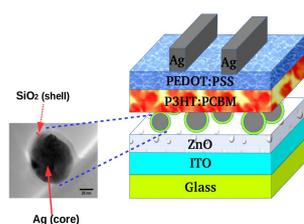


Figure 2 – Vue schématique 3D d'une CSO inverse plasmonique (verre/ITO/ZnO/NPs Ag ou Ag@SiO<sub>2</sub>/P3HT:PCBM/PEDOT:PSS/Ag)

La figure 2 présente le schéma d'un dispositif CSO inverse. Nous résumons succinctement le protocole de réalisation ci-après : (1) gravure des échantillons Verre/ITO, suivi d'un nettoyage par bains ultrasons successifs de 10 min d'acétone, d'éthanol puis d'isopropanol, et séchage à l'azote ; (2) dépôt de la couche de ZnO à la tournette (4000 tr/min, 50 s) puis recuit à 140°C pendant 10 min, suivi d'un traitement à l'UV-Ozone afin de rendre la surface hydrophile ; (3) dépôt de la solution de nanoparticules à la tournette à 1000 tr/min pendant 30 s, puis recuit à 50°C pendant 5 min pour éliminer le solvant. (4) dépôt en boîte à gants de la couche de P3HT:PCBM ; (5) dépôt hors boîte à gants de la couche de PEDOT:PSS, recuite à 150°C pendant 1 min pour éliminer l'eau qui a servi de solvant (6). évaporation sous vide de l'électrode d'argent en face arrière

## 3 Résultats et discussions

Device	Jsc (mA/cm <sup>2</sup> )	Voc (V)	FF (%)	η (%)
reference (without NPs)	12.03	0.56	56	3.89
with Ag NPs	12.7	0.54	54	3.63
with Ag@SiO <sub>2</sub> NPs	13.44	0.54	53	3.97

Tableau 1. Performances des dispositifs photovoltaïques : Verre/ITO/ZnO/P3HT:PCBM/PEDOT:PSS/Ag (cellule référence) et des cellules plasmoniques: Verre/ITO/ZnO/ NSs Ag ou Ag@SiO<sub>2</sub>/P3HT:PCBM/PEDOT:PSS/Ag sous des conditions d'éclairement AM1.5

En incorporant les NPs dans la cellule, on observe une augmentation de la valeur moyenne du Jsc, soit 13,44 mA/cm<sup>2</sup> avec les NPs Ag@SiO<sub>2</sub>, 12,7 mA/cm<sup>2</sup> avec les NPs Ag par comparaison avec la cellule de référence (sans NSs) qui vaut 12,03 mA/cm<sup>2</sup> (voir tableau 1 et fig.3a). La CSO contenant les NPs Ag@SiO<sub>2</sub> présente les meilleures performances avec une augmentation de 12% du Jsc. L'amélioration des valeurs de Jsc est attribuée à l'augmentation de l'absorption dans la couche active, grâce due non seulement à l'effet plasmon mais aussi à la diffusion de la lumière accrue dans la couche active.

Les courbes d'IPCE (fig 3.b) de la cellule de référence et des cellules plasmoniques après incorporation des NPs Ag pures sont similaires et confirment les résultats obtenus

avec Jsc. L'IPCE le plus élevé est obtenu lorsque les NPs de Ag@SiO<sub>2</sub> sont incorporées dans la cellule, avec une valeur maximale autour de 550 nm.

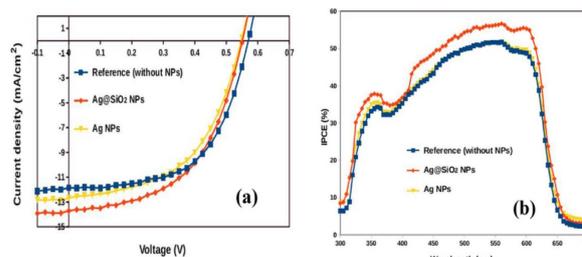


Figure 3 – Courbes (a) J-V et (b) d'IPCE des cellules : Verre/ITO/ZnO/P3HT:PCBM/PEDOT:PSS/Ag (cellule de référence sans NSs) Verre/ITO/ZnO/NSs Ag ou NSs Ag@SiO<sub>2</sub>/P3HT:PCBM/PEDOT:PSS/Ag

## 4 Conclusion

Nous avons étudié les propriétés photoélectriques de cellules solaires organiques inverses plasmoniques incorporant des nanoparticules Ag ou Ag@SiO<sub>2</sub> déposées à la tournette sur la couche d'oxyde de zinc. Les caractéristiques J-V et les mesures d'IPCE révèlent que l'incorporation de nanoparticules de type cœur-coquille au sein d'une CSO inverse entraîne une augmentation de la lumière absorbée par la couche active. La CSO avec NPs Ag@SiO<sub>2</sub> présente un gain de 12 % (de 12,03 à 13,44 mA/cm<sup>2</sup>) de la densité de courant de court-circuit. Les CSOs plasmoniques avec NPs Ag@SiO<sub>2</sub> ont permis d'obtenir une augmentation modérée du rendement de conversion de 3,89 à 3,97%, et qui devrait pouvoir être améliorée dans le futur.

## Références

- [1] S. Vedraïne, P. Torchio, D. Duche, F. Flory, J.-J. Simon, J. Le Rouzo, and L. Escoubas, *Intrinsic absorption of plasmonic structures for organic solar cells*, Sol. Energy Mater. Sol. Cells 95, S57–S64 (2011).
- [2] K. N'Konou, L. Peres, and Ph. Torchio, *Optical absorption modeling of plasmonic organic solar cells embedding silica-coated silver nanospheres*, Plasmonics, 13(1), pp. 297-303 (2018).
- [3] W. Shen et al. *Enhanced efficiency of polymer solar cells by incorporated Ag–SiO<sub>2</sub> core–shell nanoparticles in the active layer*, RSC Adv. 4, 4379 – 4386 (2014).
- [4] K. N'Konou and P. Torchio, *Optical absorption enhancement by inserting ZnO optical spacer in plasmonic organic solar cells*, JNP, 12(1), 012502 (2017).
- [5] K. N'Konou, V. Many, C. Ruiz-Herrera, M. Treguer-Delapierre, P. Torchio, *Optical behavior of gold-silica core-shell nanospheres embedded in an organic buffer matrix for plasmonic solar cells*, J. Appl. Phys 123, 063102 (2018).

## Hygiénisation des intrants de méthanisation : procédé continu par Champ Electro-Pulsé (CEP)

---

STRUYVEN Florent , KARABOUÉ Ludovic , LIU Xiaojun  
LEMEE Yves, LANOISELLÉ Jean-Louis, BOY Virginie, LENDORMI Thomas  
MANDIN Philippe, MORANCAIS Pascal

philippe.mandin@univ-ubs.fr

IUT, Lorient et Pontivy  
IRDL - UMR CNRS 6027

**THÈMES** – *Energie*

**RÉSUMÉ** – *Actuellement, la SEM LIGER basée à Locminé (56) dispose d'une unité de méthanisation dont les intrants sont traditionnellement traités thermiquement via un procédé batch. Ce procédé batch, destiné à hygiéniser les produits, est un traitement thermique très énergivore abaissant le rendement de production du bio-méthane. Cette étude est basée sur un procédé électrique, athermique émergent en tant qu'alternative au traitement classique. Il s'agit d'un traitement par champs électriques pulsés (CEP), dont l'objectif, outre la destruction des bactéries pathogènes, est de diminuer la consommation énergétique et de permettre un traitement et une alimentation du digesteur en continu.*

**MOTS-CLÉS** – *méthanisation - champs électro-pulsés - hygiénisation*

## 1 Description du système

Ce système de traitement est composé de 12 Cellules CEP placées en série dans lesquelles passe un conduit de 6.3 mm de diamètre. La zone soumise aux champs électrique pulsés mesure 2.5 mm d'épaisseur. Après chaque passage dans un réacteur le tube sera refroidi par un passage dans l'air puis par une immersion dans de l'eau afin d'éviter une surchauffe des intrants qui augmenterait la conductivité de ces derniers et abaisserai l'efficacité du procédé en affaiblissant le champ électrique doit être maximal pour éliminer les bactéries. De plus, la température peut permettre aux bactéries de réparer leurs parois cellulaires affectées par le procédé. Le courant est imposé à une tension de 2500 Volts sous formes d'impulsions carrées et peut valoir jusqu'à une intensité de 100 Ampères. Cette forme d'impulsion électrique présente l'avantage d'être à la tension maximale sur la totalité de la durée de l'impulsion. A terme il ne doit rester qu'une bactérie sur une population initiale d'un million

## 2 Impact sur l'activité bactérienne

Les champs électriques pulsés ont une influence sur la paroi bactérienne. En effet le fait de soumettre la paroi bactérienne à des différences de potentiels dépassant le champ électrique de seuil naturel des bactéries, entre le coté intracellulaire et le coté extracellulaire, va engendrer la formation de pores dans la paroi bactérienne. Au dessus d'une certaine quantité de pores dans la paroi, la bactérie se videra de ses éléments et sera donc détruite. Cependant son contenu se déversant dans les intrants, il y aura alors une hausse de conductivité de ces derniers.

Le fait de générer un champ électrique pulsé dans l'écoulement provoque une perforation des membranes de bactéries mais aussi un passage de courant par transfert d'ions au sein du liquide. Ce phénomène est associé à des réactions d'oxydo-réduction qui peuvent avoir lieu aux électrodes. Pour éliminer éventuellement ce passage du courant dans le liquide, il est possible de recouvrir les parois d'une membrane protectrice imperméable aux ions afin d'empêcher une usure prématurée des électrodes et une libération de substances indésirées.

Deux formes de bactéries existent, la formes Cocci et la forme Bacille. Elles ont chacune des façons de se placer dans une population bactérienne.

Ces bactéries pouvant êtres Gram + et Gram - se différencient par leur paroi cellulaire. En effet les cellules bactériennes Gram - ont une paroi plus mince et plus sujette aux dommages mécaniques. Les CEP n'auront donc pas la même influence sur ces deux types de cellules. La capacité de certaines bactéries à se mouvoir est également un facteur à prendre en compte.

L'électroporation de la paroi bactérienne est irréversible à partir d'un seuil de  $V.m$  sur une période donnée. En des-

sous d'un seuil critique l'électroporation n'est pas suffisant pour créer une lésion irréversible dans la paroi, quel que soit la durée de la période. [1], [2]

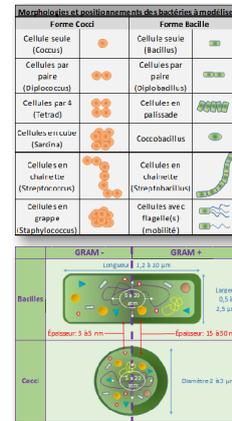


FIGURE 1 – Morphologie et type de bactéries à modéliser

## 3 Modélisation numérique

Avec le logiciel de modélisation ANSYS-Fluent, nous modélisons la vitesse d'écoulement du fluide, la pression, sa température, le potentiel électrique, la densité de courant, les températures des composants, etc. Un premier modèle permet dans déduire l'évolution de la population bactérienne en fonction du temps et de la fréquence des impulsions pour un régime laminaire. Dans ce cas le suivi des bactéries est facilité car la vitesse du fluide ne dépend que du rayon (écoulement de Poiseuille).

Un deuxième modèle plus complexe utilisant le module DPM (Discrete Phase Model) de ANSYS-Fluent est en court d'étude et permettra d'effectuer le suivi individuel des bactéries pour des cas plus complexes (écoulements turbulents) et de prédire la dose reçue.

## Références

- [1] G.V. Barbosa-Cánovas, D. Sepúlveda, Present status and the future of PEF technology, chap. 1, pp. 1-44, in Novel Food Processing Technologies, Eds. Barbosa-Cánovas et al., CRC press, 2005, 692 p
- [2] Modelling inactivation of *Listeria monocytogenes* by pulsed electric fields in media of different pH N. Gomez, D. Garcia, I. Alvarez, S. Condon. J. Raso

---

## Optimisation de l'électrolyse de l'eau alcaline

---

Philippe Mandin<sup>1</sup>

Pascal Morançais<sup>2</sup>

Mohamed Benbouzid<sup>3</sup>

Damien Le Bideau<sup>4</sup>

Robin Le Livec<sup>5</sup>

Stephane Paul<sup>6</sup>

[philippe.mandin@univ-ubs.fr](mailto:philippe.mandin@univ-ubs.fr) [pascal.morancais@univ-ubs.fr](mailto:pascal.morancais@univ-ubs.fr) [mohamed.benbouzid@univ-brest.fr](mailto:mohamed.benbouzid@univ-brest.fr)  
[damien.le-bideau@univ-ubs.fr](mailto:damien.le-bideau@univ-ubs.fr) [robin.le-livec@univ-ubs.fr](mailto:robin.le-livec@univ-ubs.fr) [Stephane.Paul@armor-meca.com](mailto:Stephane.Paul@armor-meca.com)

<sup>1,2,3,4,5</sup> IUT, Lorient

Institut de Recherche Dupuy de Lome, UMR 6027

<sup>6</sup> Armor Meca

Pleslin-Trigavoux ZI La Grignardais, 22490 Pleslin-Trigavou

**Thèmes** – *Énergie - Electrochimie - Environnement*

**Résumé** – *La transition énergétique faisant appel aux énergies renouvelables pour atteindre ses objectifs, il est nécessaire de trouver une solution de stockage propre. L'hydrogène serait donc la meilleure solution car sa production et sa consommation ne demande ou rejette que de l'eau. Le présent poster présente la méthode employée par l'équipe énergétique de l'IRDLD pour optimiser l'électrolyse de l'eau alcaline afin de diminuer le coût de l'hydrogène afin de permettre son intégration dans les différents réseaux.*

**Mots-Clés** – *Electrolyse alcaline, simulation, volume finis, PIV, optimisation*

## 1 Introduction

Les activités humaines produisent par an 52 Gt<sub>eq CO<sub>2</sub></sub>, ce qui représente 4,8 fois ce que les différents écosystèmes peuvent absorber [1]. Cette augmentation, brusque en prenant comme référentiel l'arrivée de la vie sur Terre, provoque ce que l'on appelle le changement climatique. Pour diminuer ces émissions, il est nécessaire d'utiliser des énergies décarbonnées, c'est-à-dire qui n'émettent pas de CO<sub>2</sub>. Ces énergies (éolienne, solaire) sont par essence intermittentes dans l'espace et le temps (cycle jour nuit, absence de vent). La solution à ce problème est de pouvoir stocker cette énergie sur une longue période de temps. Le stockage par hydrogène est un bon candidat pour répondre à ce cahier des charges car il a un PCI de 120 MJ kg<sup>-1</sup> et une consommation ne produisant que de l'eau. Cependant sa production par électrolyse, seule moyen de produire de l'hydrogène propre de manière industrielle est encore trop gourmande en énergie ce qui le rend trop coûteux (environ 10€ par kg et 1kg [2] représentant 50km contre 3,25€ pour 50km avec un véhicule essence). Le but du projet, présenté dans ce papier, mis en place entre Armor Meca, l'ADEME et l'IRDL est d'optimiser le procédé d'électrolyse alcaline de l'eau. Les deux grands outils de l'optimisation utilisés ici sont la modélisation numérique et expérimentale.

## 2 Objectif d'optimisation

Dans les procédés électrochimiques comme l'électrolyse, l'optimisation est le fait de minimiser la consommation énergétique du procédé. La consommation d'énergie d'un procédé s'écrit :

$$Energie = (U \cdot I) \cdot t$$

U la tension en V, I l'ampère en A, t la durée en s. L'intensité étant directement reliée à la production d'hydrogène via la formule de Faraday. Il faut donc diminuer la tension pour minimiser la consommation d'énergie.

$$J = \frac{I}{nF} \cdot S$$

J le flux d'espèce créé en mol s<sup>-1</sup>, I la densité de courant en A m<sup>-2</sup>, n le nombre d'électron échangé, F la constante de Faraday C mol<sup>-1</sup>, S la surface d'électrode.

La tension est la somme de toutes les surtensions.

$$U = E_{rev} + Rj + \eta_{anode} + \eta_{cathode} + \eta_{bulles}$$

La première tension est la tension réversible thermodynamique qui est la tension minimale pour que la réaction puisse se produire. On a ensuite la chute ohmique qui dépend de la composition de l'électrolyte et de

l'espacement inter-électrode.  $\eta_{cathode}$ ,  $\eta_{anode}$ ,  $\eta_{bulles}$ , sont les surtensions de cathode, d'anode et de bulles qui dépendent du types d'écoulement et de la composition et du design des électrodes. Pour diminuer ces surtensions, on peut utiliser deux moyens : la simulation numérique et l'expérimentation.

## 3 Optimisation

### 3.1 Simulation numérique

L'optimisation via simulation numérique a pour atout de donner des résultats rapidement et pour peu d'investissement financier. Il faut néanmoins valider le modèle numérique par confrontation avec une expérience. L'électrolyse de l'eau est un phénomène multiphysique.

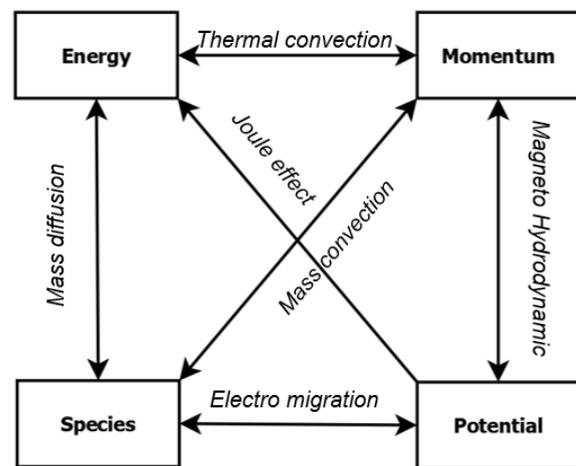


Figure1- Couplage entre les différents phénomènes

Il existe différents modèles permettant de modéliser l'électrolyse de l'eau alcaline. Chaque modèle possède son niveau de précision. Du plus simple au plus précis, il y a le modèle primaire (résolution du transfert de charge seulement), modèle secondaire (résolution du transfert de charge et prenant en compte la cinétique électrochimique) et le modèle ternaire (résolution des équations la conservation d'espèce, de charge et de mouvement et optionnellement l'équation de la chaleur). Ce dernier modèle permet d'avoir un niveau de précision suffisant pour prendre en compte l'impact du design sur la consommation d'énergie. L'électrolyse de l'eau est un phénomène diphasique, il est donc nécessaire de comprendre comment se forme une bulle sur l'électrode et donc pour cela il faut modéliser à l'échelle du nanomètre en utilisant les modèles de type *Volume of Fluid* ou *DPM* (Euler-Euler ou Euler-Lagrange).

### 3.2 Expérimentale

L'expérimentation permet d'observer les phénomènes directement et aussi de pouvoir valider les simulations numériques. Une cellule sera donc développée pour

étudier ces phénomènes et comprendre l'hydrodynamique diphasique du procédé d'électrolyse alcaline de l'eau. Pour ce faire, l'appareillage expérimentale suivant sera utilisé.

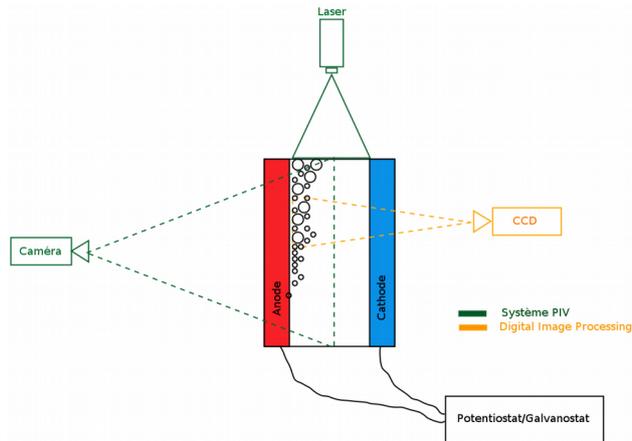


Figure2-Schéma des appareils de mesures

La potentiostat/Galvanostat permet de faire varier la tension/intensité et d'observer les influences de ces paramètres sur les écoulements anodiques et cathodiques à l'échelle de la cellule (PIV) ou à l'échelle de la bulle. Ces différentes expériences vont permettre de caractériser l'écoulement dans la cellule.

#### 4 Conclusions

Nous avons vu que l'électrolyse de l'eau est un phénomène multiphysique et multi-échelle. Ce procédé, encore trop énergivore pour être utilisé au niveau des territoires, va être optimisé numériquement et expérimentalement. En plus de ce qui a été présenté ici, d'autres paramètres peuvent être explorés comme l'utilisation de champ externe (augmentation de la gravité, champs magnétique, optique, acoustique). Le but final est de développer un électrolyseur performant et peu coûteux.

#### 5 Remerciements

Nous voudrions remercier Armor Meca et l'ADEME pour la confiance accordée.

#### Références

- [1] <http://www.ecoconso.be/fr/Quelle-quantite-de-CO2-la-Terre>
- [2] <https://www.contrepoints.org/wp-content/uploads/2015/07/Lhydrogene-cet-hallucinogene-Annexe-1.pdf>

# Simulation multi-échelle de phénomènes d'adsorption-désorption

---

Frédéric Topin<sup>1</sup> Irina Graur<sup>2</sup>  
Caroline Mauriat<sup>3</sup> Marc Bendahan<sup>3</sup> Khalifa Aguir<sup>3</sup>

frederic.topin@univ-amu.fr irina.martin@univ-amu.fr caroline.mauriat@univ-amu.fr

<sup>1</sup> Polytech, Aix-Marseille Université  
Institut Universitaire des Systèmes Thermiques Industriels (IUSTI), UMR CNRS 7343

<sup>2</sup> IUT, Aix-Marseille Université  
Institut Universitaire des Systèmes Thermiques Industriels (IUSTI), UMR CNRS 7343

<sup>3</sup> IUT, Aix-Marseille Université  
Institut Matériaux Microélectronique Nanosciences de Provence (IM2NP), UMR CNRS 7334

**THÈMES** – *Mécanique de fluides - Electronique - Environnement*

**RÉSUMÉ** – *L'objectif principal de ce travail est le développement d'un modèle mathématique multi-échelle du processus d'adsorption-désorption. Ce modèle prend en compte le mouvement du gaz au voisinage de la surface sensible à l'échelle macroscopique. Les flux de molécules adsorbées et désorbées de la surface sont également modélisés comme les termes sources. Les paramètres de l'interaction gas-surface, comme par exemple, l'énergie d'une molécule adsorbée, sont calculés en utilisant les calculs ab initio. Différents dispositifs réels sont destinés à l'application du modèle: le développement du nouveau détecteur de polluants du type BTEX implique l'étude du phénomène de l'adsorption-désorption en fonction de la température, de la composition et de la vitesse du gaz à proximité de la surface sensible du détecteur de polluants. Ces capteurs peuvent trouver des applications pour le contrôle de la qualité de l'air en extérieur et en intérieure.*

**MOTS-CLÉS** – *Détection de polluants, Composants organiques volatiles (COV), surfaces sensibles*

## 1 Introduction

Les procédés d'adsorption-désorption de gaz sont présents dans de nombreux systèmes naturels, physiques, biologiques et chimiques et sont largement utilisés dans des applications industrielles telles que la purification d'eau, climatisation (refroidisseurs par adsorption), élimination de polluants de milieux contaminés, dépôt de vapeur (métallisation CD/DVD) et le pompage sous vide (getters et pompes cryogéniques).

La modélisation des phénomènes d'adsorption-désorption de gaz a été initiée par le célèbre ouvrage de Langmuir il y a plus de cent ans [1]. Dans sa formulation, ce modèle empirique suppose une adsorption monocouche (la couche adsorbée est une molécule d'épaisseur), où l'adsorption ne peut se produire que sur un nombre fini (fixe) de sites localisés définis, identiques et équivalents, sans interaction latérale entre molécules adsorbées, même sur des sites adjacents. A partir de ce moment, plusieurs autres isothermes d'adsorption sont proposées, qui permettent de prendre en compte l'adsorption multicouche, S. Brunauer, P. Emmett, E. Teller (BET) [2], ou le modèle d'adsorption de Wolkenstein [3], qui introduit de manière naturelle les interactions réciproques entre l'adsorbant et l'adsorbat.

En dépit de nombreuses différentes recherches sur les phénomènes, l'impact du mouvement des gaz autour de la surface de l'adsorbant est généralement ignoré. Cependant, il peut influencer de manière significative la quantité de molécules adsorbées (et desorbées) et donc le taux de adsorption-désorption.

## 2 Problématique et Objectifs

Les phénomènes d'adsorption-désorption sont largement utilisés pour la détection des gaz. Deux applications principales seront visées par ce travail. D'abord la détection de la pollution faite par les changements de la conductivité des surfaces sensibles produites par les molécules de pollution adsorbées. La seconde application envisagée est le phénomène de séparation des gaz à l'intérieur d'une colonne de micro-chromatographie, qui repose également sur la différence de taux d'adsorption-désorption des différentes molécules à détecter. Dans les deux applications, le phénomène d'adsorption-désorption de gaz joue un rôle essentiel. Cependant, le mouvement des gaz macroscopiques près de la surface ainsi que les gradients de chaleur et de masse sont également importants à prendre en compte, car l'évolution des propriétés des gaz peut avoir un impact sur les paramètres d'adsorption-désorption.

L'objectif principal de ce travail est le développement d'un modèle mathématique multi-échelle des phénomènes de l'adsorption-désorption, qui prend en compte le mouvement macroscopique du gaz près de la surface de l'adsorbant.

## 3 Modèle mathématique

L'approche multi-échelle est choisie pour la simulation des phénomènes d'adsorption-désorption et son impact réciproque sur le mouvement des gaz autour de la surface adsorbante. La simulation se fera en plusieurs étapes. La première étape consiste à simuler la surface en clivant la cellule cristalline dans la direction qui nous intéresse. Après relaxation des positions atomiques, qui correspondent à l'énergie minimale du système, la molécule de gaz est obligée d'interagir sur les sites d'adsorption choisis. A partir de la différence d'énergie du système avec ou sans gaz, on déduit l'énergie d'adsorption (ou de réaction). La connaissance de l'énergie d'adsorption pour la paire gaz-surface permet de calculer le terme source qui simule le processus d'adsorption-désorption de molécules. Différents modèles (isothermes d'adsorption de Langmuir, Freundlich ou Wolkenstein) seront testés pour les molécules polluantes (groupe BTEX) adsorbées par une surface considérée. Dans ce qui suit, les équations macroscopiques de type Navier-Stokes seront résolues numériquement. Les paramètres macroscopiques obtenus permettront l'ajustement des caractéristiques de surface pour améliorer la détection de la pollution.

La procédure décrite ci-dessus s'appliquera d'abord au cas déjà étudié de la détection de l'ozone en changeant la conductivité dans un film mince de  $WO_3$  [4], [5]. Pour ce cas, les caractéristiques de surface pendant le processus d'adsorption-désorption sont déjà modélisées, de sorte que les simulations de gaz peuvent être effectuées en utilisant les informations obtenues sur les propriétés de surface. Plusieurs mesures effectuées sur le temps de réponse sont déjà disponibles, ce qui permettra d'ajuster et de corriger le modèle de mouvement de gaz proposé. Ensuite, de nouvelles molécules du groupe BTEX seront considérées. En effectuant les calculs ab initio l'énergie d'adsorption entre les molécules du groupe BTEX et la surface d'oxyde de tungstène sera obtenue. Les mesures seront effectuées en fonction de la température et de la concentration des gaz. Ces mesures expérimentales seront comparées au modèle théorique développé. Les comparaisons entre les résultats numériques et expérimentaux sur le taux d'adsorption-désorption permettront de valider le modèle proposé et de faire le meilleur choix des paramètres ajustés.

## 4 Conclusions

Le modèle multi-échelle pour la simulation des phénomènes d'adsorption-désorption de molécules polluantes (groupe BTEX) a été proposé. Ce modèle permettra l'améliorer la compréhension des processus d'adsorption-désorption et l'optimiser le fonctionnement de capteur pour la détection de polluants.

## 5 Remerciements

This work has been carried out in the framework of the Labex MEC (ANR-10-LABX-0092) and of the A\*MIDEX project (ANR-11-IDEX-0001-02), funded by the "Investissements d'Avenir" French Government program managed by the French National Research Agency (ANR). The author (I. Graur) would like to acknowledge financial supports provided by the European Union network program H2020, MIGRATE project under Grant Agreement No.643095.

## Références

- [1] I Langmuir. The construction and fundamental properties of solid and liquids. *J. Am. Chem. Soc.*, 38(11) :2221–2295, 1916.
- [2] S Brunauer, P H Emmett, and E Teller. Adsorption of gases in multilayers. *J. Am. Chem. Soc.*, 60 :309–319, 1938.
- [3] T Wolkenstein. *Electron Theory of catalysis on Semiconductors*. Pergamon. Oxford, 1963.
- [4] J Guerin, K Aguir, and M Bendahan. Modeling of the conduction in a  $WO_3$  thin film as ozone sensor. *Sensors and Actuators B*, 119 :327–334, 2006.
- [5] M Bendahan, J Guerin, R Boulmani, and Aguir K.  $WO_3$  sensor response according to operating temperature : Experiment and modeling. *Sensors and Actuators B*, 124 :24–29, 2007.

# Active control of generation of bubbles in a biphasic fluid

Thématiques : Energie - Environnement - Chimie

The production of hydrogen as well as oxygen during an electrolysis in a gas phase increase the overpotential and lead to decrease the overall efficiency. Apply an acoustic field to the electrolyser appears to be a mean to reduce the impact of bubbles on electrolyser's efficiency

## Context of the study and main objective

The generation of bubbles during the electrolysis process is one of the most studied topics today. As it is an electrochemical process, bubbles are produced in the anode and the cathode, resulting in the presence of a difference in the volumetric density between the bubbles generated in each part of the anode and the cathode. It should be noted that the amount of bubbles present in the fluid influences the electrical transfer between the two poles and it is important to control this amount.

The main objective of this work is the control of the bubbles generated by electrolysis using ultrasound waves, performing the experiment using equipment capable of capturing the frequency of bubble oscillation and then using the ultrasound equipment to reduce the percentage of bubbles in the fluid. It should be noted that this is not an easy task due to the volumetric difference of the bubbles and their molecular weight.

## Experimental device

The generation of the bubbles through the electrolysis process of a liquid of an alkaline solution KOH (Potassium Hydroxide) takes place during cathode and anode operation. During operation in the cathode, copper, hydrogen is produced (reduction) and in the anode, nickel, oxygen (oxidation), as a result the formation of hydrogen bubbles in the cathode and oxygen bubbles in the anode.

The density of the bubbles in the water depends on the intensity of the electric current and the chemical composition of the liquid. The floatability of the bubbles due to the molecular weight of the hydrogen and oxygen must also be considered, this means that each bubble with a specific size has its own frequency of oscillation.

To develop the experimental model, there is an ultrasonic transducer, accelerometer, for measuring the frequency of bubbles and ultrasonic degassing equipment for electrolytic cells to control the amount of bubbles during the operating process.



Fig. 1: Electrolytic cell & main experimental setup

## Theory

Frequency of Rayleigh permits to calculate the oscillation of the bubbles

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{(n+1)(n-1)(n+2) \frac{\sigma_1}{\rho_1 r_e^3} - (n+2)^2 \frac{\mu_1^2}{\rho_1^2 r_e^4}}$$

$n$  Oscillation mode

$r_e$  Radius in equilibrium

$\sigma_1$  Interfacial tension at the gas-liquid interface

$\mu_1$  Dynamic viscosity

$\rho_1$  Volumetric density

Resonance frequency

$$f_M = \frac{1}{2\pi r_{e,eq}} \sqrt{\frac{3\gamma_g P_1}{\rho_1}}$$

$\gamma_g$  Adiabatic coefficient of gas

$P_1$  Pressure

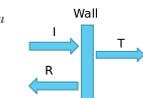
Peak frequency, depends on the explicit constant and variation of time  $f_p(t) = \frac{a_{12}}{\sqrt{t-t_0}}$

$$\text{with } a_{12} \approx \frac{1}{4\pi\beta} \sqrt{\frac{3\pi P_1}{\rho_1 D}}$$

For the acoustic model, the wave equation is used to determine the acoustic pressure of the wave and the impedance of the wave.

Impedance boundary  $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \nabla^2 u$

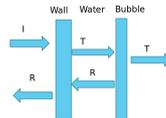
with  $\partial^2 u = k^2 \nabla^2 u$



Wave equation  $y(x, t) = A e^{j(\omega t - kx)}$

Specific acoustical impedance  $Z_a = \frac{P}{u}$   
 $Z_a = \rho u$

$P$  = pressure  
 $u$  = velocity

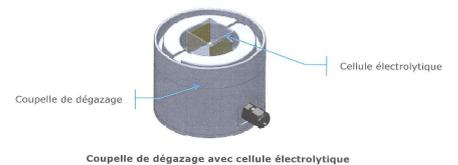


$$T = \left| \frac{T'}{I} \right| = \frac{4Z_1^2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

$$R = \left| \frac{R'}{I} \right| = \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$



Fig. 2: Acquisition device from Sinaptec



Coupelle de dégazage avec cellule électrolytique



Coupelle de dégazage (avec cellule électrolytique) et générateur lab 200

Fig. 3: Ultrasonic degassing equipment for electrolytic cells

## Perspectives

This device will be implemented into our main experimental electrolysis set up which is composed by :

- Potentiostat/Galvanostat
- Particle Image Velocimetry device

By applying an acoustic field to the electrolyser, we will try to determine the size of bubble as well as the bubble flow rate and, from this measurement, determine the optimum configuration for an increment of the cell efficiency.



# INFLUENCE OF PHYSICAL-CHEMICAL ASPECTS ON THE PERFORMANACE OF LEAD ACID BATTERY

Philippe MANDIN, Mohamed BENBOUZID,  
Stéphane PAUL, Thasataran SUBRAMANIAM

IRDL FRE CNRS 3744

Energy – Scientific Simulation – Electrochemistry

Lead acid batteries commonly used in the automobile industry consist of 35 % of sulfuric acid and 65 % of water in general. The physical-chemical parameters of the sulfuric acid in the batteries varies in different regions of the battery. For example, the temperature and the mass percentage of sulfuric acid in the pores of the electrodes are different compared to the one at the bulk and this creates a difference in terms of the density, viscosity, thermal and electrical conductivity, specific heat capacity and so on. Besides that, the dissociation of sulfuric acid into different ions and the formation of precipitates by these ions influences the overall performance of the battery. Furthermore, another important aspect that plays an important role in the performance of the battery is the stratification phenomenon. Stratification is a phenomenon in which there is a formation of two regions within the sulfuric acid, the more acidic region and the less acidic region. So, in order to optimize the performance of the battery, it is important to understand these variations of the physical-chemical parameters as well as the sulfuric acid stratification phenomenon.

**Key words:** Charge - Discharge – Stratification.

## Introduction

This paper discovers:

- Charge and discharge process of lead acid battery.
- Stratification phenomena of the sulfuric acid in the battery.
- Dissociation of sulfuric acid.

The study of the evolution of the physical-chemical parameters has been conducted by referring to the different experimental data obtained and the various mathematical models established by different researchers. Various mathematical models and experimental were gathered and exploited in order to be able to compare the results obtained as a way to have a more accurate understanding on the variation of the physical-chemical properties of the sulfuric acid in the battery.

Then, we studied the dissociation of sulfuric acid and the precipitation that occurs within the acid. The dissociation of the sulfuric acid is a very important aspect to study because it determines the types of ions present locally in the electrolyte. The sulfuric acid dissociation constant varies based on the temperature and the pH. This causes a difference in the types of ions present in the electrolyte, let it be in the bulk or in the electrode pores for different temperatures and pH. So, in order to know the mass percentage of the ions present locally for a particular temperature and pH, we established the distribution diagram of the electrolyte.

As for the stratification, we used a simplified model to understand this phenomenon and a simulation with the modelling software ANSYS is being conducted to understand the evolution pf pH in the electrolyte.

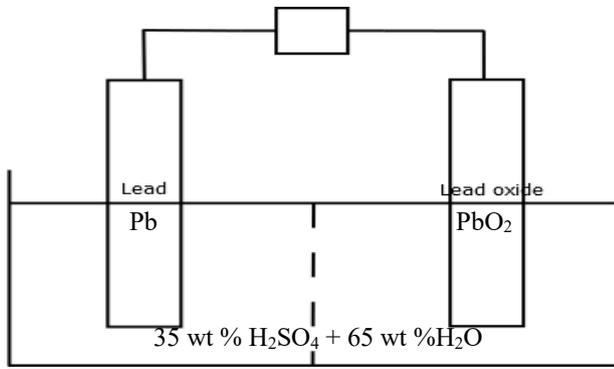


Figure 1. Theoretical electrochemical system of a lead acid battery.

**Charge reaction of the battery:**

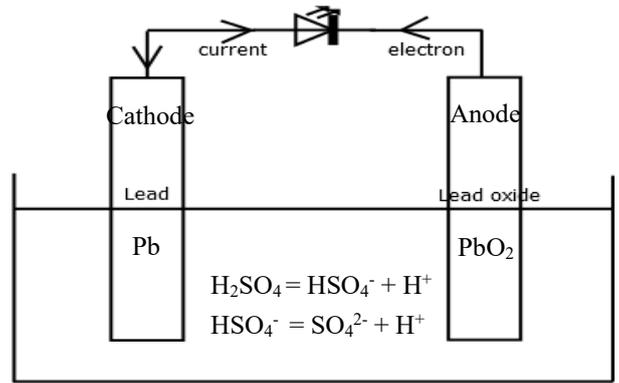


Figure 3. The charging process occurring in the battery.

**Theoretical electrochemical system of the battery**

Figure 1 shows the standard electrochemical system involved in a lead acid battery. A lead acid battery consists of two electrodes, namely lead (Pb) and lead oxide (PbO<sub>2</sub>) as well as concentrated sulfuric acid as the electrolyte. These electrodes are porous electrodes. These electrodes can act as an anode or as a cathode depending on the process undergone by the battery.

**Operating principles**

**Discharge reaction of the battery:**

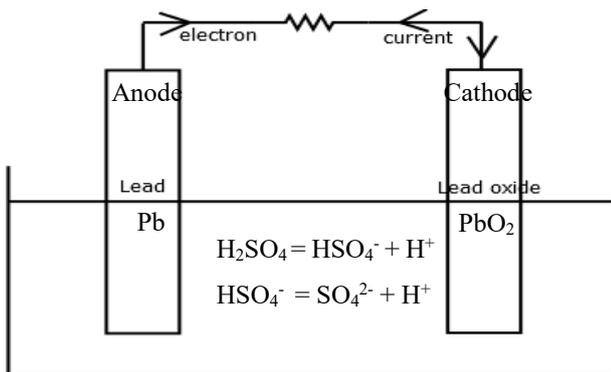
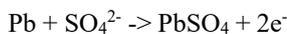
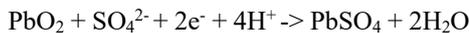


Figure 2. The discharging process occurring in the battery.

**Anode reaction:**



**Cathode reaction:**



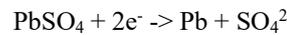
**Global reaction:**



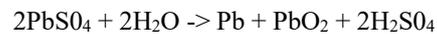
**Anode reaction:**



**Cathode reaction:**



**Global reaction:**

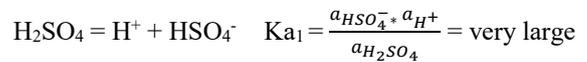


**Dissociation of sulfuric acid**

Since sulfuric acid is a diprotic acid, it undergoes two partial dissociations.

**Dissociation 1:**

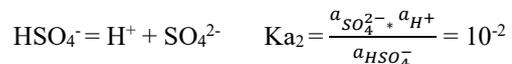
The first dissociation results in the formation of bisulfate and hydrogen ions.



Since  $K_{a1}$  is very large, the electrolyte does not exist in the form of  $\text{H}_2\text{SO}_4$  or even if there is  $\text{H}_2\text{SO}_4$  present, it can be neglected.

**Dissociation 2:**

The second dissociation results in the formation of sulfate and hydrogen ions.



So, in the electrolyte, as ions, we have  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HSO}_4^-$ ,  $\text{H}^+$ . The composition of these ions depends on the pH of the electrolyte. Figure 4 shows the relationship between the fractional composition of these ions and pH of the electrolyte used in the battery.

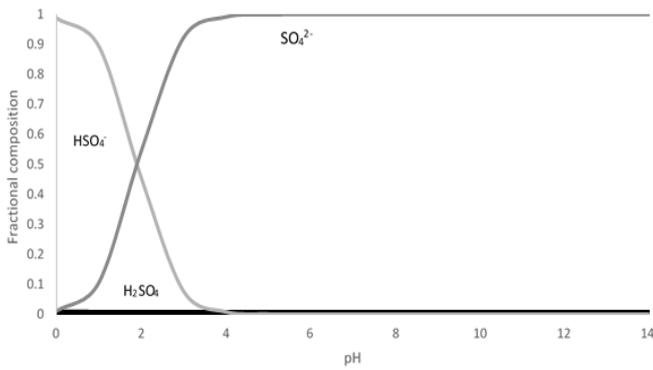


Figure 4. Fractional composition of  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HSO}_4^-$  and  $\text{H}_2\text{SO}_4$  in the electrolyte.

Based on Figure 4, we can clearly observe that the presence of  $\text{H}_2\text{SO}_4$  is negligible. For  $\text{pH} < 2$ , the composition of  $\text{HSO}_4^-$  is greater than the composition of  $\text{SO}_4^{2-}$ . For  $\text{pH} > 2$ , the composition of  $\text{SO}_4^{2-}$  is greater than the one of  $\text{HSO}_4^-$ . The knowledge of the electrolyte's pH is important in order to know the type of reaction occurs near the electrode's surface.

For instance, for  $\text{pH} < 2$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  formed by the oxidation at the anode reacts majorly with  $\text{HSO}_4^-$  to form  $\text{PbSO}_4$  and this formation of  $\text{PbSO}_4$  precipitates is influenced by pH of the electrolyte. For  $\text{pH} > 2$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  reacts mainly with  $\text{SO}_4^{2-}$  to form  $\text{PbSO}_4$  and this precipitation reaction does not depend on the pH of the electrolyte.

### Stratification of sulfuric acid and the variation of pH in the electrolyte

Sulfuric acid stratification is a natural phenomenon in the battery that occurs due to the difference in the density between water and the acid. Due to this stratification, the mass fraction of sulfuric acid differs at different zones of the electrolyte and therefore, the pH of the electrolyte will be different at the different zones.

During the discharge process in the battery, at the anode we have the production of hydrogen ions and the cathode we have the production of water molecules. Since the water molecules has a lower density than the sulfuric acid molecules, the water molecules produced at the cathode will flow upwards and will stay at the top of the electrolyte. So, now we have a large percentage of water at the top of the electrolyte and a large percentage of sulfuric acid at the bottom of the electrolyte. Besides that, since the concentration of sulfuric acid at the top of the electrolyte is small, the pH at the top of the electrolyte will be greater when compared to the one at the bottom part of the electrolyte. This is a very important aspect because this shows that the performance of the battery will not be the same as expected theoretically due to the variation of pH within the electrolyte. Furthermore, at the anode, we have production of hydrogen ions and this decreases the pH of the electrolyte close to the anode surface, thus making this part of electrolyte more acidic compared to the other zones.

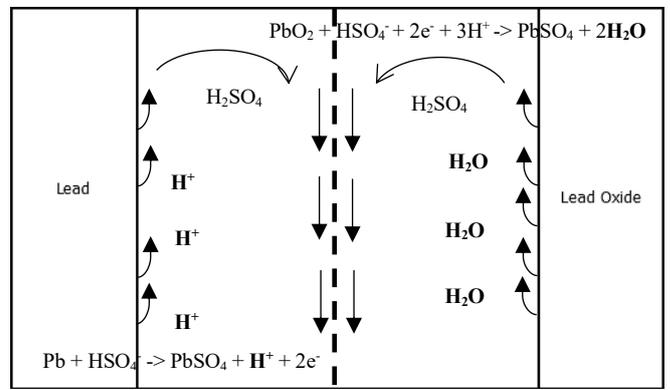


Figure 5. Representation of sulfuric acid stratification phenomenon during discharge.

During the charging process of the battery, at both anode and cathode, we have the production of sulfuric acid. As discussed above, the pH of the electrolyte is more acidic at the bottom of the battery since, the concentration of sulfuric acid at the bottom of the battery is even higher. Therefore, the top part of the battery is less acidic than the bottom part of the battery.

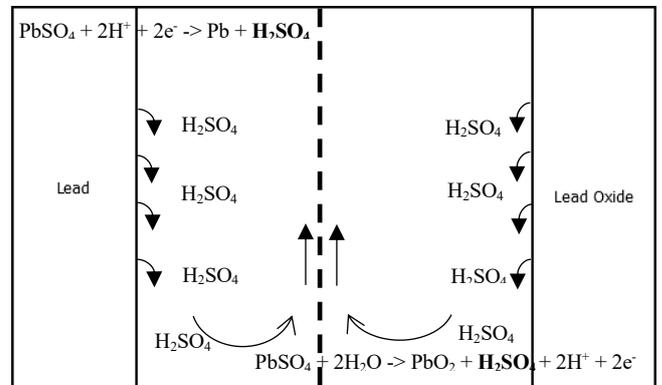


Figure 6. Representation of sulfuric acid stratification phenomenon during the charging.

### Bibliography

- Kathryn, & Bullock R. (1994, June 14). *Lead/acid batteries* [PDF].
- Apateanu, L., Hollenkamp, A. F., & Koop, M. J. (1993). *Electrolyte stratification in lead/acid batteries: Effect of grid antimony and relationship to capacity loss*.

---

## Importance de la connaissance de l'émissivité pour la mesure de température sans contact – exemples d'applications dans le domaine de l'environnement

---

Laurent Ibos<sup>1</sup>   Jean-Pierre Monchau<sup>2</sup>   Mario Marchetti<sup>3</sup>   Jean Dumoulin<sup>4</sup>  
ibos@u-pec.fr   monchau@themacs.fr   mario.marchetti@cerema.fr   jean.dumoulin@ifsttar.fr

Vincent Feuillet<sup>1</sup>   Mathieu Kremer<sup>2</sup>   Nicolas Lalanne<sup>2</sup>  
Vincent.feUILLET@u-pec.fr   kremer@themacs.fr   lalanne@themacs.fr

Laurent Peiffer<sup>3</sup>   Bruno Saintot<sup>3</sup>  
laurent.peiffer@cerema.fr   bruno.saintot@cerema.fr

<sup>1</sup> IUT de Créteil-Vitry, Université Paris-Est Créteil Val de Marne  
Centre d'Etudes et de Recherche en Thermique, Environnement et Systèmes, EA 3481

<sup>2</sup> THEMACS Ingénierie, Champs-sur-Marne

<sup>3</sup> CEREMA-DTer Est, Laboratoire de Nancy, Tomblaine

<sup>4</sup> Institut Français Scientifique des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR), Bouguenay

**Thèmes** – *Énergie - Environnement - Imagerie - Matériaux*

**Résumé** – *L'émissivité est un paramètre décrivant la quantité de flux émise par une surface à une température donnée par rapport à un corps de référence idéal, appelé « corps noir » (émetteur parfait). Ce paramètre doit être connu avec précision dans différentes situations, notamment lorsque l'on réalise un bilan thermique sur une surface, ou bien encore lorsque l'on souhaite réaliser une mesure de température sans contact, par exemple par thermographie infrarouge. Cependant, l'émissivité dépend de nombreux paramètres parmi lesquels, la nature du matériau de surface et sa rugosité, la longueur d'onde et la direction d'observation, la température... Nous présentons dans cette communication une illustration de l'importance de la connaissance de ce paramètre et des moyens nécessaires pour sa caractérisation pour trois applications concernant la détermination de la température de surface sans contact dans le domaine de l'environnement : diagnostic de l'isolation thermique de parois de bâtiments, estimation du risque d'occurrence de verglas sur des itinéraires routiers, surveillance de la température de surface terrestre par observation satellitaire.*

**Mots-Clés** – *Emissivité, transferts radiatifs, Thermographie Infrarouge.*

## 1 Introduction

L'émissivité  $\varepsilon$  est une propriété thermo-optique de surface qui est primordiale dans le calcul des échanges de chaleur par rayonnement (transferts radiatifs). Elle a en particulier une forte influence sur l'estimation de la température d'une surface, soit à partir d'un bilan thermique, soit à partir d'une mesure sans contact. Il existe de nombreuses applications dans le domaine de l'environnement pour lesquelles la connaissance de la température d'une surface est importante. Nous traiterons dans cette communication de trois applications : le diagnostic de l'isolation thermique de parois de bâtiments, l'estimation du risque d'occurrence de verglas sur des itinéraires routiers et enfin la surveillance de la température du sol terrestre par mesures satellitaires. Pour chacune de ces applications, nous illustrerons la problématique liée à la méconnaissance de l'émissivité et les moyens métrologiques mis en œuvre permettant d'obtenir des informations sur l'émissivité des matériaux.

## 2 Principes physiques

### 2.1 Rappels sur l'émission des corps

Tout corps à une température supérieure au zéro absolu, émet spontanément du rayonnement électromagnétique. Un corps noir est un émetteur « parfait » de rayonnement. C'est le corps qui émet le maximum d'énergie (répartie spectralement suivant la loi de Planck) à une température donnée. Pour chaque température, il existe une longueur d'onde  $\lambda_{\max}$  pour laquelle l'émission du corps noir est maximale. La relation entre la température absolue  $T$  (en K) et  $\lambda_{\max}$  (en  $\mu\text{m}$ ) est définie par la loi de Wien :

$$\lambda_{\max} \times T = 2897 \mu\text{m.K} \quad (1)$$

Pour les corps à température proche de la température ambiante ( $\approx 290$  K), le maximum d'émission est situé à environ  $10 \mu\text{m}$  (domaine de l'infrarouge moyen). Plus la température d'un corps est élevée, plus le maximum d'émission est décalé vers les longueurs d'onde courtes.

### 2.2 Emissivité d'une surface

L'émissivité est définie comme le rapport entre la luminance émise par une surface à une température  $T$  et une longueur d'onde donnée  $\lambda$  dans une direction  $\theta$  et la luminance émise par un corps noir dans les mêmes conditions. Cette grandeur est donc sans dimension et de valeur comprise entre 0 et 1. De par sa définition, c'est une grandeur monochromatique et directionnelle. En moyennant sur toutes les longueurs d'onde en pondérant par la courbe de Planck, on obtient une émissivité dite totale. En intégrant sur toutes les directions, on obtient une émissivité dite hémisphérique. Pour un calcul de bilan radiatif sur une surface, le paramètre à considérer est l'émissivité totale hémisphérique. Dans ce cas, on peut

déterminer l'émittance  $M$  de la surface à partir de la loi de Stefan :

$$M = \varepsilon \sigma T^4 \quad (2)$$

où  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$  est la constante de Stefan-Boltzmann et  $T$  la température absolue (en K).

### 2.3 Paramètres influant sur l'émissivité d'une surface

L'émissivité d'une surface dépend de plusieurs facteurs, parmi lesquels :

- la nature du matériau : distinction entre les matériaux diélectriques (forte émissivité) et les conducteurs électriques (faible émissivité) ;
- la composition chimique de la surface (présence de zones oxydées par exemple sur un métal) ;
- la rugosité de la surface, une surface rugueuse ayant une émissivité plus élevée ;
- l'angle d'émission (ou d'observation) ;
- la longueur d'onde (un « corps gris » possède une émissivité peu dépendante de la longueur d'onde) ;
- la température, qui peut agir sur la valeur de l'émissivité soit par une variation intrinsèque des propriétés du matériau ou de la présence de changements de phase ou bien encore du fait d'une forte variation de l'émissivité en fonction de la longueur d'onde.

### 2.4 Mesure de température de surface sans contact par méthodes infrarouge

La mesure de température de surface sans contact, pour des corps à température proche de l'ambiante, s'effectue donc en utilisant des détecteurs de rayonnement infrarouge : caméras thermiques ou détecteurs ponctuels (radiomètres, thermopiles, pyromètres). A partir de l'étalonnage du détecteur, il est possible de calculer la température « équivalent corps noir »  $T_0$  de la surface, ou « température apparente ». La luminance mesurée par une caméra thermique est composée de trois termes : émission propre de la surface, réflexion du flux émis par l'environnement de la scène thermique et émission de l'atmosphère. La température de surface  $T_s$  peut ensuite être calculée à partir de la relation (3), moyennant la connaissance du facteur de transmission atmosphérique  $\tau$  (qui peut être estimé connaissant l'humidité relative de l'air et la distance d'observation), de la température d'air  $T_a$ , de la température moyenne de l'environnement radiatif  $T_{\text{env}}$  (mesurée suivant [1]) et de l'émissivité  $\varepsilon$  :

$$T_s = \left[ \left( T_0^4 - \tau(1-\varepsilon)T_{\text{env}}^4 - (1-\tau)T_a^4 \right) / (\tau\varepsilon) \right]^{1/4} \quad (3)$$

## 3 Exemples d'applications

### 3.1 Diagnostic de l'isolation thermique de bâtiments

La problématique principale dans ce cas est de disposer de l'émissivité des surfaces visées. Un exemple d'image thermique obtenue sur deux bâtiments neufs occupés

possédant deux revêtements d'émissivité différente est présenté sur la Figure 1. La différence de température apparente observée ne peut s'expliquer par des niveaux d'isolation différents. A partir de la relation (3), il est possible de déterminer l'erreur sur la mesure de température de surface pour différentes valeurs d'émissivité et de  $T_{env}$ . On note, dans certaines situations, des erreurs supérieures à plusieurs degrés [2]. La solution pour pallier ce problème est de réaliser une mesure sur site, ce qui a pu être effectué grâce au développement de l'émissomètre portable EM2 [3].



Figure 1 – Exemple d'image thermique de la façade extérieure de bâtiments de revêtements d'émissivité différente

### 3.2 Mesures de la température de sol par télédétection infrarouge satellitaire

La température des sols terrestres est mesurée en permanence par des satellites géostationnaires munis de détecteurs infrarouge. Afin d'effectuer des corrections des valeurs mesurées, différents sites servent de référence. Le site du désert de Gobabeb en Namibie, site aride avec une très faible couverture nuageuse, est l'un de ces sites. Une campagne de mesure associant différents partenaires européens et pilotée par le KIT a été menée en 2017. Des mesures par caméra thermique et d'émissivité des sols à l'aide de l'appareil EM2 ont été effectuées (Cf Figure 2). Des échantillons prélevés sur site ont également été analysés par spectrométrie IR. On note sur la Figure 3 que l'émissivité spectrale du sable et des graviers prélevés est différente et qu'elle varie fortement avec la longueur d'onde (notamment autour de  $10\mu\text{m}$ ). Les détecteurs thermiques utilisés n'ayant pas tous la même réponse spectrale, il est nécessaire de prendre en compte ces variations afin d'obtenir une émissivité apparente pour chaque type de détecteur.



Figure 2 – Mesures d'émissivité et par thermographie IR sur le site de Gobabeb en Namibie

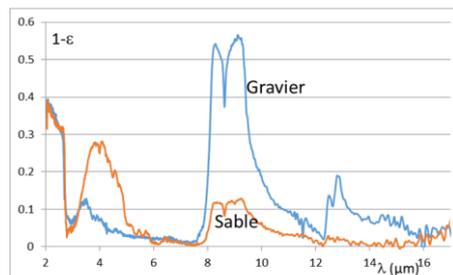


Figure 3 – Réflectance d'échantillons du désert de Gobabeb

### 3.3 Estimation du risque d'occurrence de verglas sur les itinéraires routiers

Pour cette application, la mesure de température de surface s'effectue à l'aide d'une caméra thermique embarquée sur véhicule [4]. Dans ce cas, on se heurte au problème de la diversité des revêtements de chaussée et au problème de l'angle de visée qui est variable suivant la position dans l'image thermique. Il est donc nécessaire de disposer de la variation angulaire de l'émissivité. L'appareil SPIDER, couplé à des mesures par spectromètre IR permet de mesurer l'indicatrice d'émission de revêtements de chaussée (Cf Figure 4) en utilisant directement la caméra thermique utilisée pour les mesures embarquées (Cf Figure 5).

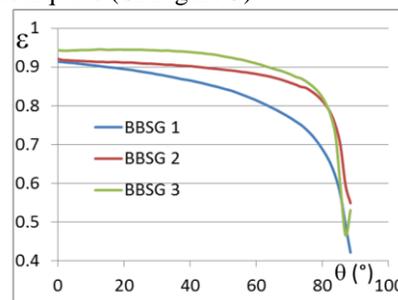


Figure 4 – Exemple d'indicatrices d'émission obtenues sur 3 bétons bitumineux (BBSG) à l'aide de l'instrument SPIDER

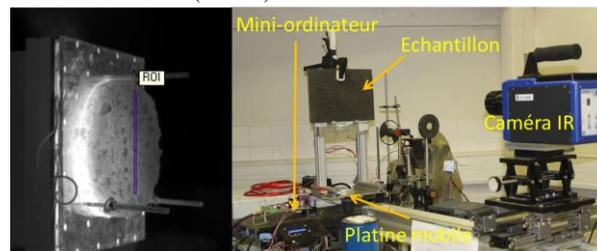


Figure 5 – Vues de l'instrument SPIDER

### Références

- [1] S. Datcu, L. Ibos, Y. Candau, S. Mattéi, *Infrared Physics and Technology*, Vol. 46, pp.451-467 (2005)
- [2] L. Ibos, HDR Université Paris-Est, décembre 2012
- [3] J.P. Monchau, M. Marchetti, L. Ibos, J. Dumoulin, V. Feuillet, Y. Candau, *International Journal of Thermophysics*, Vol. 35 (9-10), pp. 1817-1831 (2014).
- [4] M. Marchetti, M. Moutton, S. Ludwig, L. Ibos, V. Feuillet, J. Dumoulin, *International Journal of Geophysics*, Vol. 2011, Article ID 514970, 8 pages (2011)

Informatique / Robotique / Imagerie /  
Electronique / Mathématiques

---

# Quand le numérique devient un objet-frontière entre disciplines de recherche :

## Cas de la Blockchain dans les démarches de Supply Chain Management et de Marketing.

---

Vichara Kin<sup>1</sup>    Marie-Pascale Senkel<sup>2</sup>    François Jan<sup>3</sup>  
[vichara.kin@univ-nantes.fr](mailto:vichara.kin@univ-nantes.fr)    [marie-pascale.senkel@univ-nantes.fr](mailto:marie-pascale.senkel@univ-nantes.fr)    [francois.jan@univ-nantes.fr](mailto:francois.jan@univ-nantes.fr)

<sup>1</sup> IAE de Nantes, Université de Nantes  
Laboratoire d'Économie et de Management de Nantes-Atlantique, EA 4272

<sup>2</sup> IUT de Saint-Nazaire, Université de Nantes  
Laboratoire d'Économie et de Management de Nantes-Atlantique, EA 4272

<sup>3</sup> IUT de Saint-Nazaire, Université de Nantes  
Pôle Achats Supply Chain Atlantique

**Thèmes** – *Sciences de Gestion*

**Résumé** – *Dans un environnement marqué par le numérique, rares sont les disciplines qui n'interrogent pas leur rapport à ce phénomène. Est-il possible que des innovations numériques permettent, tels des objets frontières, de créer ou renforcer des ponts entre disciplines ? La recherche illustre le fait que ces ponts existent et doivent être entretenus. Dans le cadre d'une démarche Supply Chain Management, la focalisation sur une technologie comme celle de la Blockchain pourrait nourrir une démarche Marketing. Sous le drapeau de la traçabilité, la Blockchain permettrait d'augmenter la confiance et les échanges entre acteurs, ainsi que la satisfaction des clients et la réputation de distributeurs. Elle permet de voir dans les innovations numériques un objet frontière soutenant les efforts vers l'interdisciplinarité.*

**Mots-Clés** – *Objet-frontière, Blockchain, Supply Chain Management, Marketing.*

## 1 Introduction

Le Supply Chain Management (SCM) est une philosophie managériale transverse et intégrative visant le pilotage de l'ensemble des flux d'une supply chain pour satisfaire le client (Roussat et Fabbe-Costes [1]). A la recherche de relations plus collaboratives tournées vers la création de valeur pour l'ensemble des acteurs d'une chaîne (Mentzer et al [2]), il se concrétise régulièrement par diverses pratiques comme la mutualisation (Charvet et al [3]). Or, la volonté de créer de la valeur pour l'ensemble des acteurs (Galvagno et Dalli [4]), la recherche d'une gouvernance moins conflictuelle entre acteurs d'un canal (Abbad et al, [5]) et l'orientation vers le client peuvent être liées à des réflexions en Marketing (Combes et Nicholson [6]).

Considérant la démarche de SCM comme une démarche de management stratégique, une revue bibliométrique montre ainsi que le pont le plus naturel en Sciences de Gestion se situe entre Marketing et Management (Clark et al [7]).

Or, dans un monde marqué par le développement de technologies et procédés associés au numérique (Ross et al [8]), explorer la façon dont ces outils peuvent soutenir les démarches de SCM et Marketing devient intéressant. Dans ce cadre, la Blockchain (BC) suscite un engouement grandissant. D'ores et déjà, des expérimentations sont menées. Carrefour expérimente la BC pour assurer la traçabilité de sa filière de volailles qualité produites en Auvergne (Protais [9]). Maersk, en partenariat avec IBM, développe via Hyperledger une plateforme de fret maritime automatisant certains contrats (Gros [10]). Dès lors, la question de recherche suivante est posée : **Le développement du numérique peut-il faciliter les ponts entre disciplines de recherche en sciences de gestion ?**

Pour apporter des éléments de réponse à cette problématique, la recherche propose de focaliser l'attention sur une technologie montante : la Blockchain (2). Cette focalisation permet de générer des ponts entre les démarches de SCM et Marketing, renvoyant à une littérature sur les objets-frontières (3). L'interrogation d'experts de la Blockchain permet alors d'éclairer ces ponts (4) avant de conclure sur le sujet (5).

## 2 Le numérique via Blockchain

La Blockchain est un registre distribué qui permet de partager des informations de façon transparente et sécurisée, et ce, sans organe central de contrôle.

Elle facilite les pratiques collaboratives en permettant le partage d'informations entre acteurs appartenant à un réseau constitué selon des protocoles prédéfinis validés par les acteurs. Appelés « nœuds », ceux-ci disposent de façon démocratique des mêmes informations. Ces informations sont difficilement falsifiables grâce à une

procédure de cryptage et décryptage qui assure une préservation et transparence des informations circulant dans le réseau.

Rendue célèbre sous l'essor de cryptomonnaies, notamment le Bitcoin, la Blockchain, dans ses principes, est représentative des défis du numérique et peut être déclinée en diverses applications (Tapscott et Tapscott [11]): assurances avec exécution automatique de *smart contracts*, traçabilité de filières dans l'alimentaire, culture avec identification d'objets d'art, etc. Par la question de la traçabilité, soutenue par des technologies de lecture des informations à traduire (IoT, puces RFID, balises GPS...), la BC investit le domaine du SCM, caressant une démarche Marketing par la même occasion.

## 3 La Blockchain dans les démarches SCM et Marketing

Pour assurer la traçabilité de produits de façon fiable et transparente, la BC suppose une harmonisation d'une partie des systèmes d'informations des acteurs de la chaîne. Cependant, cette harmonisation était difficilement permise dans le cadre de problématiques de SCM, du fait de la question de la confiance entre acteurs de la chaîne qui y voyaient des risques pour leur position. « Résolvant » la question de la confiance et transparence, la Blockchain pourrait participer à la construction de l'entreprise étendue, qui, dans une perspective SCM, se manifeste par une action collective de l'ensemble des acteurs dont les liens se resserrent dans la chaîne autour d'un système partagé (Fabbe-Costes [12]).

Elle pourrait ainsi permettre de mieux satisfaire le client, en mettant d'une part à sa disposition une information témoignant de la qualité de la chaîne, et en assurant d'autre part un gain de temps voire de coût grâce à une réduction dans la « traduction » et vérification des informations pour chaque acteur de la BC. Il s'agit d'améliorer la réputation de l'ensemble des acteurs de la chaîne, ancrant ces questions dans des perspectives Marketing. Des ponts entre disciplines semblent être ainsi favorisés par le développement d'innovations dans le numérique ; la BC constitue dans ce cadre une illustration d'un potentiel « objet-frontière » entre les disciplines (Star et Griesemer [13]), vers une meilleure compréhension, complémentarité et langage plus uniformisé entre acteurs de ces disciplines qui, malgré leurs différences, se réunissent et échangent autour d'elle. Cette interdisciplinarité via des innovations numériques pourrait constituer une voie de recherche intéressante pour la littérature, mais manque encore de cas concrets.

## 4 L'avis des experts de la Blockchain

Dans cette perspective, un pas est tenté avec cette communication, grâce à des entretiens avec des experts de

la BC. Cinq experts engagés sur la thématique de la BC sont interrogés (deux experts de l'édition de logiciels travaillant sur les opportunités BC, deux experts d'une entreprise apportant des solutions BC et un expert appartenant à une association informant sur la BC).

L'analyse des verbatims montre que les innovations numériques telles que la Blockchain constituent une voie solutionnant à la fois des problématiques de SCM et de Marketing, telles qu'explicitées dans le point 3. « *Elle bâtit des ponts entre acteurs de la supply chain, par la confiance, la transparence, et c'est tout bénéf' pour tout le monde, les producteurs, les distributeurs, et le consommateur, qui a une image plus positive. Il se dit : 's'ils collaborent et me donnent accès à leurs informations, c'est qu'ils s'entendent bien, et s'ils me donnent accès à des informations, c'est qu'ils savent que leur produit est de qualité, ils ont confiance, donc d'une certaine manière, eh bien, je peux avoir confiance aussi en ce produit', voilà comment ils raisonnent* ». Un autre répondant traite de ce pont entre SCM et Marketing : « *Les partenaires ont tout à gagner à mettre en place la Blockchain, car elle facilite leurs échanges, uniformisés, et constitue une vitrine de la communication des entreprises.* » Sûrs de l'intérêt de la BC pour une vision globale de la création de valeur pour les parties prenantes de la chaîne, une forme de « militantisme » enthousiaste est assumée par certains experts : « *On est des techno-évangélistes, qui informons le public sur toutes les opportunités de la Blockchain* ». Cependant, un pragmatisme demeure sur le sujet, éloignant la perspective de l'entreprise étendue en faveur d'un recentrage vers une perspective transactionnelle. « *Il faut montrer qu'on est capables de monter un protocole, qui satisfasse tout le monde, qui ne constitue pas un moyen de plus à charge d'untel, une idée imposée par untel, mais comme un outil qui soit pratique pour tous, sans trop d'efforts et de risques pris.* ».

## 5 Conclusion : vers le renforcement de ponts entre disciplines par le numérique

Finalement, les innovations numériques de ces dernières années pourraient constituer des opportunités, non seulement pour la collaboration des acteurs qui les utilisent, mais aussi en tant qu'objet de recherche favorisant l'interdisciplinarité.

Au sein d'une chaîne, il ne s'agit pas d'espérer une transformation radicale des relations entre acteurs mais plutôt de mieux piloter une interdépendance pour une création de valeur satisfaisant chaque acteur. De même, sur le plan de l'interdisciplinarité, il ne s'agit pas de révolutionner les ponts déjà existants entre disciplines de recherche, mais de voir en ces innovations des objets frontières favorisant des recherches interdisciplinaires.

Si le focus proposé dans cette communication est orienté SCM-Marketing, d'autres ponts sont possibles, non seulement en sciences de gestion (orientation vers les ressources humaines, systèmes d'information, etc), mais également hors des Sciences de Gestion (physique, médecine, sociologie etc) ! Moyen de lien entre les hommes, gage est donné que les innovations numériques trouveront un écho favorable auprès de recherches interdisciplinaires dans les années à venir.

## Références

- [1] Roussat, C., et Fabbe-Costes, N. (2008), "Une démarche d'exploration prospective: le processus d'intelligence logistique", *Management & Avenir*, No. 3, pp. 185-204.
- [2] Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., et Zacharia, Z. G. (2001), "Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*", Vol. 22, No. 2, pp. 1-25.
- [3] Charvet, F. F., Cooper, M. C., et Gardner, J. T. (2008), "The intellectual structure of SCM". *Journal of business Logistics*", Vol. 29, No. 1, pp. 47-73.
- [4] Galvagno, M., et Dalli, D. (2014), "Theory of value co-creation: a systematic literature review", *Managing Service Quality*, Vol. 24, No. 6, pp. 643-683.
- [5] Abbad, H., Paché, G., et Bonet Fernandez, D. (2012), "Peut-on désormais parler d'engagement du distributeur dans la relation avec l'industriel?", *Management international*, Vol. 16, N°4, pp. 103-116.
- [6] Coombes, P. H., et Nicholson, J. D. (2013), "Business models and their relationship with marketing", *Industrial Marketing Management*, Vol. 42, No. 5, pp. 656-664.
- [7] Clark, T., Key, T. M., Hodis, M., et Rajaratnam, D. (2014), "The intellectual ecology of mainstream marketing research", *Journal of the Academy of Marketing Science*, Vol. 42, No. 3, pp. 223-241.
- [8] Ross, J. W., Beath, C. M., et Sebastian, I. M. (2017), "How to Develop a Great Digital Strategy", *MIT Sloan Management Review*, Vol. 58, No. 2, pp. 7.
- [9] Protais, M. (2018), "Carrefour se lance dans la blockchain... et ce n'est pas le seul à s'y intéresser", *Usine Nouvelle*, du 07/03/2018.
- [10] Gros, M. (2017), "La fondation Linux modélise l'automatisation de contrats sur blockchain", *Le Monde Informatique*, du 09/05/2017.
- [11] Tapscott, D., et Tapscott, A. (2016), *Blockchain Revolution: How the technology behind Bitcoin is changing money, Business, and the world*, Penguin.
- [12] Fabbe-Costes, N. (2002), "Evaluer la création de valeur du Supply Chain Management", *Logistique & Management*, Vol. 10, No. 1, pp. 29-36.
- [13] Star S.L., et Griesemer J. (1989), "Institutional ecology, 'Translations' and Boundary objects", *Social Studies of Sciences*, No. 19, pp. 387-420.

---

## Accessibilité des sites web pour les personnes présentant une incapacité visuelle

---

Katerine ROMEO<sup>1</sup>

[Katerine.Romeo@univ-rouen.fr](mailto:Katerine.Romeo@univ-rouen.fr)

Edwige Pissaloux<sup>2</sup>

[Edwige.Pissaloux@univ-rouen.fr](mailto:Edwige.Pissaloux@univ-rouen.fr)

Frédéric Serin<sup>3</sup>

[Frederic.Serin@univ-lehavre.fr](mailto:Frederic.Serin@univ-lehavre.fr)

<sup>1</sup> IUT de Rouen, <sup>2</sup> Université de Rouen Normandie, <sup>3</sup> Université du Havre Normandie  
Laboratoire LITIS/CNRS FR 3638

**Thèmes** – *Informatique - Robotique - Imagerie*

**Résumé** – *L'accessibilité des sites web pour les personnes présentant une incapacité visuelle (PPIV) est malmenée avec les lecteurs d'écran qui ne sont pas toujours adaptés à l'interactivité que les technologies web/multimédia actuelles nécessitent. Ce papier analyse les difficultés d'accès à l'information avec l'utilisation des différentes technologies et avec les recommandations existantes pour la conception des sites web accessibles à tous. Les résultats d'évaluation préliminaire avec les PPIV du site web de notre projet ACCESSPACE sont présentés.*

**Mots-Clés** – *E-accessibilité, information visuelle, information tactile, déficience visuelle.*

## 1 Introduction

Nous sommes actuellement confrontés à un illettrisme numérique d'un nombre grandissant de personnes présentant une incapacité visuelle (PPIV, seniors compris) car l'accessibilité des sites web et des documents numériques/multimédia ne suit pas les évolutions de technologies de conception de logiciels. Pourtant, des efforts sont faits depuis 2009, avec le Référentiel Général d'Accessibilité pour les Administrations (RGAA); avec les recommandations d'AccessiWeb et d'Opquast qui a établi une liste de 226 critères pour un site de qualité et accessible. Les recommandations ne sont pas toujours bien comprises ou pas correctement implantées par les concepteurs et réalisateurs de sites.

Or, selon l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) déjà 253 millions de personnes présentent une incapacité visuelle dans le monde [1] et ce nombre continue à croître avec la société numérique et avec l'allongement de la vie. Différents types de déficience doivent être considérés ; en effet, parmi les PPIV répertoriées 4,5% environ ont une déficience de perception de couleur, 4% de personnes ont une vision tubulaire ou un champ de vue réduit ou encore des problèmes d'acuité visuelle, et 0,6% sont des non-voyants. Tous, mais les PPIV en premier, ont des difficultés à localiser l'information sur les sites web et à comprendre le contenu indiqué. Ces difficultés peuvent être induites par des technologies d'assistance logicielles (comme des lecteurs d'écran), et matérielles (comme des tablettes braille).

Cette communication analyse les méthodes d'exploration d'un document (Section 2). Les faiblesses de technologies les plus populaires pour accéder au document sont rappelées dans la Section 3. Les résultats de l'évaluation préliminaire de ce dernier point avec les déficients visuels sont analysés dans la Section 4. La Section 5 conclut et indique quelques prolongements possibles du travail présenté.

## 2 Exploration d'un document numérique

L'exploration d'un document numérique est une fonction de deux variables : les stratégies cognitives de l'exploration du texte lu et de l'organisation spatiale du texte. La lecture naturelle met en œuvre les différentes stratégies cognitives pour comprendre un document avec une suite de processus cognitifs élémentaires [2]. Parmi ces processus on peut citer la saisie de l'information dans une phrase, l'intégration et la recherche de cohérence entre les phrases, la compréhension du texte en entier et l'identification des idées principales, l'élaboration du texte (qui s'appuie sur la prédiction, l'image mentale, la réponse affective) ; et aussi, la perception par le lecteur de ses capacités à comprendre le texte et à se réajuster s'il ne le comprend pas. Cependant, ces processus sont impactés

par l'organisation de document : linéaire ou non.

La lecture d'un *document linéaire* (un livre par exemple) se fait de façon séquentielle. Les mots sont identifiés et la position de certains mots importants dans la page est mémorisée. Ce processus permet des retours en arrière à une place fixe et une bonne assimilation des informations. Le contexte restant stable, les processus d'appréhension et de mémorisation de l'information sont renforcés. Lorsqu'on lit un texte sur une page web, ce processus de mémorisation spatiale de mots est affaibli avec le déroulement vertical (scrolling), voire perdu avec les mises à jour instantanées de pages (travail collaboratif avec des documents partagés). Le lecteur est confronté à une instabilité spatiale et perd ses repères spatiaux. Consulter plusieurs pages en parallèle amène la confusion avec des répétitions et rend difficile la représentation mentale du contenu qui évolue en une *structure arborescente*.

Tous les éléments d'accès et d'exploration d'un document cités ci-dessus sollicitent grandement la vision et sont donc non exploitables par les PPIV privées de la perception visuo-spatiale. La navigation sur internet ou dans un document pour la PPIV se passe différemment : le lecteur d'écran parcourt séquentiellement un document. En effet, un lecteur de l'écran est une source unique de l'information (audio, TTS – texte-to-speech) ; comme il ne peut mettre en œuvre que la lecture séquentielle (mono-voix), il suppose que tout document a une structure linéaire et il provoque une perte de l'information sur l'organisation spatiale de celui-ci. Pour pallier à ces inconvénients certaines règles d'organisation spatiale ont été proposées. L'organisation par menus (déroulants) en est une. La navigation d'un site web à travers un menu placé tout en haut de la page d'accueil – à la racine de l'arborescence du document entier. Aussi, la recherche de l'information sera intimement liée à l'exploration de l'arborescence. La stratégie de son parcours est primordiale car elle conditionne la vitesse d'accès à l'information recherchée et la charge cognitive nécessaire durant cette recherche.

Force est de constater que les moteurs de parcours de l'arbre du document offrent surtout la stratégie de parcours systématique. En effet, la structure d'un document web type en HTML5 est une arborescence dont les sommets (nœuds) sont matérialisés avec des balises sémantiques ; ces balises devraient être situées à leur place de définition. *La figure 1* montre l'arborescence de la structure de la page web HTML5 sémantique.



Figure 1 – Arborescence d'une page web HTML5 sémantique.

### 3 Technologies pour accéder au document.

Deux technologies sont les plus populaires auprès de PPIV pour accéder au contenu d'un document : un lecteur d'écran et une tablette à stimulation tactile.

Le lecteur d'écran JAWS (Job Access With Speech, 1989) accède au DOM (Document Object Model) et utilise les interfaces de programmation du navigateur pour avoir les informations sur les objets, leur rôle, leur nom et leur état afin de les annoncer au moment du parcours de la page [3]. Un autre lecteur d'écran pour Windows est NVDA (Non Visual Desktop Access) développé en 2007 en open source. Ces lecteurs d'écran, grâce aux balises HTML indiquent, tant bien que mal, l'organisation spatiale. Le contenu de la page est exploré séquentiellement en parcourant la liste de balises avec une synthèse vocale ou en braille.

Les tablettes à stimulation tactile affichent, le plus souvent, une information 2D sous l'une de formes à la fois braille, texture ou contours. Leur surface doit être explorée manuellement. Pour les contenus visuels comme des images ou des graphiques, il existe des prototypes de tablettes à retour tactile qui visent à produire des formes simples (approximées) d'informations visuelles [4]. Ces appareils de substitution visuo-tactiles utilisent différentes technologies, comme Stimtac de l'Université de Lille 1 ou la Hap2U, qui présentent une surface avec une vibration et un coefficient de friction plus ou moins intense lors de l'action de l'exploration (principe : action-perception)[5].

### 4 Evaluation préliminaire d'un site web

Nous avons réalisé un site web pour notre projet Accesspace (accesspace.univ-rouen.fr) en collaboration avec L'Espace Handicap de l'Université de Rouen. Sa première réalisation a été une occasion d'appréhender les difficultés rencontrées par des PPIV. La structure est linéaire avec un parcours systématique de l'arborescence attachée au site. Les règles RGAA ont été implantées. Quatre PPIV ayant différents degrés de perception visuelle (déficience tardive, vision tubulaire, vision périphérique, un aveugle de naissance) ont participé à l'évaluation de notre site avec 25 questions notées. Elles ont consulté le site avec un lecteur d'écran, et/ou sa transcription braille (Fig. 3). Pour les malvoyants, le site pouvait être agrandi sur un grand écran. Les participants donnaient une note sur 10 de différents points évalués.



Figure 2 – Evaluation du site avec un lecteur d'écran et un clavier braille ou avec l'agrandissement du contenu.

L'évaluation a porté sur deux éléments : l'accessibilité à l'information et la compréhension du contenu du site. La possibilité de *navigation* sur le site (càd. la recherche des liens) avec le clavier ou la souris a été bien appréciée, ainsi que la tâche de retrouver *l'onglet* (la recherche des « zones cliquables ») qui intéressait le participant, en cas de confusion, a été considéré comme facile. L'accès au contenu d'images et de vidéo a été assez bien évalué mais les participants ont attendu leur meilleure présentation (par exemple avec une audiodescription. Par ailleurs, nous avons constaté que le contenu des pages n'était pas toujours compréhensible avec le lecteur d'écran, surtout quand la configuration de l'outil n'était pas optimisée et personnalisée.

### 5 Conclusion et perspectives

Cette communication a proposé une analyse de l'accessibilité aux informations sur le web et une méthode d'évaluation de l'accessibilité de site avec les PPIV. L'analyse de l'état de l'art montre que les systèmes TIC à parcours systématique de l'arborescence attachée à un document web ne permettent pas d'accéder à toute l'information, et que les normes d'accessibilité existantes ne considèrent pas toute la complexité d'un document.

Un standard de structuration logique du contenu devrait être guidé par sa représentation interne arborescente balisée, et tenir compte des mécanismes cognitifs de recherche des informations. L'évaluation préliminaire du site de notre projet ACCESSPACE confirme que le degré de déficience de chaque participant impacte les besoins en accessibilité ; aussi, la personnalisation d'un outil est fondamentale. Ces résultats devront être affinés avec un nombre plus important de participants qui devraient être repartis dans des groupes plus homogènes, notamment selon le degré de déficience afin de pouvoir utiliser les outils statistiques inférentiels et établir des règles d'accessibilité plus fiables. Finalement, des technologies multimodales d'accessibilité (tactile et audiodescription) devraient être développées.

### Références

- [1] <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/fr/>, consulté le 24 mars 2018
- [2] Giasson J., *La compréhension en lecture*, Editions De Boeck, 2008
- [3] A. Breuneval, "Conception d'une aide à la mobilité d'un déficient visuel", LITIS, Univ. Rouen, Tech. Memo., Juillet 2016 (congenitally blind early researcher).
- [4] S. O'Modhrain, NA. Giudice, JA. Gardner, GE. Legge. « *Designing Media for Visually-impaired users of refreshable touch displays : Possibilities and Pitfalls* » IEEE Trans. On Haptics, DOI 10.1109/TOH.2015.2466231, 2015
- [5] T. Zeng, F. Giraud, B. Lemaire-Semail, M. AMBERG. "Analysis of a New Haptic Display Coupling Tactile and Kinesthetic Feedback to Render Texture and Shape" EuroHaptic2010, Vol. 6192, N°. 2, pages. 87-93, 2010,

---

# Apollo : Modéliser et Simuler les Systèmes de Production Manufacturiers sans Programmer

---

Georges Habchi

[georges.habchi@univ-smb.fr](mailto:georges.habchi@univ-smb.fr)

IUT, Annecy, Université Savoie Mont Blanc  
SYMME – Laboratoire des Systèmes et Matériaux pour la Mécatronique  
5 Chemin de Bellevue – 74940 Annecy-le-Vieux

**Thèmes** – *Productique – Automatique – Sciences pour l'Ingénieur – Mécanique – Informatique*

**Résumé** – *« Apollo » est un outil dédié à la simulation des systèmes manufacturiers. Conçu pour des utilisateurs potentiels non spécialistes des techniques de simulation, à partir de concepts simples et proches des éléments réels du système de production. Du fait qu'il est orienté composants, la programmation au sens informatique est complètement absente et l'utilisation est largement simplifiée sans pour autant réduire les capacités de représentation des systèmes. L'analyse des résultats est aidée par l'exploitation d'indicateurs de performance pertinents et normalisés ainsi que des tableaux de bord associés aux composants. « Apollo » permet de simuler un système afin de valider, invalider ou modifier sa conception ; évaluer une politique de contrôle ; comparer différentes alternatives de production (flux poussé, flux tiré) ; comparer différentes stratégies de pilotage, .... Même si « Apollo » est largement utilisé en entreprise pour simuler des systèmes réels et en recherche pour valider des approches et méthodes nouvelles, il a été dédié initialement à l'enseignement en formation à Bac+5 et principalement dans les formations IUT à Bac+2 et +3.*

**Mots-Clés** – *Modélisation et simulation, Evaluation des performances, Systèmes de production, Logistique industrielle et qualité.*

## 1 Introduction

Dès le début de mon activité d'enseignement en IUT à la fin des années 80 et la prise en charge du module d'enseignement de « *la modélisation et la simulation des systèmes de production* », j'ai senti le grand besoin pour un outil de simulation tel qu'*Apollo*. En effet, il est né d'un vrai besoin pédagogique pour différentes raisons, j'en cite les trois suivantes :

- Les compétences à acquérir par l'étudiant au niveau Bac+2 ne sont pas forcément nécessaires en terme de programmation (même si c'est intéressant !) mais plutôt en **analyse** des résultats et en **proposition de solutions** d'amélioration.
- L'étudiant en IUT et principalement en QLIO manque de compétences en programmation et l'assimilation de certaines notions nécessaires dans cette discipline telles que **variable** et **attribut** est très difficile.
- Les **outils disponibles** sur le marché (par ex. ARENA) ne sont pas orientés pour une pédagogie au niveau Bac+2 (d'après mon expérience sur plus de 30 ans, moins de 5% des étudiants sont capables d'assimiler la modélisation avec ces outils).

Ce besoin d'ordre pédagogique m'a poussé à orienter en partie mes recherches, au début des années 90, vers une nouvelle approche de modélisation et de simulation des systèmes de production.

## 2 Les concepts de STP, EC et CP

D'abord, l'encadrement de deux thèses de doctorat a permis de proposer les méta-modèles des principaux concepts de base d'une approche de modélisation basée sur la notion de composants. Trois concepts principaux ont été élaborés :

- Il s'agit d'abord du concept **STP** (*Système de Traitement du Produit*) [1, 2] alloué des trois fonctions principales de *Réception*, *Traitement* et *Fourniture* et capable de modéliser à niveau d'abstraction élevé tout type de ressources industrielles telles que machine, stock, chariot, convoyeur...
- Le deuxième concept est l'**EC** (*Entité Circulante*) [1,2] qui va modéliser la pièce ou le lot à produire affecté de son processus principal à travers le système de production.
- Le troisième concept est celui du **CP** (*Centre de Pilotage*) [3, 4] qui va permettre de modéliser une certaine intelligence basée sur des règles et des indicateurs de performance afin de piloter certains composants du système (**STP**, **EC**) ou même le système entier afin d'atteindre les objectifs assignés s'ils sont atteignables.

Ensuite, d'autres thèses encadrées ont permis d'apporter un certain nombre d'améliorations importantes (situations de blocage, assemblage, désassemblage, ...), à l'outil développé mais aussi à valider la recherche effectuée avec d'autres approches de modélisation telles que les méthodes analytiques, les règles floues ou certaines méthodes d'optimisation [5, 6].

## 3 La modélisation avec Apollo

*Apollo* [7] dispose d'une **interface** très conviviale ne nécessitant que très peu de compétences informatiques pour mettre en œuvre un modèle de système de production. L'interface est disponible sous les deux langues française et anglaise.

En termes de composants du système de production, le **STP** permet de modéliser les quatre ressources suivantes : machine, stock, convoyeur et chariot.

Pour une **machine** le concept prend en compte toutes les caractéristiques nécessaires :

- La capacité en terme de nombre d'unités.
- La production à l'unité ou par lot.
- La performance (cadence et micros-arrêts).
- Les défaillances et réparations.
- Les rebuts et reprises.
- Les changements de série.
- Le cycle d'activité permettant d'éviter des situations de blocage lors de l'utilisation de machine partagée.
- L'ouverture soit continue soit selon un calendrier.

Pour un **stock** le concept **STP** prend en compte :

- Le type (matière première, encours, produit fini).
- La capacité en nombre de pièces.
- La règle de priorité (FIFO, LIFO, date de besoin, date de lancement, marge, ratio critique, temps opératoire min et max, type de pièce, numéro opération min et max).
- Le groupement par lot pour le transfert.
- La production en kanban.

Pour un **convoyeur**, on prend en compte :

- Le type accumulateur ou non.
- La longueur.
- La vitesse.

Le **chariot** dispose d'un réseau de distances et de stations intermédiaires ou associées aux stocks et machines pour effectuer les déplacements. Il est doté d'une intelligence pour éviter les situations de blocage en cas de non disponibilité de la ressource de destination. Il dispose aussi d'un algorithme de recherche du chemin le plus court. Il est caractérisé par :

- La vitesse à vide et sous charge.
- La règle de gestion des appels (FIFO, LIFO, le moins loin, date de lancement).
- Peut faire un retour immédiat en position de départ après transport si nécessaire.

C'est le concept **EC** qui crée la **dynamique** dans le système à l'aide de son processus. Il permet de modéliser un type de **pièce** caractérisée par :

- Le processus (liste ordonnée des composants sur lesquels la pièce doit passer avec temps opératoires).
- Le délai de production si connu.
- Le niveau de nomenclature.
- Le cas d'assemblage et de désassemblage.

Le concept **CP** permet de modéliser le **pilotage** d'une machine, d'un stock ou du système en utilisant des règles spécifiques et des indicateurs associés à chaque type de ressource pilotée :

- Pour un **stock** et en fonction de son niveau et d'objectifs, il est possible d'appliquer des actions d'optimisation de capacité ou de performance de machine, d'utiliser une autre ressource machine, d'optimiser la taille ou l'intervalle des lancements.
- Pour une **machine** et en fonction de différents types d'indicateurs (occupation, panne, rebut, ...), on peut mettre en place des actions pour améliorer le fonctionnement de la machine en question.
- Pour le **système** et en fonction de l'encours global, il est possible d'optimiser la capacité des machines pour limiter l'encours en dessous d'un seuil critique.

Par ailleurs, l'outil dispose de la possibilité de regrouper plusieurs machines différentes mais fonctionnellement équivalentes pour créer un **Centre de Charge (CC)**.

Des **distributions aléatoires** peuvent être utilisées à chaque fois que c'est nécessaire (random, normale, exponentielle, uniforme, triangulaire, Weibull).

Un **calendrier** principal ou dédié peut être défini. Des plages bien caractérisées (ouverture, fermeture, arrêt planifié, arrêt subi, maintenance préventive...) permettent de calculer les **indicateurs normalisés** selon la démarche TPM tels que TRS, TRE, TRG, ... ou sommatif tels que les taux d'occupation, blocage, libre, changement de série, de panne, de réparation, etc.

En ce qui concerne la **production**, il est possible de créer des **lancements** d'OFs ou d'approvisionner le système en fonction de **méthodes classiques** (point de commande, re-complètement, quantité fixe). Egalement, il est possible de programmer des **livraisons** pour des clients donnés avec des dates de besoin et des quantités bien définies. Les livraisons peuvent être soldées en fonction de différentes règles.

Chaque type de composant (stock, machine, pièce, ...) dispose d'un **tableau de bord** qu'on peut afficher avec tous les indicateurs qui le concernent.

La figure 1 présente un modèle de système et la figure 2 présente les temps d'états et les indicateurs normalisés d'un poste machine.

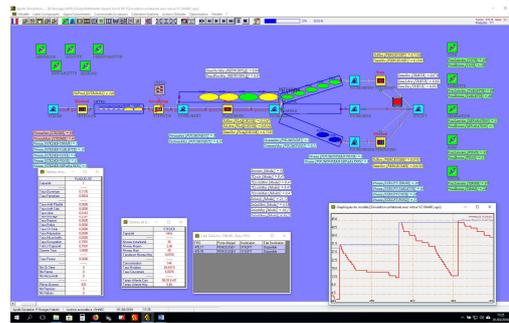


Figure 1 – Aperçu d'un modèle de simulation sous *Apollo*

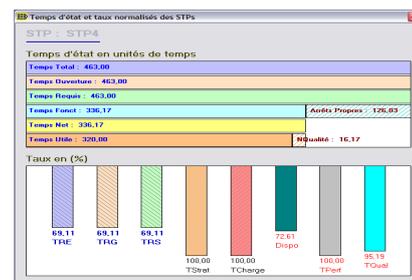


Figure 2 – Temps d'états et indicateurs d'un STP machine

## 4 Conclusions

L'utilisation d'*Apollo* depuis plus de 15 ans a fait ses preuves dans plusieurs IUT, IAE, écoles d'ingénieurs, entreprises. Parfois, à titre de comparaison, les mêmes systèmes sont modélisés et simulés sous **ARENA** et sous *Apollo*, le gain en temps et en convivialité de modélisation mais aussi en analyse des résultats sont très largement appréciés par les utilisateurs.

## Références

- [1] M. Bakalem, G. Habchi, A. Courtois, *PPS: an integrated object oriented approach for modelling and simulation of manufacturing systems*, Proceedings of the IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics, 1994, p. 2184-2189
- [2] M. Bakalem, G. Habchi, A. Courtois, *PPS: a contribution for manufacturing systems simulation*, Proceedings of the Summer Computer Simulation Conference, 1995, p. 390-395
- [3] C. Berchet, G. Habchi, A. Courtois, *Pilotage et prise de décision industrielle*, Proceedings du 3<sup>ème</sup> Congrès International de Génie Industriel, Montréal, 1999, p. 1955-1964
- [4] G. Habchi, C. Berchet, *A model for manufacturing systems simulation with a control dimension*, *SIMPRA Journal*, 2003, Vol. 11, N. 1, p. 21-44
- [5] K. Tamani, R. Boukezzoula, G. Habchi, *Application of a continuous supervisory fuzzy control on a discrete scheduling of manufacturing systems*, *EAAI Journal*, Vol. 24, N. 7, 2011, p. 1162-1173
- [6] I. Nasri, G. Habchi, R. Boukezzoula, *Scheduling and Control Modelling of HVLV Systems using Max-Plus Algebra*, Proceedings of VECoS Conference, Tunis, 2011, p. 62-71
- [7] <http://qlio-annecy-transfert.com/>

# Propriétés autour de la Polynômisation Algébrique Aléatoire de Signaux Physiologiques

---

Christophe Corbier<sup>1</sup>

christophe.corbier@univ-st-etienne.fr

<sup>1</sup> Université de Lyon, Université Jean Monnet de St-Etienne, IUT de Roanne  
Laboratoire d'Analyse des Signaux et des Processus Industriels

**THÈMES** – *Santé - Mathématiques*

**RÉSUMÉ** – *Le présent article montre l'application des polynômes algébriques à coefficients aléatoires réels pour la modélisation des signaux physiologiques tels que électrocardiogramme, pression artérielle et pression du talon du pied. Quelques propriétés sont proposées. La première énonce une relation modifiée de la formule de Kac quant à l'espérance mathématique du nombre de zéros réels pour le signal cardiaque. La deuxième précise que la modélisation par ces polynômes algébriques amène naturellement à un filtrage passe-bas et donc à une forte diminution du signal bruit. La troisième énonce la régularité globale du champ aléatoire construit à partir des cycles aléatoires synchronisés des signaux. Des résultats expérimentaux sur des signaux physiologiques réels sont montrés et des applications praticiennes médicales sont proposées.*

**MOTS-CLÉS** – *Polynôme algébrique aléatoire, champ aléatoire, régularité globale*

## 1 Introduction

Cet article présente la modélisation de quelques signaux physiologiques humains par des polynômes algébriques à coefficients aléatoires réels et d'en donner certaines propriétés fondamentales. L'usage de ces polynômes au domaine de la physiologie est toute nouvelle et ouvrira certainement un spectre d'applications médicales futures. Les polynômes aléatoires ont suscité très tôt un vif intérêt dans les communautés telles que les mathématiques [1], l'ingénierie signal et l'ingénierie mécanique [2]. Cependant, ils restent complètement absents en traitement du signal physiologique. Un polynôme algébrique à coefficients aléatoires réels de degré  $D > 1$  est défini sur un cycle  $s$  par

$$\psi_D^{cyc}(\mathcal{E}, \bar{\omega}, X(s)) = \sum_{k=0}^D a_k(s, \bar{\omega}) X^k(s) = a_D(s, \bar{\omega}) \prod_{k=1}^D (X - z_k(s, \bar{\omega})) \quad (1)$$

, où  $\mathcal{E}$  désigne l'espace vectoriel  $\mathbb{R}^{D+1}$  muni de la tribu borélienne,  $\lambda^{D+1}$  la mesure de Lebesgue,  $\bar{\omega} \in \bar{\Omega}$  avec  $\bar{\Omega}$  l'ensemble des échantillons et  $\{z_k(s, \bar{\omega})\}_{k=1}^D$  les zéros réels ou complexes du polynôme. Un signal physiologique humain présente  $N_c$  cycles différents en durée et en topologie, conférant ainsi pour chaque cycle un caractère aléatoire, justifiant alors l'usage de polynômes algébriques à coefficients aléatoires réels. Un champ aléatoire peut alors être construit. D'une façon générale, un champ aléatoire est simplement un processus stochastique qui prend ses valeurs dans un espace euclidien ou riemannien [3][4]. Un champ aléatoire réel est une famille  $(\Phi(\mathbf{X}, \bar{\omega}), \mathbf{X} \in \mathcal{X})$  indexée par un ensemble arbitraire ou espace topologique  $\mathcal{X}$  de dimension  $d_{rf} \geq 1$ . Dans le cas des signaux physiologiques périodiques constitués de  $N_c$  cycles aléatoires, si  $s$  est l'index de chaque cycle, alors on peut définir un champ aléatoire réel  $\Phi(X_1, X_2, \bar{\omega})$  par

$$\Phi(X_1, X_2, \bar{\omega}) = \sum_{s=1}^{N_c} \psi_D^{cyc}(\mathcal{E}, \bar{\omega}, X_1(s)) \delta(s - X_2) \quad (2)$$

, où  $\delta$  est la distribution de Dirac et  $\psi_D^{cyc}$  définie par (1). La suite de l'article se décline comme suit : les propriétés de la polynômisation seront données en section 2. La section 3 présente les principaux résultats expérimentaux. Une conclusion termine ce papier.

## 2 Propriétés de la polynômisation

### 2.1 Propriété 1 : Espérance mathématique du nombre de zéros réels

L'estimation de l'espérance du nombre de zéros réels sur un cycle pour la polynômisation des signaux pressions artérielles et pied est donnée par la relation de Kac et pour celle du signal cardiaque (*ecg*), nous montrons que

$$\widehat{Z}(\psi_D^{cyc, ecg}) \leq \frac{2}{\pi} \ln(D_1 D_2) + \frac{28}{\pi} \quad (3)$$

, où  $D_1$  est la dimension de  $\psi_D^{cyc, ecg}$ , du début du cycle jusqu'au sommet de l'onde  $R$ , et  $D_2$  la dimension de  $\psi_D^{cyc, ecg}$  du sommet de l'onde  $R$  jusqu'à la fin du cycle.

### 2.2 Propriété 2 : Filtrage passe-bas de la polynômisation

On montre que la densité spectrale de puissance (dsp) à la fréquence  $f$  notée  $\mathcal{S}_{\psi^{cyc}, \psi^{cyc}}$  du polynôme algébrique à coefficients aléatoires est donnée par

$$\mathcal{S}_{\psi^{cyc}, \psi^{cyc}}(X^E(s), f) = \sum_{m=1}^{X^E(s)} \alpha_{\psi^{cyc}}^s(mT_e) e^{-jm2\pi f / F_e} \quad (4)$$

, où  $X^E(s)$  est l'index temporel de fin du cycle  $s$ ,  $T_e$  la période d'échantillonnage et  $F_e = \frac{1}{T_e}$ . Les coefficients  $\alpha_{\psi^{cyc}}^s(mT_e)$  sont les pondérants de la dsp. L'équation (4) traduit l'expression d'un filtrage moyenné ou passe-bas par une structure en FIR, conséquence *naturelle* du lissage par la polynômisation.

### 2.3 Propriété 3 : Régularité du champ aléatoire $\Phi$

Si  $\mathbf{X} = [X_1, X_2]$ ,  $\omega = [-\pi, \pi]^2$ ,  $\mathbf{n} = (X^E, N_c)$  alors la transformée de Fourier discrète du champ  $\Phi(X_1, X_2, \bar{\omega}) = \Phi(\mathbf{X}, \bar{\omega})$  est  $\mathcal{F}_{X^E, N_c}(\bar{\omega}, \omega) = \sum_{\mathbf{1} \leq \mathbf{X} \leq \mathbf{n}} e^{j\mathbf{X} \cdot \omega} \Phi(\mathbf{X}, \bar{\omega})$ . Une condition de régularité globale selon le point de vue fréquentiel est adoptée ici. Nous montrons que la fonction  $\mathcal{F}_{X^E, N_c}(\bar{\omega}, \omega)$  est bornée et uniformément Lipschitz (régularité globale)  $\delta$  sur  $\mathbb{R}$  et que

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} |\mathcal{F}_{X^E, N_c}(\bar{\omega}, \omega)| (1 + |\omega|^\delta) d\omega < \infty \quad (5)$$

## 3 Résultats expérimentaux

L'objectif de cette partie est de mettre en évidence l'intérêt de la polynômisation des signaux cardiaque (ECG), pression artérielle (PA) et pression du talon du pied (GAIT). Les signaux ECG et PA ont été échantillonnés à  $F_e = 1000\text{Hz}$  et GAIT à  $F_e = 128\text{Hz}$ . Ils ont été prélevés sous couvert médical sur des sujets sains. Pour chaque cycle  $s$  et pour chacun de ces signaux, une optimisation de la dimension polynômiale  $D_s$  a été effectuée par le couplage  $\min(RMSE)$  et  $\max(FIT)$ . Ensuite et afin de disposer de la même dimension  $D$  pour tous les cycles, une deuxième polynômisation a été réalisée avec  $D = \mathbb{E}\{D(s)\}$  pour  $s = 1 \dots N_c$ . Pour le signal ECG, une double polynômisation a été nécessaire ; l'une de dimension  $D_1$ , entre le début du cycle jusqu'à l'onde  $R$ , l'autre de dimension  $D_2$ , de l'onde  $R$  jusqu'à la fin du cycle. Cela a nécessité de reformuler l'expression de Kac (voir propriété 2). La Figure 1 montre les signaux ECG, PA et GAIT comparés à leur polynômisation aléatoire (RPM) sur deux cycles. Les RMSE et FIT sont :  $RMS E_{ecg} = 0.0152$ ,  $FIT_{ecg} = 99.56\%$ ,  $RMS E_{pa} = 0.5701$ ,  $FIT_{pa} = 99.84\%$  et

$RMS E_{gait} = 0.0152$ ,  $FIT_{gait} = 99.27\%$ . La Figure 2 dépeint la densité spectrale de puissance (psd), comparant celle du signal cardiaque brut (psd true) à celle de la polynômisation aléatoire (psd rpm). L'effet de cette polynômisation aléatoire couplée au phénomène intrinsèque de lissage contribue à diminuer du bruit. La Figure 3 montre le champ aléatoire polynômisé  $\Phi$  du signal cardiaque. L'intérêt pour le praticien médical de disposer de cette image est d'analyser rapidement les variabilités cycliques des ondes P(dépolarisation des oreillettes), R(dépolarisation des ventricules) et T(repolarisation des ventricules), contrairement à l'analyse 1D, rendue difficile.

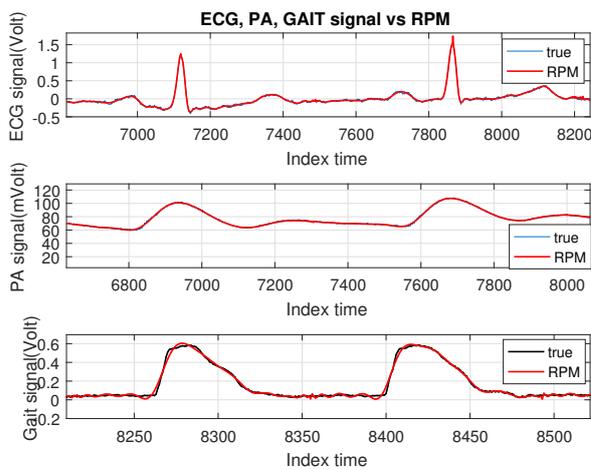


FIGURE 1 – Signaux ECG, PA et GAIT comparés à leurs modèles de polynômisation aléatoire (RPM).

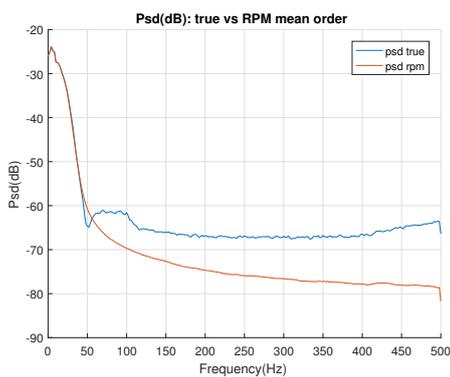


FIGURE 2 – Densité spectrale de puissance de la polynômisation aléatoire (psd rpm) comparée à celle du signal cardiaque (psd true).

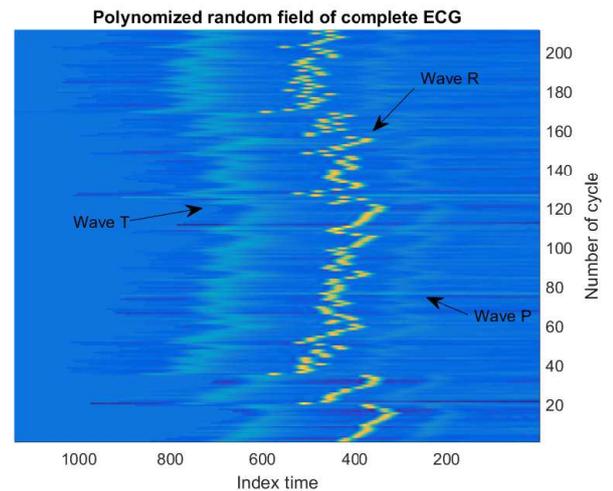


FIGURE 3 – Champ aléatoire polynômisé où les variabilités temporelles des ondes P, R et T apparaissent clairement. Cette représentation 2D permet de diagnostiquer rapidement un signal ECG.

## 4 Conclusion

Dans cet article, il a été montré une nouvelle modélisation de signaux physiologiques par polynômisation algébrique à coefficients aléatoires réels. Cette approche permettra au praticien d'avoir un signal filtré et donc exploitable. Il aura aussi une image basée champ aléatoire polynômisé où l'étude des variabilités des ondes lui permettra de conclure plus rapidement à un diagnostic médical.

## Références

- [1] A.T. Bharucha-Reid and M. Sambandham, *Random Polynomials*, Ed. Probability and Mathematical Statistics : A Series of Monographs and Textbooks, 1986
- [2] J. Ben Hough, M. Krishnapur, Y. Peres and B. Virag, *Zeros of Gaussian Analytic Functions and Determinantal Point Processes*, American Mathematical Society, Lecture Series, 51, p. 1-148, 2009
- [3] R.J. Adler, *The Geometry of Random Fields*, Classics in Applied Mathematics SIAM 62, 2010
- [4] C. Corbier, *Articulated Estimator Random Field and Geometrical Approach applied in System Identification*, J. Syst Sci Complex, p. 1-22 published in 2017
- [5] W.A. Gardner, A. Napolitano and L. Paura, *Cyclostationarity : half a century of research*, Signal Process, 86(4), p. 639-697, 2006

## **Modélisation des écoulements de subsurface dans un bassin versant forestier : impact de l'échantillonnage sur l'estimation des paramètres par approche inverse**

---

Benjamin Belfort<sup>1</sup> François Lehmann<sup>1</sup> Sylvain Weill<sup>2</sup> Marwan Fahs<sup>2</sup>

belfort@unistra.fr lehmann@unistra.fr s.weill@unistra.fr fahs@unistra.fr

<sup>1</sup> IUT Louis Pasteur de Schiltigheim, Université de Strasbourg  
Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie de Strasbourg, UMR 7517

<sup>2</sup> Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg (ENGEES)  
Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie de Strasbourg, UMR 7517

**Thèmes** – *Environnement - Mathématiques - Mécanique*

**Résumé** – *La caractérisation des processus d'écoulement dans la zone vadose est un objectif primordial pour la compréhension du cycle de l'eau et la gestion des ressources. Dans cette étude, la problématique de la surveillance de l'eau du sol sur un profil vertical dans le petit bassin forestier du Strengbach (France) est abordée sous l'angle de la modélisation et de l'estimation des paramètres par approche inverse. Trois capteurs de potentiel matriciel fournissent les données d'observation de l'eau du sol et les données météorologiques sont obtenues à l'aide d'une station automatisée. Les questions scientifiques adressées portent sur la sélection de la fréquence d'échantillonnage pour la calibration par approche inverse et le paramétrage initial utilisé pour cette même optimisation. Comme attendu, nos résultats montrent que la période de calibration présentant des données fortement variables utilisée pour l'étalonnage fournit de meilleures estimations pour une réutilisation prédictive (simulation des données à long terme). Pour le point de départ, des paramètres initiaux obtenus à la main conduisent à de meilleurs résultats que ceux obtenus avec des paramètres de départ issus d'une analyse de laboratoire ou basés sur une approche texturale (logiciel ROSETTA). En ce qui concerne la fréquence d'échantillonnage, les données hebdomadaires et journalières conduisent à des résultats intéressants comparés aux données horaires. Comme indiqué dans d'autres articles scientifiques, l'exactitude des conditions aux limites est importante pour estimer les paramètres hydrauliques du sol et accéder à l'eau stockée dans un profil en couches.*

**Mots-Clés** – *modélisation, écoulement, milieux poreux, estimation de paramètres.*

## 1 Introduction

Située dans la partie supérieure du milieu souterrain, la zone non saturée, autrement dénommée « zone critique », est à l'interface entre l'atmosphère, la végétation, et la nappe d'eau souterraine ce qui lui confère un rôle important dans le cycle de l'eau. Caractérisée par la présence d'air et d'eau au sein de la matrice poreuse, elle est le siège de nombreux processus qui contrôlent les interactions complexes entre précipitations, infiltration, écoulements de surface et souterrain, recharge de nappe, évaporation, etc..

La modélisation de ces processus est une approche intéressante et économique pour comprendre les interactions et prédire l'évolution des variables d'intérêt. Elle nécessite néanmoins de connaître les paramètres caractéristiques du milieu modélisé et les conditions aux limites. L'approche inverse consiste à utiliser des mesures de variables caractéristiques pour retrouver les paramètres du modèle et s'affranchir de mesures complexes, coûteuses et souvent destructrices pour le milieu.

Ainsi, notre étude s'appuie sur des mesures du potentiel matriciel sur un site expérimental et l'objectif principal consiste notamment à analyser l'impact de la fréquence d'échantillonnage sur la qualité de l'estimation des paramètres [1].

## 2 Description du modèle mathématique

La modélisation mathématique de l'écoulement en milieux poreux variablement saturés est généralement fondée sur le modèle de Richards [2] décrit par l'Eq. (1).

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + S_s S_w \frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot (-K(h) \cdot \nabla H) = f \quad (1)$$

$H$  [L] et  $h$  [L] désignent la charge piézométrique et la pression en eau du sol avec  $H = h + z$ ,  $z$  [L] étant la profondeur positive vers le haut;  $S_s$  [L-1] représente l'emmagasinement spécifique (fixé à  $1.10^{-10} \text{ cm}^{-1}$ );  $S_w$  [-] est la saturation relative de la phase liquide avec ( $S_w(h) = \theta(h)/\theta_s$ );  $\theta$  [ $L^3.L^{-3}$ ] et  $\theta_s$  [ $L^3.L^{-3}$ ] désignent respectivement la teneur en eau actuelle et à saturation;  $K(h)$  [ $L.T^{-1}$ ] correspond à la conductivité hydraulique fonction de la pression et  $f$  [T-1] désigne le terme puits – sources. La définition des paramètres hydrodynamiques du sol est basée sur le modèle de van Genuchten Mualem décrit par les Eqs. (2-3).

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \begin{cases} \frac{1}{\left(1 + (\alpha|h|)^n\right)^{1-1/n}} & h < 0 \\ 1 & h \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$K(S_e) = K_s \cdot K_r(h) = K_s \cdot S_e^{1/2} \left(1 - \left[1 - S_e^{n/n-1}\right]^{1-1/n}\right)^2 \quad (3)$$

où  $S_e$  [-] désigne la saturation effective;  $\theta_r$  [ $L^3.L^{-3}$ ] caractérise la teneur en eau résiduelle;  $\alpha$  [ $L^{-1}$ ] est un paramètre lié à la taille moyenne de pore et  $n$  [-] un paramètre lié à l'uniformité de la distribution des tailles de pore;  $K_s$  [ $L.T^{-1}$ ] et  $K_r$  [-] sont respectivement la conductivité hydraulique à saturation et la conductivité relative.

La discrétisation spatiale a été réalisée avec la méthode des éléments finis (maillage de 1cm), tandis qu'une discrétisation implicite en temps avec adaptation heuristique du pas de temps a été adoptée. L'estimation de paramètres par approche inverse est basée sur l'algorithme de Levenberg-Marquardt (description complète du code dans [3]). Les paramètres ( $K_s$ ,  $n$  et  $\alpha$ ) ont été calibrés en minimisant la fonction objectif de l'Eq. (4) :

$$O = \sum_{i=1}^{N_{inv}} (h_i - \hat{h}_i)^2 \quad (4)$$

où  $h_i$  correspond aux mesures de pression,  $\hat{h}_i$  aux résultats simulés et  $N_{inv}$  au nombre de données utilisées.

## 3 Présentation du site et des mesures

Le site d'étude est un petit bassin versant forestier de 0,8 km<sup>2</sup> situé dans les Vosges et qui fait l'objet d'un suivi relativement intense depuis 1986, notamment dans le cadre de sa labellisation en tant qu'observatoire Hydro-Géochimique de l'Environnement (OHGE, <http://ohge.unistra.fr>). L'altitude varie entre 883 et 1146 m; le climat est de type montagnard océanique avec une moyenne annuelle de précipitations de l'ordre de 1400 mm et une température moyenne avoisinant les 6°C.

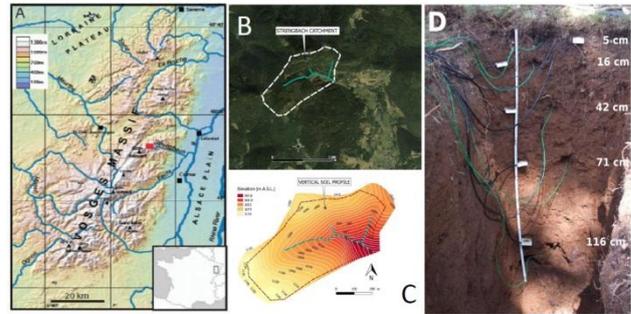


Figure 1 – Le site d'études du Strengbach

La figure 1 illustre le profil de sol sur lequel ont été installés les capteurs de pression (Campbell 257 – Watermark) connectés à une centrale d'acquisition Campbell CR1000 avec une fréquence de mesure réglée à 10 min. Après analyse, les profondeurs de mesures de 42 cm, 71 cm et 116 cm ont été retenues permettant de distinguer 3 horizons de sol : 0 – 56 cm, 56 – 93 cm, 93 – 150 cm sur lesquels des prélèvements ont été réalisés autorisant ainsi des mesures granulométriques et de rétention en laboratoire.

Une station météorologique permet d'enregistrer la pluie incidente ainsi que la température, la vitesse du vent et le rayonnement. Ainsi, il est possible de calculer l'évapotranspiration potentielle selon l'approche de Brochet-Gerbier dérivée de la formule de Penman [4] puis d'estimer l'évapotranspiration réelle à partir du modèle de bilan hydrique BILJOU©.

La condition à la limite supérieure est un flux correspondant à 80% de la pluie diminué de l'évapotranspiration réelle. En bas du profil, une condition de drainage libre est appliquée.

## 4 Résultats

Les tests réalisés ont porté sur :

- Le pas de temps d'échantillonnage utilisé lors de la calibration : horaire (Hor.), journalier (Jour.) ou hebdomadaire (Sem.).
- La période de calibration : classique (juin-septembre 2012) ou assez extrême (avril-décembre 2015).
- L'initialisation du code d'estimation avec des valeurs mesurées au laboratoire, des valeurs calculées par un code textural (ROSETTA) ou une approche manuelle.

La pertinence des différentes approches est étudiée sur la base des résultats obtenus pour les simulations directes avec un pas de temps horaire sur l'ensemble de la période (10/2012-9/2016) et en utilisant les indicateurs suivants :

$$\text{Biais moyen} = \text{BM} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{dir}}} (\hat{h}_i - h_i)}{N_{\text{dir}}} \quad (5)$$

$$\text{Erreur quadratique moyenne} = \text{EQM} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{dir}}} (\hat{h}_i - h_i)^2}{N_{\text{dir}}}} \quad (6)$$

$$\text{Efficacité du modèle} = \text{EM} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{dir}}} (\hat{h}_i - h_i)^2}{\sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^{N_{L_k}} (h_i - \bar{h}_{L_k})^2} \quad (7)$$

où  $N_{\text{dir}}$  est le nombre de mesures de pression utilisées pour la comparaison ( $N_{\text{dir}} = 3 \times 227371 = 628113$ ),  $\bar{h}_{L_k}$  correspond à la valeur de pression moyenne observée dans la couche  $L_k$ , et  $N_{L_k}$  représente le nombre de valeurs pour la couche  $k$ . Le tableau 1 permet de comparer les stratégies d'échantillonnage, étant entendu que l'objectif est d'avoir des BM et EQM proches de 0 et une EM tendant vers 1.

Tableau 1 – Indicateurs d'évaluation des simulations

Simulations directes	BM	EQM	EM
Calibration Hor. 2012	-13.82	201.42	-0.38
Calibration Jour. 2012	-37.83	140.80	0.33
Calibration Sem. 2012	94.81	903.92	-26.76
Calibration Hor. 2015	50.79	135.72	0.37
Calibration Jour. 2015	28.51	<b>130.46</b>	<b>0.42</b>
Calibration Sem. 2015	52.31	136.36	0.37
Paramètres ROSETTA	<b>5.83</b>	163.05	0.10
Paramètres laboratoire	-52.34	178.75	-0.09

La figure 2 illustre les résultats obtenus, i.e. l'évolution de la pression à 42 cm, pour la période de calibration extrême (2015).

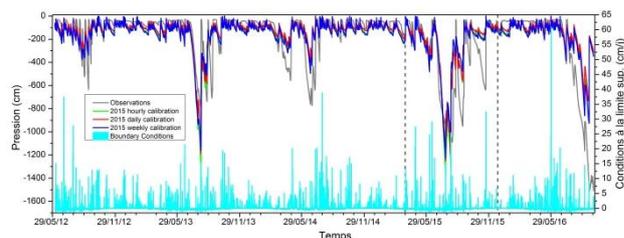


Figure 2 – Résultats de simulations directes

## 5 Conclusions

Cette étude a permis de montrer que la réduction de la fréquence d'échantillonnage des mesures ne dégrade pas nécessairement l'estimation des paramètres d'un modèle. Les résultats obtenus avec les données journalières, voire hebdomadaires, donnent ainsi satisfaction. Par ailleurs, il est préférable d'associer des mesures de laboratoire aux mesures de terrain pour démarrer efficacement l'estimation de paramètres et de choisir une période de calibration présentant une bonne variabilité pour couvrir la plage de mesure attendue.

## 6 Remerciements

L'étude a été partiellement financée par l'Université de Strasbourg et par l'Agence Nationale de la Recherche à travers le projet Hydrocrizsto (HYDRO-Comportement géochimique de la zone critique de l'Observatoire de Strengbach, <http://hydrocrizsto.unistra.fr/>). Les auteurs sont reconnaissants à M.C. Pierret, S. Benarioumlil et P. Friedmann pour leur aide à l'installation des dispositifs. P. Ackerer, I. Toloni, S. Cotel et D. Viville sont également remerciés pour leur contribution. Enfin, les auteurs expriment leur gratitude à l'IUT Louis Pasteur qui finance la participation à ce congrès.

## Références

- [1] Belfort B., Toloni I., Ackerer P., Cotel S., Viville D., Lehmann F.: 2018. Vadose Zone Modeling in a Small Forested Catchment: Impact of Water Pressure Head Sampling Frequency on 1D-Model Calibration. *Geosciences*, 8(2), 72, 2018.
- [2] Belfort B., Younes A., Fahs M., Lehmann F., On equivalent hydraulic conductivity for oscillation-free solutions of Richard's equation, *J. Hydrol.*, 505, 202-217, 2013.
- [3] Lehmann, F.; Ackerer, P. Determining Soil Hydraulic Properties by Inverse Method in One-Dimensional Unsaturated Flow. *J. Environ. Qual.*, 26, 76-81, 1997.
- [4] Biron, P. Le cycle de l'eau en forêt de moyenne montagne: flux de sève et bilans hydriques stationnels (bassins versant du Strengbach à Aubure, Hautes-Vosges). Thèse, Université de Strasbourg: Strasbourg, 1994.

---

# Les plateformes internet bifaces : vers une forme alternative d'intermédiation dans les canaux de distribution alimentaires ?

---

David Vidal<sup>1</sup>      Florent Saucède<sup>2</sup>

david.vidal@umontpellier.fr    florent.saucede@supagro.fr

<sup>1</sup> IUT, Université de Montpellier  
Montpellier Recherche en Management, EA 4557

<sup>2</sup> Montpellier SupAgro  
MOISA, Montpellier SupAgro, CIHEAM-IAMM, CIRAD, INRA, Univ. Montpellier

**Thème** – *Gestion*

**Résumé** – *Les plateformes bifaces mettent en relation des communautés d'acheteurs et de vendeurs sur Internet et déstabilisent les modèles de nombreux secteurs économiques. Nous interrogeons leur capacité à repenser la fonction d'intermédiation dans un contexte où celle-ci est socialement contestée : la distribution alimentaire. La recherche repose sur la méthode des cas et analyse celui d'une plateforme qui offre une infrastructure au développement de click and collect amateurs de produits locaux en Europe. Nous montrons que l'intermédiation repose sur la structuration de la participation des parties prenantes de ces réseaux locaux aux canaux transactionnels, de distribution et de communication constitutifs des activités de marketing. L'intermédiaire orchestre ainsi discrètement mais étroitement le processus de cocréation de valeur de ces réseaux tout en puisant dans le registre symbolique idéalisé des circuits-courts.*

**Mots-Clés** – *plateformes bifaces, canaux de distribution, intermédiation, agro-alimentaire*

## 1 Introduction

Si l'intérêt croissant des consommateurs pour les produits locaux est aujourd'hui largement reconnu, il s'accompagne de nouveaux enjeux en termes de distribution. Le modèle de la grande distribution, qui s'appuie sur les idées de massification des volumes et de standardisation, est moins bien adapté à la commercialisation de productions locales plus marginales. Aussi assiste-t-on à l'émergence de formules de distribution spécifiquement pensées pour répondre à ces problématiques (AMAP, magasins de producteurs,...) et offrir aux consommateurs des moyens de se procurer des produits locaux. Le système de distribution alimentaire évolue alors au travers d'une prolifération de canaux et concepts de distribution alternatifs. Certains d'entre eux remettent en cause l'idée d'intermédiation et incitent les consommateurs à s'engager, y compris de manière entrepreneuriale, pour soutenir le développement de communautés de producteurs locaux [1]. Internet a accompagné l'émergence de formes de distribution reposant sur des plateformes électroniques bifaces, dont le rôle principal est de faciliter la rencontre entre deux groupes distincts d'acteurs indépendants qui éprouvent néanmoins des difficultés à échanger dans des conditions conventionnelles de marché [2]. Ces plateformes tendent à redéfinir de nombreux marchés tels que le tourisme (Airbnb), les transports (Uber, blablacar), la restauration (Delivoo, Foodora) ou l'agroalimentaire (La ruche qui dit oui). Leur impact est tel que plusieurs chercheurs appellent à reconsidérer le rôle des intermédiaires sous l'angle des plateformes bifaces [3, 4]. Partant du constat que, bien que les acteurs opérant sur Internet apparaissent moins visibles, les fonctions de distribution doivent néanmoins être assurées [5], l'objet de cette recherche est d'étudier comment les plateformes bifaces remodelent les fonctions d'intermédiation pour faciliter des échanges directs entre des communautés de consommateurs et de producteurs locaux.

## 2 Revue de la littérature

Une plateforme biface est un « intermédiaire de marché facilitant les transactions et les négociations entre vendeurs et acheteurs » [6]. La plateforme sert de support technique à l'interaction directe entre chaque face du marché et instaure un système de relations triadique entre les clients, les vendeurs et le gestionnaire de plateforme [7]. Ainsi, les interactions reposant sur ces plateformes se distinguent des échanges traditionnels par leur format et les fonctions assignées aux intermédiaires dans le canal de distribution. Alors que les intermédiaires classiques opèrent comme *médiateurs* des interactions entre fournisseurs et clients, une plateforme agit plutôt comme un *modérateur* ayant pour rôle de rendre possible et

d'orchestrer des interactions directes entre les deux parties à l'échange qui peineraient à interagir sans elle ou qui demeureraient totalement indépendants dans un schéma de distribution classique [6].

Les travaux consacrés à l'étude des plateformes s'organisent en 3 courants. Un premier, d'inspiration économique [8], étudie l'impact du nombre de participants sur l'attractivité d'une plateforme, les effets de réseau et les stratégies de prix [8-11]. Le deuxième [12, 13] s'intéresse aux conditions d'émergence des plateformes et suggère qu'elles apparaissent en réponse à des échecs de marché pour rendre les interactions plus aisées entre deux faces d'un marché qui peinent à échanger sans elles. Enfin, un certain nombre de travaux ont été consacrés aux modes de gouvernance des plateformes [14, 15] ainsi qu'aux effets de la structure de pouvoir/dépendance des relations ou de l'orientation client de la plateforme sur la performance de cette dernière [2, 7]. Ces travaux restent néanmoins insuffisants pour comprendre le rôle des plateformes bifaces dans le processus de création et d'appropriation de valeur qui prend place entre leurs communautés de clients et de vendeurs dont elles structurent et organisent les échanges.

## 3 Contexte de la recherche

Ce travail est basé sur l'analyse d'un cas unique à unités d'analyse imbriquées. Il s'agit d'une plateforme biface française qui a pour but le développement d'un réseau de communautés de producteurs et de consommateurs de produits locaux à travers l'Europe. Cette plateforme refuse d'être considérée comme un intermédiaire et se définit comme un fournisseur de service permettant des échanges directs entre producteurs locaux et consommateurs. Elle offre une interface électronique, support des échanges, et permet à des consommateurs de devenir des entrepreneurs chargés, dans leur environnement local, de sélectionner des producteurs, de recruter des clients, d'animer cette communauté et d'organiser les distributions hebdomadaires durant lesquelles consommateurs et producteurs peuvent se rencontrer. Les données des quatre unités d'analyse retenues proviennent d'entretiens semi-directifs avec des entrepreneurs locaux, d'entretiens libres avec des producteurs et des clients, d'observations participantes et de sources secondaires.

## 4 Principaux résultats

Une analyse approfondie de la manière dont les fonctions et flux transactionnels, financiers et physiques [16] sont pris en charge par les différents acteurs permet d'appréhender comment la plateforme contribue à apporter de la valeur à ses utilisateurs et orchestre leurs échanges.

*L'instauration d'un contrôle discret et étroit des échanges.* En définissant la charte du réseau, en fixant les frais perçus par la plateforme et les entrepreneurs locaux et en centralisant les flux monétaires, la plateforme opère un contrôle discret permettant de s'assurer que chacun des réseaux locaux est bien coordonné tout en sécurisant ses bénéfices. Contrairement à ce qu'affirment Chakravarty et al. [7], ce travail suggère que les plateformes opèrent effectivement un contrôle sur le processus et le contenu des échanges en s'appuyant sur des bases de pouvoir y compris coercitives (menaces, sanctions).

*L'externalisation des coûts et des risques de distribution.* En chargeant les entrepreneurs locaux d'organiser des ventes en ligne et des distributions hebdomadaires permettant l'échange des produits, la plateforme n'a pas à fournir les ressources matérielles, immobilières et humaines supports des fonctions qui engendrent les principaux coûts de distribution. Elle parvient à externaliser les coûts et les risques associés aux fonctions de distribution en dehors de son *business model*.

*Une dissociation des canaux physiques et transactionnels.* Cette dissociation s'appuie sur des découplages, temporel et d'interface (physique-virtuelle), qui présentent deux avantages. Le premier concerne les producteurs : toute marchandise livrée ayant été préalablement achetée, le risque de pertes disparaît. Le second est de parvenir à évacuer les questions financières de la relation directe entre producteurs et consommateurs pour que l'expérience de cette rencontre ne repose que sur la dimension sociale de l'échange.

*Une matérialisation de l'idéal des circuits-courts.* Les épisodes de distribution font l'objet d'une théâtralisation qui associe une atmosphère inspirée des marchés, la rencontre physique entre producteurs et consommateurs et un sentiment de désintermédiation marchande. Ces ressources culturelles, qui puisent dans l'imaginaire associé aux circuits-courts, nourrit la création collective d'une valeur symbolique forte. Les participants ont le sentiment de participer à un mouvement de transformation sociétale [17] autour du bien manger et de la valeur de lien des rencontres entre producteurs et consommateurs.

## 5 Conclusion

La plateforme intéresse ses différents utilisateurs (consommateurs, producteurs et entrepreneurs locaux) en proposant un support de création et d'appropriation d'une valeur à la fois économique, fonctionnelle et symbolique reposant sur des effets de réseaux et une compréhension des principaux écueils d'autres modèles de distribution (marchés, AMAP, grande distribution...). L'orchestration discrète des flux est la clé de ce modèle dont la valeur de lien et le symbolisme lui confèrent un caractère alternatif.

## Références

- [1] Moraes C., Szmigin I. et Carrigan M., *Living production-engaged alternatives: An examination of new consumption communities*, Consumption, Markets and Culture, 13(3), 2010, p. 273-298
- [2] Muzellec L., Ronteau S. et Lambkin M., *Two-sided Internet platforms: A business model lifecycle perspective*, Industrial Marketing Management, 45(2), 2015, p. 139-150
- [3] Sorescu A. et al., *Innovations in retail business models*, Journal of Retailing, 87(S1), 2011, p. 3-16
- [4] Sriram S. et al., *Platforms: a multiplicity of research opportunities*, Marketing Letters, 26(2), 2015, p. 141-152
- [5] Mudambi S. et Aggarwal R., *Industrial distributors: can they survive in the new economy?*, Industrial Marketing Management, 32(4), 2003, p. 317-325
- [6] Watson G.F. et al., *The Evolution of Marketing Channels: Trends and Research Directions*, Journal of Retailing, 91(4), 2015, p. 546-568
- [7] Chakravarty A., Kumar A. et Grewal R., *Customer Orientation Structure for Internet-Based Business-to-Business Platform Firms*, Journal of Marketing, 78(5), 2014, p. 1-23
- [8] Landsman V. and Stremersch S., *Multihoming in two-sided markets: An empirical inquiry in the video game console industry*, Journal of Marketing, 75(6), 2011, p. 39-54
- [9] Katz M.L. et Shapiro C., *Systems competition and network effects*, The Journal of Economic Perspectives, 8(2), 1994, p. 93-115
- [10] Rochet J.-C. et Tirole J., *Two-sided markets: a progress report*, The RAND Journal of Economics, 37(3), 2006, p. 645-667
- [11] Nair H., Chintagunta P. et Dubé J.-P., *Empirical analysis of indirect network effects in the market for personal digital assistants*, Quantitative Marketing and Economics, 2(1), 2004, p. 23-58
- [12] De Voeleer E. et Lescop D., *Plateformes, coordination et incitations*, Management & Avenir, 6(46), 2011, p. 200-218
- [13] Evans D.S., *Some empirical aspects of multi-sided platform industries*, Review of Network Economics, 2(3), 2003, p. 191-209
- [14] Boudreau K.J. et Hagiu A., *Platform rules: Multi-sided platforms as regulators*, in Gawer A., *Platforms, Markets and Innovation*, Edward Elgar: Cheltenham, UK., 2009, p. 163-191
- [15] Farrell J. et Katz M.L., *Innovation, rent extraction, and integration in systems markets*, The Journal of Industrial Economics, 48(4), 2000, p. 413-432
- [16] Peterson R.A., Balasubramanian S. et Bronnenberg, B.J., *Exploring the implications of the Internet for consumer marketing*, Journal of the Academy of Marketing Science, 25(4), 1997, p. 329-346
- [17] Hietanen J. et al., *Reimagining society through retail practice*, Journal of Retailing, 92(4), 2016, p. 411-42

---

## Mécanisme de tensegrité pour la sécurité en robotique

---

Laurence Nouaille, Gérard Poisson

laurence.nouaille@univ-orleans.fr gerard.poisson@univ-orleans.fr

IUT de BOURGES, Université d'Orléans  
Laboratoire PRISME, UPRES 4229

**Thèmes** — Robotique - Mécanique - Santé

**Résumé** — *Cet article présente un dispositif mécanique exploitant le principe dit de « tensegrité ». Intégré dans un robot, il apporte une sécurité intrinsèque lors du fonctionnement de ce dernier. Nous introduisons ce concept de tensegrité, développé dans les années 50, et qui repose sur la faculté que possède un réseau constitué de barres et de câbles, à s'auto-équilibrer par le jeu des forces de traction et de compression qui s'y appliquent. En architecture, de nombreuses structures ont exploité ce principe. Nous donnons quelques exemples de mécanismes compliants et tensegres. En outre, un bras humain qui se contracte pour mieux saisir un objet est aussi un système « tensegre ». Nous proposons et étudions un mécanisme compliant dédié, il a été imaginé pour être intégré dans des articulations de cobots et conférer à ceux-ci une sécurité naturelle lors d'un contact avec l'environnement. Ses caractéristiques comportementales sont détaillées. Sa simplicité de conception, sa légèreté et sa facilité à s'intégrer dans une articulation, en font un objet intéressant sur le champ de la sécurité, et notamment en robotique médicale où l'interaction humain/robot est grande.*

**Mots-Clés** — Conception mécanique, Robotique médicale, Sécurité.

## 1 Introduction

Les robots ont colonisé l'industrie il y a 40 ans, ils sont maintenant présents dans tous les secteurs : le spatial, les services, la santé... Leur nombre est en croissance régulière<sup>1</sup> et leurs fonctionnalités de plus en plus importantes. Plutôt que robot, on évoque davantage actuellement dans les médias le terme cobot : celui qui collabore avec l'humain<sup>2</sup>. On classe les robots en allant : *i*) du "robot cage" ; *ii*) au robot qui partage son espace de travail avec l'humain ; *iii*) à celui qui coopère avec ce dernier afin de s'acquitter de sa tâche ; *iv*) et enfin au robot collaboratif évolué qui réalise un travail conjoint et simultané avec l'humain sur un même produit. Pour ce dernier cas, l'interaction humain-robot est alors physique et cognitive.

Dans ce contexte, la sécurité des robots du futur se devra d'être prioritaire et garantie. Si les approches actives basées commande, nourries par des techniques de perception à ce jour très efficaces, permettent de gérer les questions de sécurité de manière remarquable, il reste que les approches passives utilisant des dispositifs mécaniques apportent, par une prise en compte intrinsèque de la sécurité, des complémentarités avantageuses aux méthodes exclusivement informatiques. Nombreux constructeurs de robots se sont de ce fait engagés dans cette voie.

Nous nous sommes intéressés, dans le cadre du *Projet ANR SISCob*, à ces solutions mécaniques qui permettent d'obtenir plus de sécurité, notamment en cas de défaillance électrique. Nous présentons ici quelques solutions de la littérature puis exposons le principe de mécanisme de tenségrité. Nous proposons ensuite un dispositif apportant la propriété de compliance et qui est facilement intégrable dans la mécanique du robot.

## 2 Les mécanismes compliants

La compliance, ou souplesse d'un mécanisme, consiste à intégrer dans les articulations des systèmes élastiques et amortisseurs chargés d'absorber l'énergie lors de chocs. Un indice de sécurité a été défini pour l'industrie automobile : le *Head Injury Criteria (HIC)*.

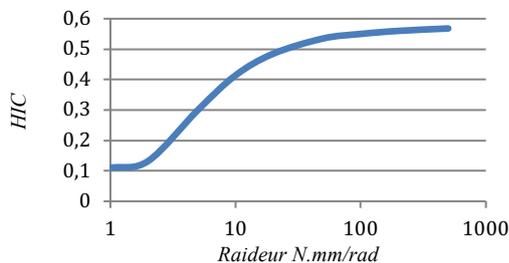


Figure 1 - Indice *HIC* fonction de la raideur d'un mécanisme

<sup>1</sup> Avec toutefois d'importants écarts selon les pays. La France ne figurant d'ailleurs pas en tête des nations les plus robotisées.

<sup>2</sup> En termes de collaboration il reste fort à faire : nous sommes encore

Il permet d'évaluer les blessures en cas d'accident. Cet indice est également utilisé en robotique pour l'évaluation d'impact en cas de choc entre robot et humain. Le *HIC* évolue de manière lente en fonction de la raideur du mécanisme comme le montre la Figure 1 [1]. Un mécanisme compliant joue sur la variation locale de sa raideur. On identifie deux types de raideurs : élastique ou antagoniste.

### 2.1 Raideur élastique

La raideur élastique d'une pièce dépend de son matériau et de sa géométrie. On peut, par exemple, modifier le nombre de spires actives d'un ressort ou changer la géométrie au niveau de la transmission de mouvement entre le ressort et le solide en interaction, par différentes solutions mécaniques comme illustré Figure 2 :

- Utiliser la position d'une came, c'est le cas du mécanisme compliant du laboratoire DLR [2].
- Avoir une transmission via un bras de levier de longueur variable entre deux éléments, par modification du point de pivot le long du bras de levier (suspension de moto).

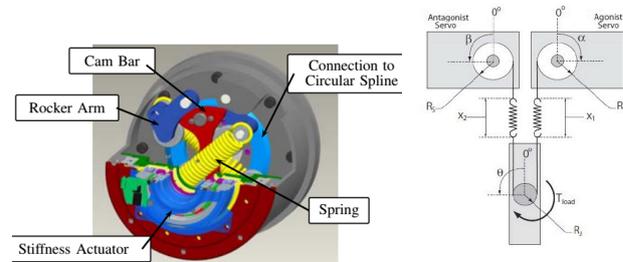


Figure 2 - à gauche : le "Quasi antagonistic joint" du DLR [2] à droite : mécanisme compliant à ressorts antagonistes [3]

La raideur antagoniste est obtenue en modifiant la précontrainte de ressorts. Les éléments élastiques doivent alors être montés de manière opposée.

Un mécanisme compliant biologiquement inspiré, des plus simples, conçu par Migliore [3] avec des ressorts opposés, est présenté Figure 2 à droite. La raideur est fonction des deux angles  $\alpha$  et  $\beta$ .

Ces mécanismes présentent de bonnes propriétés de compliance mais sont relativement complexes, de masse importante et volumineux pour être facilement intégrés dans des articulations de robot. Pour ces raisons, nous nous sommes intéressés aux mécanismes de tenségrité.

## 3 Les mécanismes de tenségrité

Un mécanisme de tenségrité est un système articulé discontinu composé de barres et de câbles. Les barres sont

très loin d'une utilisation de routine des cobots. C'est heureux pour les chercheurs qui trouvent là l'opportunité d'innovations technologiques.

maintenues en compression au sein d'un réseau de câbles en tension. Le mécanisme s'auto-équilibre par le jeu des forces de traction et de compression qui s'y appliquent.

Les avantages de ces dispositifs sont leur légèreté au regard des charges et résistances supportées. Ils sont adaptés à l'environnement et appropriés pour isoler des vibrations : suspensions de véhicules, structures anti-sismiques. Le système musculo-squelettique est une forme de mécanisme tenseur [5]. Epaule et coude sont des structures tenseurs : les tendons maintiennent les os en compression et stabilisent les articulations.

La *Needle Tower*, élaborée en 1968 par le sculpteur américain Kenneth Snelson, est l'exemple typique d'une structure tenseur. Le principe a aussi été exploité dans le secteur médical. Bohler a récemment conçu un système précontraint pour l'assistance robotique sous IRM [4].

En 2009, Azadi [6] a conçu un mécanisme de tensegrité pour le contrôle de mouvement de rotation, Figure 3 à gauche. La raideur du dispositif est fonction du nombre de ressorts, de leur longueur, du rayon de l'axe et de la précontrainte. Si cette précontrainte est faible, on constate une variation significative de la raideur dès que l'on s'écarte du point d'équilibre. Le dispositif a été exploité pour maintenir une sonde échographique à l'aide de trois éléments flexibles en caoutchouc [7], Figure 3 à droite.

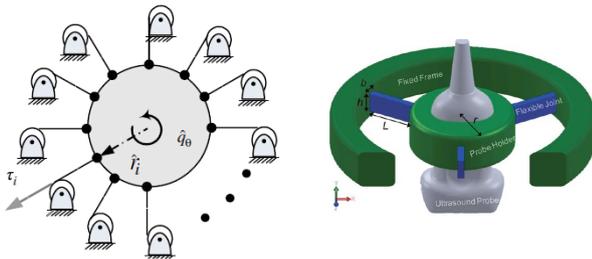


Figure 3 - A gauche : Mécanisme de tensegrité en rotation [6], A droite : Dispositif incluant la sonde ultrasonore [7]

#### 4 Mécanisme tenseur à ressorts inclinés

Nous avons étudié le mécanisme compliant à ressorts antagonistes, Figure 4 - gauche. La raideur globale en % en fonction de la déviation angulaire en degrés, est donnée à droite, pour différentes configurations. En version de base, les ressorts peuvent ne pas présenter d'inclinaison. La raideur est alors nulle en position d'équilibre (courbe en bleu, la plus basse, Fig. 4). Si le système est précontraint (courbe en rouge, position médiane) ou si les ressorts sont inclinés, avec ressorts goniste et antagoniste (courbe en vert la plus haute), les caractéristiques de raideur sont aussi variables et présentent alors une plus faible variation que sans précontrainte. Inclinaison et précontrainte sont les éléments significatifs de la forme de la raideur du dispositif. Cette solution est propice à l'intégration dans un robot afin d'apporter de la compliance. Un prototype a été

réalisé en fabrication additive. Il permet l'intégration de composants de géométries et raideurs différentes.

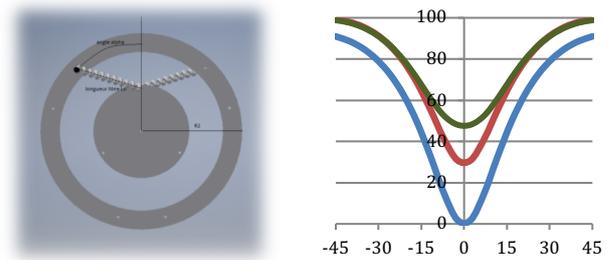


Figure 4 - A gauche : Mécanisme tenseur à ressorts ; à droite : différents types de raideur en % fonction de la déviation en deg.

#### 5 Conclusions

Nous avons présenté le principe de tensegrité et montré l'intérêt d'utiliser un mécanisme tenseur pour donner de la compliance aux articulations, propriété essentielle pour apporter de la sécurité aux cobots. Nous proposons une solution particulière de mécanisme tenseur à ressorts. Elle est légère, facile à mettre en œuvre et à intégrer dans une articulation de robot. Son comportement montre une variation progressive de la raideur à partir du point d'équilibre. Le prototype expérimental que nous venons de réaliser nous permettra par ailleurs d'étudier l'influence de ressorts différents, de leurs raideurs et de leurs agencements sur la réponse en couple du mécanisme.

**Remerciements :** Cette recherche a été menée dans le cadre du projet ANR SIScob : "Safety Intelligent Sensor for Cobots" (SIScob ANR-14-CE27-0016), <http://anr-siscob.prd.fr>

#### Références

- [1] Dongjung Hyun, Hyun Seok Yang, Jungwan Park and Yungbo Shim. *Variable Stiffness mechanism for human friendly robots*. Mechanism and Machine Theory, N° 45, 880-897, 2010.
- [2] Oliver Eiberger, Sami Haddadin, Michael Weis, Alin Albu-Schaffer and Gerd Hirzinger. *On Joint Design with Intrinsic Variable Compliance: Derivation of the DLR QA-Joint*. IEEE ICRA, Anchorage, Alaska, USA, 2010.
- [3] Shane A. Migliore, Edgar A. Brown and Stephen P. DeWeerth. *Biologically Inspired Joint Stiffness Control*. IEEE ICRA, Barcelona, Spain, 2005.
- [4] Quentin Bohler. *Analyse, conception et commande de mécanisme de tensegrité et systèmes précontraints*. Thèse de l'université de Strasbourg, 29 septembre 2017.
- [5] Robert E. Skelton, Mauricio C. de Oliveira. *Tensegrity systems*. Springer Eds, 2009.
- [6] Motjaba Azadi, Saeed Behzadipour and Garry Faulkner. *Antagonistic variable stiffness elements*. Mechanism and Machine Theory N° 44, 1746-1758, 2009.
- [7] Adrian Schoisengeier and al. *Design of a flexible Force-Sensing Platform for Medical Ultrasound Probes*. IEEE BioRob, Singapore, 2016.

# Points massiques, cubiques Bézier rationnelles et leur points singuliers

---

Jean-Paul BECAR<sup>1</sup> Karine SERIER<sup>2</sup>

Lionel GARNIER<sup>3</sup> Laurent FUCHS<sup>4</sup>

`jpbecar@univ-valenciennes.fr` `karine.serier@u-bourgogne.fr`

`lionel.garnier@u-bourgogne.fr` `laurent.fuchs@univ-poitiers.fr`

<sup>1</sup> LAMAV FR2956, EA 4015, Université de Valenciennes, IUT, 59313 Valenciennes Cedex 9

<sup>2</sup> Université de Bourgogne-Franche-Comté, IUT, B.P. 47870, 21078 Dijon Cedex

<sup>3</sup> LE2i, Université de Bourgogne-Franche-Comté, B.P. 47870, 21078 Dijon Cedex

<sup>4</sup> XLIM-SIC Université de Poitiers, France

**THÈMES** – *Mathématiques-Informatique*

**RÉSUMÉ** – *Cet article étend l'étude des points singuliers des courbes rationnelles cubiques. Elle porte sur les points d'inflexion, les points doubles et points de rebroussement. Les courbes cubiques rationnelles étudiées sont décrites au moyen de la technique des points massiques. Un point massique est soit un point pondéré soit un vecteur pur. Il prend le statut de point de contrôle pour une représentation paramétrique exploitable sur ordinateur dans le domaine de la géométrie de la Conception Assistée par Ordinateur. L'intérêt des points massiques est de pouvoir généraliser le tracé des courbes admettant des points doubles et de contrôler sans calcul supplémentaire l'ensemble des fonctions algébriques cubiques. Un exemple d'application est la réalisation de lettre à l'anglaise ou lettre manuscrite. Les courbes de Bézier permettent d'approcher des profils complexes, le travail présenté permet d'aborder de la même manière l'ensemble des courbes, ce que ne permettent pas les splines cubiques d'Hermite.*

**MOTS-CLÉS** – *Cubiques, courbes de Bézier, points massiques*

## 1 Introduction

Les courbes de la géométrie de la CAO sont décrites par des points de contrôle plutôt que par des équations. Les capacités croissantes de calcul et de mémoire des ordinateurs et l'usage de la commande numérique pour l'usinage ont favorisé le développement d'outils spécifiques dédiés à la conception de produits industriels. Les ingénieurs les plus célèbres comme P. Bézier chez Renault, P. De Casteljau chez Citroen, M.A. Sabin chez British Airways ou encore J.C. Fergusson chez Boeing ont largement contribué à faire connaître et appliquer leurs techniques. Les courbes de degré un et deux c'est-à-dire les droites et les coniques sont connues depuis l'antiquité. Elles jouent un rôle important en géométrie de la CAO pour raison de faible degré et d'une représentation rationnelle exploitable sur ordinateur.

Pour un degré de plus, si les cubiques rationnelles offrent de nouvelles perspectives en CAO, elles entraînent aussi des particularités au travers de leurs points singuliers qui n'existent pas pour les courbes de degré 2. Des études menées par Newton puis Plücker en ont proposé une classification générale. Deux familles de cubiques se distinguent, celle des courbes elliptiques et celle des cubiques rationnelles. Ces dernières sont représentées par des points massiques de contrôle généralisant les courbes Bézier classiques. Le modéleur géométrique a besoin de jouer sur les points de contrôle à l'aide de souris dynamiques telles les manettes à retour d'effort. Le contrôle des formes des cubiques et leur usage dans des systèmes à retour d'effort nécessitent de connaître la localisation des points caractéristiques de ces courbes.

Les travaux présentés ici sont issus d'un travail de mémoire de master [1] prolongeant les résultats de [2, 3]. Le mode de représentation des courbes exploite la technique des points massiques [4, 5]. Le papier illustre le cas particulier d'une cubique définie par deux points pondérés et 2 vecteurs purs. Il propose en outre une application à la modélisation de l'écriture manuscrite par des cubiques massiques.

## 2 Les courbes Bézier rationnelles de degré 3

Les courbes rationnelles peuvent être décrites par des représentations paramétriques exploitables sur ordinateur. Elles prennent le nom de courbes de Bézier. Ces dernières sont décrites par des points de contrôle et il en faut 4 pour une cubique rationnelle. Les points de contrôle peuvent être dans certains cas des points pondérés ou des vecteurs purs appelés points massiques. Ils sont définis dans l'espace noté  $\tilde{\mathcal{P}}$

$$\tilde{\mathcal{P}} = (\mathcal{P} \times \mathbb{R}^*) \cup (\vec{\mathcal{P}} \times \{0\})$$

où  $\mathcal{P}$  est un espace affine réel et  $\vec{\mathcal{P}}$  l'espace vectoriel associé. Deux opérations  $\oplus$  et  $\odot$  lui donnent une structure d'espace vectoriel et permettent de définir, sur cet es-

pace, une courbe de Bézier rationnelle à points massiques de contrôle. Soit  $i$  un entier de  $[0..n]$  et  $M_i$ , les  $n+1$  points massiques de contrôle. La courbe Bézier rationnelle est

l'ensemble des points  $M(t)$  tels que :  $M(t) = \bigoplus_{i=0}^{i=n} B_i^n(t) \odot M_i$

avec  $B_i^n(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i}$  le  $i$ ème polynôme de Bernstein de degré  $n$ . La suite s'intéresse aux cubiques rationnelles écrites sous cette forme et leur raccord ou jointure  $G^1$ . Deux courbes se raccordent  $G^1$  si elles admettent un point commun et une même direction de tangentes en ce point.

### 2.1 Cubiques massiques

La figure 1 montre les jointures  $G^1$  entre un arc d'hyperbole modélisé par une courbe de Bézier rationnelle quadratique de points de contrôle  $(P_0; 1)$ ,  $(P_1; 2)$ ,  $(P_2; 1)$  et un arc d'ellipse modélisé par une courbe de Bézier rationnelle quadratique de points de contrôle  $(R_0; 1)$ ,  $(R_1; \frac{1}{2})$ ,  $(R_2; 1)$  par une courbe de Bézier rationnelle cubique ayant comme points massiques de contrôle  $(Q_0; 1)$ ,  $(\vec{Q}_1; 0)$ ,  $(\vec{Q}_2; 0)$  et  $(Q_3; 1)$ . Ici  $Q_0 = P_2 = R_0$  et les vecteurs  $\vec{Q}_1$  et  $\vec{P}_1\vec{P}_2$  sont colinéaires et de même sens tandis que les vecteurs  $\vec{Q}_2$  et  $\vec{R}_0\vec{R}_1$  sont colinéaires et de sens contraires.

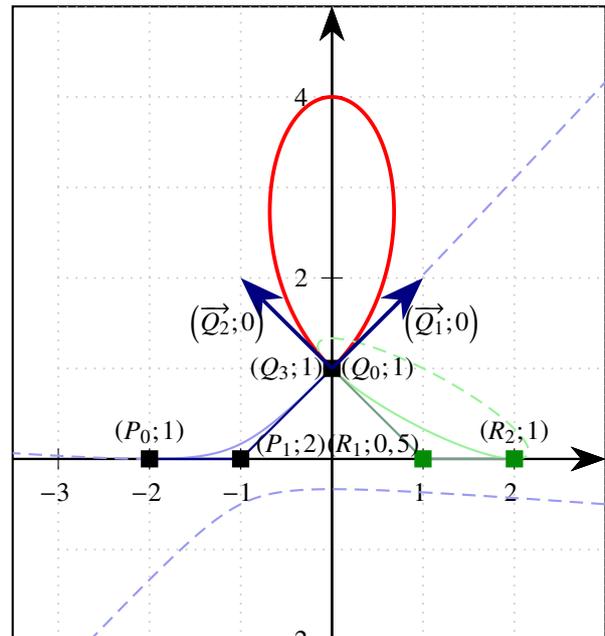


FIGURE 1 – Trois arcs de cubiques massiques raccordées de façon  $G^1$

Afin de contrôler les formes des cubiques et de pouvoir les utiliser dans des systèmes à retour d'effort, il est important de connaître la localisation des points caractéristiques de ces courbes.

## 2.2 Points singuliers des cubiques massiques

Notations : soit  $M(t)$  le point générique de la cubique rationnelle plane  $\Gamma = BR[(Q_0; w_0), (\vec{Q}_1, \vec{Q}_2), (Q_3; w_3)]$  définie par les points massiques de contrôle,  $\frac{dM}{dt}(t)$ , le vecteur dérivée première et les vecteurs  $\frac{dM}{dt}(0), \frac{dM}{dt}(1)$  notés  $\vec{u}, \vec{v}$  respectivement. Dans le repère  $(0, \vec{u}, \vec{v})$  le point  $S$  est défini par  $\vec{OS} = \frac{dM}{dt}(t) = \lambda \vec{u} + \mu \vec{v}$ . Le seul point singulier de  $\Gamma$  est un point double obtenu lorsque  $S$  appartient à la région  $\mathcal{L}$  de frontière, les axes  $\lambda = 0, \mu = 0$  et les courbes  $\mathcal{A}, \mathcal{B}$  et  $\mathcal{C}$  de la figure 2. La démonstration de ce cas particulier et de sa

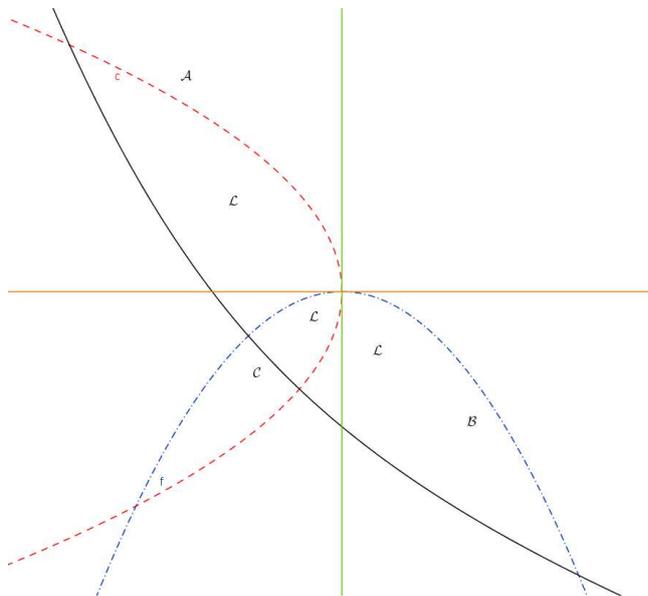


FIGURE 2 – Localisation des points singuliers de la cubique  $\Gamma$

généralisation se trouvent dans [1]. Les calculs, résolutions approchées de systèmes non linéaires et représentations ont été traités sous le logiciel Maple de Maplesoft™.

## 2.3 Une application

Dans la figure 1, la cubique rationnelle  $BR[(Q_0; 1)(\vec{Q}_1; 0), (\vec{Q}_2; 0), (Q_0; 1)]$  en rouge sur le dessin est définie par 2 points pondérés et 2 vecteurs purs. Ce mode de représentation permet ainsi de définir des boucles pour un paramètre parcourant l'intervalle  $[0, 1]$ . Cette étude est préalable à la modélisation de l'écriture manuscrite. Les points massiques points pondérés et vecteurs purs décrivant un ensemble d'arcs de cubique. Ces arcs une fois raccordés définissent un caractère de l'alphabet. C'est le mixage entre vecteurs et points pondérés qui facilitera la modélisation des caractères. Leur tracé est en effet très proche de l'écriture cursive traditionnelle. Le

mode de représentation pourrait s'adapter également à la reconnaissance de trajectoires planes ou spatiales.

## 3 Conclusion

L'article traite sommairement d'un mode de représentation des courbes rationnelles définies par des points massiques. Un point massique peut être soit un point pondéré soit un vecteur pur. Une cubique rationnelle décrite sous cette forme nécessite 4 points massiques pour pouvoir la définir et la contrôler. En particulier les boucles décrites avec ce modèle sont applicables à la représentation des caractères de l'écriture manuscrite. L'étude systématique des points singuliers des cubiques massiques complète le papier et laisse envisager de nouvelles applications comme un usage par des manettes à retour d'effort dans les logiciels de dessin assisté par ordinateur.

## Remerciements

Les auteurs remercient chaleureusement leurs laboratoires et instituts respectifs qui ont contribué à la faisabilité de ces travaux.

## Références

- [1] *Usage des points massiques et des courbes de Bézier pour la modélisation des cubiques*, Sérrier K., mémoire de master MIGS, Université de Valenciennes, Septembre 2017.
- [2] *Inflection points and singularities on planar rational cubic curve segments*, Sakai, Manabu, Computer Aided Geometric Design, Volume 16, N 3, 1pp 49–156, 1999, Elsevier
- [3] *Géométrie des points d'inflexion et des singularités d'une cubique rationnelle*, Albrecht G., Bécar J.-P., Xiang X., Revue Electronique Francophone d'Informatique Graphique, publiée par l'Association Française d'Informatique Graphique, Volume 2, Numéro 1, pp.33-46, 2008.
- [4] *Une introduction aux points massiques*, Garnier L., Bécar J.-P., Druoton L., Congrès national de la recherche en IUT (cnriut'2017) : 4-5 mai 2017, Auxerre.
- [5] *Nouveaux modèles géométriques pour la C.A.O. et la synthèse d'images : courbes de Bézier, points massiques et surfaces canal*, Lionel Garnier, Jean-Paul Bécar, Editions Universitaires Européennes, ISBN 978-3-639-54676-7, Saarbrücken 2017.

---

# Etude et fabrication d'un réseau de nanoantennes rectifiantes dans le domaine visible, auto-assemblées par des diodes moléculaires

---

C. Reynaud<sup>1</sup> D. Duché<sup>1</sup> S. Labau<sup>2</sup> M. Pannebière<sup>2</sup> C. Gourgon<sup>2</sup> F. Pourcin<sup>3</sup>  
O.Margeat<sup>3</sup> J. Ackermann<sup>3</sup> J-J. Simon<sup>1</sup> L. Escoubas<sup>4</sup>

Clement.reynaud@univ-amu.fr david.duche@univ-amu.fr jean-jacques.simon@univ-amu.fr  
ludovic.escoubas@univ-amu.fr

<sup>1</sup> IUT, Aix-Marseille Université

Institut de Matériaux Microelectronique Nanosciences de Marseille, UMR CNRS 7334

<sup>2</sup> Laboratoire des Technologies de la Microélectronique CNRS, CEA Minatec, Université Grenoble Alpes, Grenoble

<sup>3</sup> Centre Interdisciplinaire de Nanoscience de Marseille, UMR CNRS 7325

<sup>4</sup> Institut de Matériaux Microelectronique Nanosciences de Marseille, UMR CNRS 7334

**Thèmes** – Nanophysique - Photonique - Energies renouvelables

**Résumé** – *Les efficacités de cellules solaires photovoltaïque monojonctions sont bridées à 33% par la limite de Shockley-Queisse. L'ingénierie des cellules tandems et de la concentration de lumière permet de dépasser sensiblement cette barrière, mais ces méthodes demeurent coûteuses et difficiles à développer à l'échelle industrielle. En vue de concevoir des cellules solaires à haut rendement et à bas coût, notre travail se penche sur une technologie de rupture qui s'appuie sur la nature ondulatoire de la lumière. Des nano-antennes associées à des diodes moléculaires créent un dispositif appelé rectenna (rectifying antenna) qui converti l'oscillation plasmonique localisée à la surface des antennes en un courant continu. Cette méthode a fait ses preuves dans les radio fréquences avec des efficacités supérieures à 90%. L'enjeu est aujourd'hui de réussir à miniaturiser les composants pour capter les longueurs d'ondes du visible et de rectifier le courant alternatif ainsi généré à très haute fréquence.*

**Mots-Clés** – Auto-assemblage, Electronique moléculaire, Rectification optique, Energie solaire

## 1 Introduction

Le concept de rectennas (rectifying antennas) optiques remonte au début des années 70[1]. Compte tenu des difficultés de réalisation d'antennes à l'échelle nanométrique, ce concept a longtemps été éclipsé par les performances du solaire photovoltaïque. Depuis une dizaine d'année, les avancées dans le domaine des nanofabrications rendent possible la réalisation de structures à l'échelle de la dizaine de nanomètres avec une reproductibilité et une résolution suffisante pour étudier de nouveaux phénomènes plasmoniques. De ce fait, des preuves de concept de rectification optique sous lumière monochromatique ont été récemment avancées [2][3][4]. Quelle que soit la géométrie de nanoantenne utilisée, un des verrous technologique majeur reste l'élément rectifiant utilisé pour la rectification de l'oscillation plasmonique. Cette oscillation d'électron se produit à des fréquences de plusieurs centaines de terahertz, un régime dans lequel les diodes conventionnelles ne sont pas suffisamment rapides. Pour palier à cette difficulté, de nombreux articles ont étudié le transport de charges par effet tunnel adapté à la problématique des rectennas [5][6]. Malgré les efforts de compréhension de ce phénomène sur le plan théorique, la réalisation de jonctions tunnel suffisamment fines de manière reproductible reste un défi technique important. Notre approche consiste à étudier la possibilité d'utiliser des diodes moléculaires. Ces molécules ont des propriétés rectifiantes qui se rapprochent aujourd'hui de celles de leurs consœurs en silicium, avec des facteurs de rectification  $R = I(-1V)/I(1V)$  de l'ordre de  $10^5$  [7]. Ces molécules, fonctionnalisées par des fonctions thiols (liaisons S-H), pourraient de plus jouer un rôle mécanique : disposées en monocouches auto-assemblées sur un substrat en or, elles permettent l'accroche de nanoparticules en argent et les maintiennent à une distance de l'ordre du nanomètre du substrat, ce qui favorise des résonances plasmoniques importante de la cavité ainsi créée.

## 2 Conception d'un réseau de nanoantennes

Du fait de leurs propriétés plasmoniques, les nanoparticules se sont déjà avérées pertinentes pour fabriquer des revêtements absorbants dans le domaine du visible [8]. Lorsqu'elles sont éclairées, des plasmons de volume apparaissent à des fréquences directement liées à leur géométrie. Dans le cas où des nanoparticules sont déposées à quelques nanomètres d'une surface métallique, un autre type de plasmon peut apparaître : un plasmon de surface. L'excitation de plasmons de surfaces peut se faire par des méthodes d'adaptations d'indices optiques via des prismes, ou en modifiant l'état de surface d'un métal pour y créer un réseau[9]. Dans le deuxième cas, la période du réseau contrôle directement la fréquence du plasmon qui peut s'y coupler, et donc la longueur d'onde de la lumière qui y sera absorbée.

Pour parvenir à exciter ces plasmons de surface, nous proposons une structure composée de nanocubes d'argent auto-assemblés sur un substrat d'or (Fig1). Nous opérons une sélectivité sur l'assemblage des nanocubes en déposant une fine couche (50nm) de résine plastique sur la surface d'or, puis en l'ajoutant par un réseau de trous sensiblement plus large que les nanocubes utilisés (55nm). Cette ouverture périodique de la résine est réalisée par un procédé de nanoimpression qui permet une bonne reproductibilité à un faible coût. La surface d'or ainsi découverte peut être fonctionnalisée par une monocouche de molécules rectifiantes terminées à leurs deux extrémités par des groupements thiols, qui ont une grande affinité avec les métaux nobles. Cette caractéristique permet alors de déposer des nanocubes en solution qui s'assembleront préférentiellement dans les trous où la monocouche de molécules a pu se déposer.

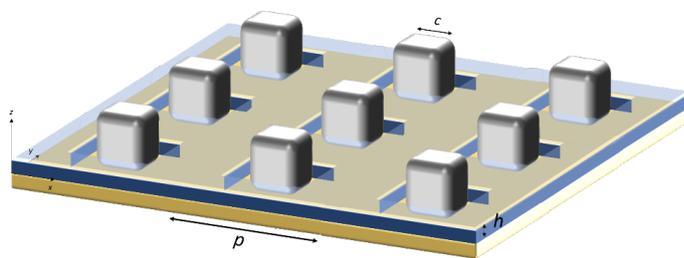


FIGURE 1 – Schéma de principe du réseau de nanoparticules auto-assemblées

Cette structure permet de contrôler plusieurs paramètres clés : la période du réseau, grâce à l'espacement des trous réalisés dans la résine ; la largeur des nanocavités, qui est la taille des nanocubes ; la hauteur des cavités, qui est l'épaisseur de la monocouche de molécules déposée sur l'or et qui est donc directement liée à la longueur de ces mêmes molécules. En jouant sur ces trois paramètres, le piégeage de la lumière dans les nanocavités sous les cubes peut être optimisé ; on obtient alors une amplification de champ électrique de deux ordres de grandeur, soit un amplification d'intensité de quatre ordres de grandeur. Cette amplification de champ électrique est simulée figure 2 par FDTD (Finite Difference Time Domain) pour une onde plane incidente de 785nm de longueur d'onde. Obtenir un champ électrique intense est un pré-requis à une rectification efficace car il conditionne le transfert des charges entre les deux métaux.

## 3 Diodes moléculaires

L'électronique moléculaire est un domaine qui s'est largement développé ces dernières années. En particulier, ses applications en lien avec la plasmonique se sont révélées particulièrement intéressantes. Le comportement rec-

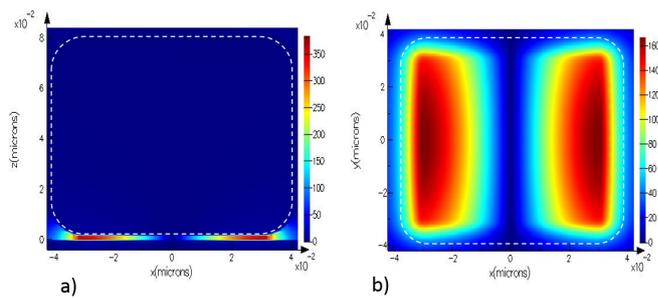


FIGURE 2 – Calcul FDTD de l’amplification du champ électrique  $E/E_0$  a) vue en coupe (xz) autour d’un cube b) vue en coupe (xy) sous un cube

ificateur de certaines molécule a été largement étudié [10][11][12]. Plus récemment, la possibilité de rectifier des signaux à des fréquences supérieures à la dizaine de GHz a été mise en évidence [13], où la fréquence maximale atteinte était simplement limitée par l’équipement utilisé, ce qui laisse à penser que des fréquences supérieures pourraient être atteintes. Ce dernier résultat confirme l’intérêt d’utiliser ces molécules pour des applications de rectifications optiques.

#### 4 Conclusion & Travail présenté

Ce projet étudie la possibilité de convertir l’énergie des ondes optiques en un courant continu, comme une alternative à l’effet photovoltaïque. En couplant des nano-antennes avec des diodes moléculaires, nous mettons en évidence un fort couplage des ondes aux fréquences optiques qui réunit des conditions favorables pour une obtenir une production d’énergie via la rectification à haute fréquence. Nous présenterons des caractérisations optiques de réseaux de nanocubes auto-assemblés ainsi que les premiers résultats de caractérisations électriques réalisées par microscope à force atomique (AFM) à pointe conductrice. Un modèle optique sera également détaillé pour mettre en évidence les phénomènes de couplages de modes plasmons à l’intérieur des nano-cavités créées par les nanocubes sur les monocouches de molécules.

#### 5 Remerciements

Nous remercions le Ministère de l’Éducation Nationale de la Recherche et des Technologies (MENRT) pour le financement de la thèse de C. Reynaud.

#### Références

[1] R. L. Bailey. A Proposed New Concept for a Solar-Energy Converter. *Journal of Engineering for Power*, 94(2) :73, 1972.

[2] Asha Sharma, Virendra Singh, Thomas L Bougher, and Baratunde A Cola. A carbon nanotube optical rectenna. *Nature nanotechnology*, 10(12) :1027–1032, 2015.

[3] Rani Arielly, Ayelet Ofarim, Gilad Noy, and Yoram Selzer. Accurate determination of plasmonic fields in molecular junctions by current rectification at optical frequencies. *Nano Letters*, 11(7) :2968–2972, 2011.

[4] Arnaud Stolz, et al. Nonlinear photon-assisted tunneling transport in optical gap antennas. *Nano Letters*, 14(5) :2330–2338, 2014.

[5] Saumil Joshi and Garret Moddel. Efficiency limits of rectenna solar cells : Theory of broadband photon-assisted tunneling. *Applied Physics Letters*, 102(8) :1–5, 2013.

[6] Sachit Grover, Saumil Joshi, and Garret Moddel. Quantum theory of operation for rectenna solar cells. *J. Phys. D : Appl. Phys. J. Phys. D : Appl. Phys.*, 46(46) :135106–7, 2013.

[7] Xiaoping Chen, Max Roemer, Li Yuan, Wei Du, Damien Thompson, Enrique Barco, and Christian A Nijhuis. Exceeding 10<sup>5</sup> Driven By Electrostatic Interactions. (July) :1–7, 2017.

[8] Miriam Carlberg, Florent Pourcin, Olivier Margeat, Judikaël Le Rouzo, Gérard Berginc, Rose Marie Sauvage, Jörg Ackermann, and Ludovic Escoubas. Optical response of heterogeneous polymer layers containing silver nanostructures. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 8(1) :1065–1072, 2017.

[9] Stefan a Maier. *Fundamentals and Applications Plasmonics : Fundamentals and Applications*, volume 677. 2004.

[10] Li Yuan, Nisachol Nerngchamnong, Liang Cao, Hicham Hamoudi, Enrique del Barco, Max Roemer, Ravi K Sriramula, Damien Thompson, and Christian a Nijhuis. Controlling the direction of rectification in a molecular diode. *Nature communications*, 6 :6324, 2015.

[11] Li Yuan, Rochus Breuer, Li Jiang, Michael Schmittl, and Christian A. Nijhuis. A Molecular Diode with a Statistically Robust Rectification Ratio of Three Orders of Magnitude. *Nano Letters*, 15(8) :5506–5512, 2015.

[12] Christian A. Nijhuis, William F. Reus, Jabulani R. Barber, Michael D. Dickey, and George M. Whitesides. Charge transport and rectification in arrays of SAM-based tunneling junctions. *Nano Letters*, 10(9) :3611–3619, 2010.

[13] J. Trasobares, D. Vuillaume, D. Théron, and N. Clément. A 17GHz molecular rectifier. *Nature Communications*, 7 :12850, 2016.

## Recommandation de service Web à base de graphes

---

Fatma Slaimi<sup>1</sup>

[fatma.slaimi@univ-amu.fr](mailto:fatma.slaimi@univ-amu.fr)

Sana Sellami<sup>2</sup>

[sana.sellami@univ-amu.fr](mailto:sana.sellami@univ-amu.fr)

Omar Boucelma<sup>3</sup>

[omar.boucelma@univ-amu.fr](mailto:omar.boucelma@univ-amu.fr)

<sup>1</sup> IUT, Aix-Marseille Université  
Département R&T

<sup>1,2,3</sup> Aix-Marseille Université  
Laboratoire d'Informatique et des Systèmes, UMR 7020

**Thèmes** – Informatique

**Résumé** – *Le présent article décrit une approche et un système de découverte de services web par recommandation. L'approche s'appuie sur une modélisation orientée base de données graphes. En effet, un multi-graphe de services et d'utilisateurs est construit : dans ce graphe, les nœuds (services et utilisateurs) sont reliés par des arêtes étiquetées ayant des sémantiques différentes : liens de similarité, de popularité, de suivi (track), etc. Un utilisateur peut se voir recommander un (des) service(s) en réponse à sa requête ou sur la base de son profil. L'approche a donné lieu à un prototype qui a été testé sur des sources de données réelles.*

**Mots-Clés** – Service Web, Découverte, recommandation, base de données graphe.

## 1 Introduction

Depuis plus d'une décennie, la découverte (automatique) de web services (WS) a donné lieu à de nombreux travaux de recherche ainsi qu'à des systèmes/prototypes. Une bonne partie de ces travaux se base sur des techniques d'appariement (matchmaking) qui exploitent notamment des informations fonctionnelles (que fait le service) en utilisant un langage de description de services standard comme WSDL ou des langages étendus comme SA-WSDL, WADL ou encore hREST. D'autres travaux sur la découverte s'appuient en plus sur les propriétés non fonctionnelles des services web comme les métadonnées sur la qualité de service. Plus récemment, une nouvelle vision de l'écosystème WS a été proposée [4] : elle utilise une métaphore "réseau social" où, à la fois les services et les utilisateurs sont représentés dans un même espace. En outre, avec l'émergence de catalogues de services web tels que *ProgrammableWeb*<sup>1</sup>, concourt à la mise en œuvre de cette vision via l'exploitation d'autres informations sur les utilisateurs, comme leurs interactions (lien de suivi). Dans cet article, nous présentons une approche et un système de découverte de services web par recommandation. Compte tenu de toutes les informations dont nous disposons sur les deux types d'objets (services et utilisateurs), nous proposons de construire un multigraphe où les nœuds (services et utilisateurs) sont reliés par des arêtes étiquetées ayant des sémantiques différentes : liens de similarité, de suivi (track), etc. Un utilisateur peut se voir recommander un (des) service(s) en réponse à une requête ou sur la base de son profil. L'approche a donné lieu à un prototype qui a été testé sur des sources de données réelles. La contribution de ce travail est triple : (1) nous avons proposé un modèle où les liens sémantiques intra-services, intra-utilisateurs et entre utilisateurs et services ont été exhibés, (2) nous avons défini et implémenté une approche de recommandation qui utilise une "base de données" de type graphe, et (3) nous avons mené des expérimentations plutôt concluantes sur des vraies données. Cet article est organisé comme suit : dans la partie 2, nous donnons un aperçu sur notre approche de recommandation et la partie 3 est dédiée à la partie réalisation. Enfin, une conclusion est présentée.

## 2 Recommandation de service Web à base de graphe : l'approche WesRec

Nous décrivons dans cette section notre approche de recommandation hybride de WS. Le principe consiste à exploiter les différents types de relations existantes aussi bien entre utilisateurs qu'entre services afin de recommander des services Web à des utilisateurs ayant

<sup>1</sup> <https://www.programmableweb.com/>

des intérêts communs. Ces relations seront modélisées par un graphe utilisateurs/services. Cette approche requiert 3 étapes :

- 1) Déterminer des relations entre utilisateurs/services en fonction de leurs propriétés.
- 2) Construire le graphe de services/utilisateurs en fonction des similarités calculées.
- 3) Extraire à partir des graphes une liste de services à recommander.

Nous détaillons dans ce qui suit les différentes étapes de la recommandation.

### 3.1. Détermination des relations

#### *Relations entre utilisateurs*

En s'inspirant des relations entre les utilisateurs dans un réseau social, des relations peuvent être établies entre les utilisateurs de portail de services Web tel que Programmable Web. Nous considérons deux types de relation : la relation de suivi et la relation de similarité. La relation de suivi (track relationship) est une relation d'intérêt que nous déduisons à partir d'un historique utilisateur. Chaque utilisateur possède un historique de suivi comprenant les services/mashups suivis, ainsi qu'une liste d'utilisateurs suivis. La relation de suivi entre utilisateurs peut être explicite ou bien implicite. Les relations explicites sont exprimées directement par les utilisateurs.

Lorsqu'un utilisateur  $u$  décide de suivre un utilisateur  $v$ , cela signifie qu'il est intéressé par les services utilisés par  $v$ . Les relations implicites sont celles déduites en examinant les éléments communs dans les historiques des utilisateurs à savoir les services ou les mashups qu'ils ont consultés/utilisés/suivis et les utilisateurs suivis. La similarité entre les utilisateurs est mesurée en fonction du nombre d'éléments en commun dans leurs historiques en utilisant l'indice de Jaccard [2].

$$Jacc(u, v) = \frac{|Hu \cap Hv|}{|Hu \cup Hv|}$$

où  $Hu$  (respectivement  $Hv$ ) représente l'historique de suivi de l'utilisateur  $u$  (resp.  $v$ ).

#### *Relations entre services.*

Afin de faciliter la recherche et la recommandation de services, nous proposons d'établir des liens entre les services. En effet, sur l'ensemble des services manipulés par les différents utilisateurs sur une plateforme telle que ProgrammableWeb, plusieurs services peuvent être fonctionnellement similaires (e.g. googleMaps, bigMaps). Des relations seront ainsi établies en fonction de la mesure de similarité entre chaque paire de services. Pour déterminer la similarité entre les services, nous utilisons l'outil de matchmaking SR-REST que nous avons développé dans un travail antérieur[5].

### 3.2. Recommandation

Le processus de recommandation prend en considération les utilisateurs à la recherche de services en

utilisant des requêtes. Cette approche consiste à exploiter les relations de suivi et de similarité dans les graphes utilisateurs/services et à proposer un ensemble de services susceptibles d'intéresser un utilisateur à la recherche d'un service. Cependant, comme l'ont démontré plusieurs études[4], le parcours de graphes peut être un processus très coûteux surtout quand les données modélisées sont volumineuses. Nous proposons donc d'optimiser le parcours en appliquant une méthode de classification hors ligne permettant de décomposer le graphe en un ensemble de groupes de services similaires [1]. Le processus de recommandation se déroulera comme suit : chercher les services satisfaisants la requête utilisateur dans le (les) cluster (s) adéquat(s). Les clusters seront interrogés afin de récupérer une liste de services susceptible d'intéresser l'utilisateur. En choisissant un service de cette liste, le système exploite le graphe de services pour récupérer la liste de services similaires. Cette liste sera triée en fonction des valeurs de popularité des services. Les différentes étapes de la recommandation en ligne seront détaillées dans ce qui suit.

### 3 Evaluation expérimentale

L'objectif principal de nos expérimentations est d'évaluer la satisfaction d'une demande utilisateur par rapport à des recommandations de services. Nous avons comparé l'approche proposée WSRG avec des approches de recommandation de la Framework librec à savoir :

- i) TrustSVD [3] qui est un système de recommandation basé sur les relations de confiances entre les utilisateurs.
- ii) La stratégie de recommandation des services populaires appliquée par ProgrammableWeb.

Nous avons mesuré la précision et le rappel de ces trois approches en variant le nombre de services retournés de 5 à 15 avec un pas de 5.

Table 1 – Précision, rappel

	Précision			Rappel		
	@5	@10	@15	@5	@10	@15
WesRec	0.75	0.62	0.8	0.63	0.638	0.65
TrustSVD	0.7	0.6	0.73	0.61	0.615	0.62
Populaires	0.45	0.4	0.5	0.45	0.51	0.48

Comme illustré dans la table 1, notre algorithme de recommandation basé sur les graphes de services et utilisateurs fournit les meilleures valeurs de précision par rapport aux autres approches. TrustSVD est une approche qui exploite les relations de confiances ce qui lui permettra d'avoir de bonnes valeurs de précision aussi. Mais comme toutes les approches basées sur les évaluations de QoS, elle n'est pas en mesure de suggérer des services en absence des informations d'évaluations. Contrairement à TrustSVD, notre approche donne de bons

résultats même lorsque les utilisateurs ne disposent pas de services dans leurs historiques, en effet même un utilisateur sans historique peut être liés à d'autres utilisateurs par des relations de suivi et par la suite il peut recevoir des recommandations. Par ailleurs, on peut remarquer que la stratégie de recommandation de services populaires possède les résultats les plus bas en termes de précision et de rappel par rapport à TrustSVD et WSRG. Cela est dû au fait que cette stratégie ne prend pas en compte les intérêts des utilisateurs et leurs préférences, elle recommande les mêmes services à tous les utilisateurs. Les résultats ne sont pas personnalisés.

L'approche proposée assure la diversité des services recommandé puisqu'elle exploite le voisinage de l'utilisateur ainsi que son propose historique d'où la possibilité de fournir des services qui appartiennent à des catégories non exploitées par l'utilisateur.

### 4 Conclusion

Les but des systèmes de recommandation de services Web est de fournir des services satisfaisants. Nous avons proposé dans cet article une approche de recommandation qui exploite les relations d'intérêts entre les utilisateurs pour recommander des services. Notre approche utilise les relations d'intérêts explicites (track) entre les utilisateurs ainsi que les relations d'intérêts implicites dans le but de prédire les préférences d'un utilisateur. Nous avons combiné des méthodes d'interrogation de graphes et des fonctions de mesures de similarité du domaine de recherche d'information pour fournir des recommandations.

### Références

- [1] BEEFERMAN, Doug et BERGER, Adam. Agglomerative clustering of a search engine query log. In : Proceedings of the sixth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. ACM, 2000. p. 407-416.
- [2] LEE, Lillian. Measures of distributional similarity. In Proceedings of the 37th annual meeting of the Association for Computational Linguistics on Computational Linguistics. Association for Computational Linguistics, 1999. p. 25-32.
- [3] GUO, Guibing, ZHANG, Jie, et YORKE-SMITH, Neil. TrustSVD: Collaborative Filtering with Both the Explicit and Implicit Influence of User Trust and of Item Ratings. In : AAAI. 2015. p. 123-125.
- [4] MAAMAR, Zakaria, HACID, Hakim, et HUHNS, Michael N. Why web services need social networks. IEEE Internet Computing, 2011, vol. 15, no 2, p. 90-94.
- [5] SLAIMI, Fatma, SELLAMI, Sana, BOUCELMA, Omar, et al. Flexible matchmaking for restful web services. In OTM Confederated International Conferences ". Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. p. 542-554.

## **Recueil et exploitation de données issues de capteurs connectés dans un contexte de télémonitoring pour bâtiments intelligents**

---

Aida Boudhaouia<sup>1</sup>

Julien Spiegel<sup>1</sup>

Patrice Wira<sup>1</sup>

aida.miled@uha.fr julien.spiegel@uha.fr patrice.wira@uha.fr

<sup>1</sup> IUT de Mulhouse, Université de Haute Alsace

Institut des Recherche en Informatique, Mathématiques, Automatique et Signal, IRIMAS

**Thèmes** – *Informatique*

**Résumé** – *De nouveaux défis environnementaux se posent dans le contexte de la gestion des ressources énergétiques et hydrauliques. Ils imposent des développements innovants en particulier dans l'utilisation au quotidien des ressources qui n'existent qu'en quantité limitée. Les nouvelles « technologies digitales » permettent de mieux appréhender la distribution et la gestion des ressources dans les bâtiments résidentiels et tertiaires. Depuis peu, le concept de bâtiments intelligents (en anglais « smart building ») a émergé sans qu'il soit encore bien défini et doit permettre une maîtrise efficace des ressources qui repose à minima sur des connaissances précises et régulières des consommations. Dans ce cadre, nous avons mis en place des compteurs autonomes et intelligents d'électricité et d'eau afin de centraliser automatiquement des relevés dans une base de données. L'analyse des données collectées permet un suivi efficace et précis des consommations. Les courbes de charge peuvent être confrontées à des données environnementales ainsi qu'à divers autres données liées aux usages. L'utilisation d'algorithmes d'apprentissage automatique permet de détecter des anomalies, de prédire les consommations, d'identifier certains appareils spécifiques, d'ajuster la production des ressources ou encore de définir des offres variées et personnalisées pour chaque usage et usager.*

**Mots-Clés** – *apprentissage automatique, analyse des données, compteur intelligent, courbe de charge*

## 1 Introduction

A l'heure où le développement durable se décline sous de nombreuses formes dans nos sociétés, il paraît opportun de mettre en œuvre des capteurs intelligents pour développer des solutions innovantes de télémonitoring permettant de gérer efficacement la distribution et la gestion des ressources. Les capteurs connectés ou Internet of Things (IoT) [1] doivent être insérés dans une architecture informatique distribuée utilisant des modèles de données BigData et des algorithmes évolués d'analyse des données. La solution utilisée doit être souple, évolutive et efficace, ses objectifs sont la collecte, le stockage et d'exploitation de consommations d'énergie électrique et d'eau à l'aide de compteurs indépendants et connectés (IoT) [2]. A cause de la masse importante des données, il est souvent difficile de les analyser à l'aide des algorithmes conventionnels.

La mise en place d'indicateurs appropriés et d'algorithmes issus de l'apprentissage automatique nous a permis de valider des stratégies de détection et de classification des usages de ressources bâtementaires.

## 2 Recueil de données issues de capteurs connectés dans un contexte de bâtiment intelligent

Les mesures de consommation sont réalisées avec des compteurs intelligents de type IoT qui sont énergétiquement autonomes [2] et qui transmettent en quasi temps réel les informations vers un serveur. Les données sont stockées dans une base de données SQL avec une interface vers des environnements de calculs scientifiques. Cette architecture est représentée sur la figure 1. La mise en œuvre a été réalisée dans un bâtiment tertiaire éducatif avec plusieurs capteurs qui mesurent et transmettent plusieurs grandeurs physiques.

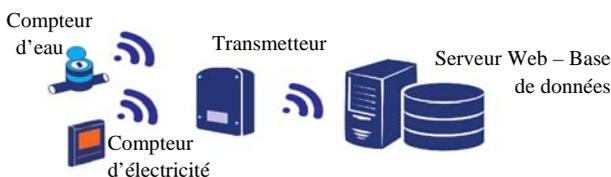


Figure 1 – Plateforme distribuée de collecte de données environnementales, de consommation d'eau et d'électricité

## 3 Analyse et exploitation des données

### 3.1 Courbes de charge de consommation

Notre contribution consiste à exploiter deux courbes de charge [3, 4], l'une relative à l'électricité et l'autre à l'eau. La courbe de charge de l'électricité est un mélange additif linéaire des puissances appelées de différents usages électriques pendant une durée donnée. Elle peut

ainsi représenter l'évolution de la consommation de l'énergie au cours du temps. En outre, une courbe de charge d'eau [3] est l'évolution de la consommation cumulée d'eau sur une période de temps. Les courbes de la figure Figure 2 représentent les courbes de charge de la consommation d'électricité et d'eau sur une journée. Chaque appareil utilisant l'eau ou/et l'électricité a une signature qui est une constituante de la courbe de charge. Cette signature spécifie un appareil par rapport aux autres. Les changements dans le signal indiquent la mise en marche ou l'arrêt d'un appareil.

### 3.2 Indicateurs et paramètres

La collecte des données se fait en permanence. L'analyse peut porter sur plusieurs échelles de temps allant de quelques mois à des données de consommation de plus d'une année. L'ensemble des données servent pour l'analyse et la prédiction des consommations [4]. Un prétraitement des données est essentiel pour toute approche basée sur les données [4]. Nous avons opté pour un échantillonnage avec une période de 1 minute afin de corriger différents bruits de mesure et à réduire les fluctuations.

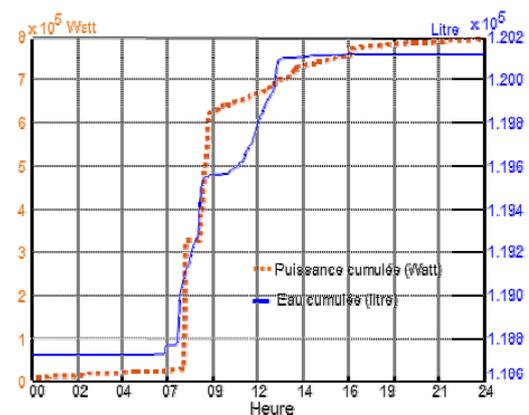


Figure 2 – Courbe de charge journalière d'eau et d'électricité

### 3.3 Analyse et résultats

L'analyse des données est réalisée selon deux axes. Le premier sera consacré à une classification des appareils électriques. Le deuxième axe sera une analyse et une détection d'anomalie de la consommation d'eau.

Pour classifier les appareils électriques, nous avons comparé plusieurs algorithmes [5] tels que les arbres de décision (DT : Decision Tree), l'algorithme des plus proches voisins (KNN : k-Nearest Neighbors) et des réseaux de neurones artificiels de type MLP (Multi-Layer Perceptron).

Un réseau MLP est un réseau de neurones multicouches formé de neurones formels organisés en couches et qui adaptent leurs poids en utilisant l'algorithme de rétropropagation de l'erreur (backpropagation) [5]. Le MLP utilisé comporte 16 entrées. Ces dernières correspondent aux caractéristiques fréquentielles de

chaque appareil. Le MLP a une couche cachée de 12 neurones et 8 sorties qui correspondent aux classes des appareils. La méthode DT [5] est une représentation graphique d'une procédure de classification sous la forme des branches et des feuilles avec une valeur de confiance de 25%. Par ailleurs, la méthode des KNN [5] consiste à classer une instance inconnue en fonction de leurs distances par rapport à des points constituant un échantillon d'apprentissage connu a priori. Nous avons paramétré l'algorithme KNN en choisissant la distance euclidienne et  $k=1$  pour forcer un appareil à n'être que dans une seule classe. Le processus de classification consiste en différentes étapes : entraîner le réseau, tester et au final classer les échantillons en classes prédéfinies. Avec ces classificateurs, nous avons partagé nos instances entre données d'apprentissage et données de test. Les classes sont réparties en 8 groupes d'appareils électriques. Chaque appareil consomme de l'énergie différemment pendant une durée de temps et provoque une signature harmonique dans l'espace de fréquence. Les appareils sont respectivement ordonnés comme suit : moniteur, ordinateur, lampe fluorescente, télévision, chargeur de batterie, ventilateur, réfrigérateur et ampoule. Les taux de la classification avec les trois méthodes sont proches.

La table **Table 1** décrit les résultats de la classification. Nous remarquons que la méthode DT a les résultats les plus acceptables par rapport aux autres méthodes en termes de taux de classification, de l'erreur absolue moyenne et du temps d'exécution. Par contre la classification avec MLP a nécessité un temps d'exécution le plus élevé et un espace mémoire le plus faible.

L'apprentissage automatique a permis de construire un modèle. Le test permet d'évaluer ce modèle et d'ajuster ses paramètres. Le modèle résultant sera sauvegardé afin de classer par la suite chaque échantillon de classe d'appareil inconnu.

Table 1 – Résultats d'apprentissage

Algorithme	DT	MLP	KNN
Taux de classification (%)	98,6	98,1	94.5
Erreur absolue moyenne	0.0039	0.0063	0.0140
Temps total (s)	0.15	21.51	0.98
Mémoire (ko)	13 100	530	29 360

A partir des données collectées relatives à l'eau, nous avons mis en place une analyse très simple pour détecter les anomalies telles qu'une fuite d'eau ou une faible présence des utilisateurs (weekends, jours fériés, etc.). La

figure 3 est une représentation de la consommation journalière d'eau (décembre 2017 à janvier 2018). On peut constater les écarts de consommation de l'eau pendant une cinquantaine de jours. Il est bien clair que, pendant la plupart des jours, la consommation ne dépasse pas 1000 l/jour. On peut cependant constater une consommation qui a dépassé 8000 l/jour pendant deux jours successifs. Cela est dû à une fuite d'eau détectée en confrontant la dernière mesure à la moyenne de la consommation sur une période antérieure. Les jours où la consommation est faible sont des jours avec très peu d'utilisateurs sur site. La mise en place de seuils adaptatifs est extrêmement simple et permet une détection relativement efficace et rapide. Une fuite peut par exemple être détectée quelques après son apparition.

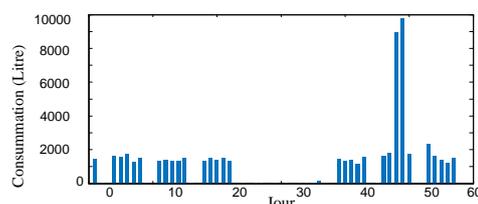


Figure 3 – Volumes de consommation journalière d'eau

## 4 Conclusions et perspectives

Nous avons proposé une plateforme qui a permis la transmission et la collecte des données issues d'un bâtiment. Ces données contiennent la consommation d'eau, la consommation d'électricité en plus des données environnementales. Nous avons mis en place des outils pour exploiter ces données. Dans ce cadre nous avons opté pour une classification des appareils électriques avec des algorithmes d'apprentissage automatique. De plus, nous avons détecté une anomalie dans la consommation d'eau telle qu'une fuite. Nos futurs travaux sont ciblés vers la déduction des comportements utilisateurs à partir des consommations et vers la détection de fuites, d'anomalies et de comportements à risque.

## Références

- [1] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, et M. Zorzi, *Internet of Things for Smart Cities*, IEEE Internet of Things Journal, vol. 1, no 1, 2014, p. 22-32.
- [2] J. Spiegel, P. Wira, et G. Hermann, *Energy efficiency optimization in fluid flow metering*, IEEE 19th International Conference on Industrial Technology (ICIT 2018), Lyon, France, 2018.
- [3] B. Ellert, S. Makonin, et F. Popowich, *Appliance Water Disaggregation via Non-Intrusive Load Monitoring (NILM)*, in Smart City 360°, 2016, p. 455-467.
- [4] K. Amasyali et N. M. El-Gohary, *A review of data-driven building energy consumption prediction studies*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 81, 2018, p. 1192-1205.
- [5] I. H. Witten, E. Frank, M. A. Hall, et C. J. Pal, *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. Morgan Kaufmann, 2016.

# Commande basée observateur d'un système LPV: Application à une génératrice asynchrone à double alimentation

---

A. SASSI<sup>1,2</sup> H. SOULEY ALI<sup>1,\*</sup> M ZASADZINSKI<sup>1</sup> K. ABDERRAHIM<sup>2</sup>

\* harouna.souley@univ-lorraine.fr

<sup>1</sup> IUT Henri Poincaré de Longwy, Université de Lorraine, France  
Centre de Recherche en Automatique de Nancy, CRAN-CNRS UMR 7039

<sup>2</sup> Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabès, Université de Gabès, Tunisie  
UR: Commande Numérique des Procédés Industriels

**THÈMES** – *Automatique-Énergie-Mathématiques*

**RÉSUMÉ** – *Dans cet article, nous mettons l'accent sur le problème d'une commande basée observateur pour une génératrice asynchrone à double alimentation (DFIG) modélisée par un système à paramètre variant (Linear Parameter Varying system: LPV system) pilotée par une éolienne (DFIGWT). L'intérêt est de pouvoir contrôler un système de production d'électricité même si nous n'avons pas accès à toutes les mesures. En se basant sur une modélisation de l'espace d'état d'une DFIGWT, des conditions suffisantes de convergence d'un observateur d'état sont données en termes de LMI (Linear Matrix Inequality, Inégalité Matricielle Linéaire) qui satisfait les performances d'un critère  $H_\infty$  dans le but du rejet de perturbations. Une fois les états sont accessibles, une loi de commande est établie et les gains sont conçus en utilisant des techniques standard  $H_\infty$  pour les systèmes LPV. La faisabilité et les performances des résultats développés seront montrées à travers un exemple numérique.*

**MOTS-CLÉS** – *Commande, observateur, système à paramètres variants.*

## 1 Introduction

Dû au réchauffement climatique menaçant le monde, un grand intérêt a été accordé à l'énergie renouvelable et aux sources d'énergie à faibles émissions de carbone au cours des dernières années. L'une des sources renouvelables les plus prometteuses est l'énergie éolienne. L'utilisation des éoliennes, pour la production d'énergie électrique, est une tendance croissante. Notamment, les éoliennes avec DFIG sont l'un des principaux types d'éoliennes et les plus utilisées dans les grands parcs éoliens modernes. En raison de la complexité du modèle DFIG, son analyse est considérée comme un problème difficile. Dans ce travail, le problème de commande d'une DFIGWT modélisé par un système LPV où le paramètre variant représente la vitesse du vent, sera étudié. Lorsque les états d'un système ne sont pas accessibles, la commande basée observateur est généralement appliquée. Il est bien établi que le problème de commande basée observateur peut être résolu en deux problèmes distincts : la synthèse de l'observateur afin d'estimer le comportement du système, ensuite la conception d'une loi de commande appropriée. Ce principe de séparation permet de diminuer le temps de calcul et de réduire la complexité du problème de synthèse comme il est divisé en deux sous-problèmes distincts.

## 2 Modélisation d'un DFIG

La pratique industrielle actuelle favorise la DFIG pour les génératrices d'éoliennes. Avec son stator connecté au réseau et son rotor excité via un convertisseur électronique de puissance, la DFIG est capable de générer une puissance à fréquence constante lorsqu'il fonctionne à la vitesse la mieux adaptée aux conditions de vent prévalentes.

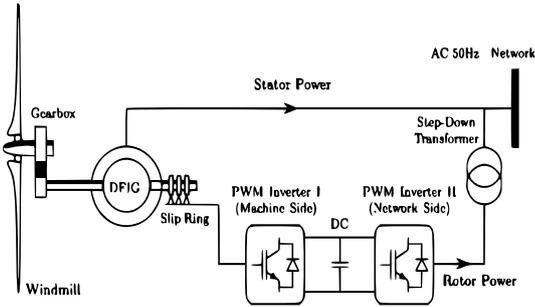


FIGURE 1 – Scheme of a wind turbine system with a DFIG.

Un modèle DFIG de 4<sup>ème</sup> ordre dans un cadre de référence  $d-q$  à deux axes, tournant à vitesse synchrone, est considéré [?] [?]. Ce modèle peut être écrit sous forme d'un système LPV comme suit

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= (A_1 + \rho(t)A_2)x(t) + B_1w(t) + B_2u(t) \\ z(t) &= C_1x(t) + D_{11}w(t) + D_{12}u(t) \\ y(t) &= C_2x(t) + D_{21}w(t) + D_{22}u(t)\end{aligned}$$

où  $x(t) = [\Psi_{ds} \ \Psi_{qs} \ i_{dr} \ i_{qr}]^T \in \mathbb{R}^4$  est le vecteur d'état

( $\Psi_{ds}, \Psi_{qs}$  : les flux du stator.  $i_{dr}$  et  $i_{qr}$  : les courants du rotor).  $u = [\vartheta_{dr} \ \vartheta_{qr}]^T \in \mathbb{R}^2$  est le vecteur des entrées de commande ( $\vartheta_{dr}, \vartheta_{qr}$  : les tensions du rotor).  $\rho(t) = \omega_{sl}(t) \in [\omega_{min}, \omega_{max}] = [-0.4\omega_s, 0.4\omega_s]$  est le paramètre variant ( $\omega_{sl}(t)$  : la vitesse du vent,  $\omega_s$  : la vitesse synchrone).  $w(t) = [\vartheta_{ds} \ \vartheta_{qs} \ i_{dr}^{ref} \ i_{qr}^{ref}]^T$  est le vecteur des perturbations ( $\vartheta_{ds}, \vartheta_{qs}$  : les tensions du stator.  $i_{dr}^{ref}, i_{qr}^{ref}$  : les courants de référence du rotor).  $y(t) = [i_{dr} \ i_{qr}]^T \in \mathbb{R}^2$  est le vecteur des sorties mesurées.  $z(t) = [e_{idr} \ e_{iqr}]^T$  est le vecteur des sorties commandées, avec  $e_{idr} = i_{dr}^{ref} - i_{dr}$  et  $e_{iqr} = i_{qr}^{ref} - i_{qr}$  sont les erreurs de poursuite. Les matrices du système sont telles que

$$A_1 = \begin{bmatrix} \frac{-R_s}{L_s} & \omega_s & \frac{L_m R_s}{L_s} & 0 \\ -\omega_s & \frac{-R_s}{L_s} & 0 & \frac{L_m R_s}{L_s} \\ \frac{-a_3}{a_2} & \frac{-a_4}{a_2} & \frac{-a_1}{a_2} & 0 \\ \frac{a_4}{a_2} & \frac{-a_3}{a_2} & 0 & \frac{-a_1}{a_2} \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{a_5}{a_2} & 0 & 1 \\ \frac{-a_5}{a_2} & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{-a_5}{a_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-a_5}{a_2} & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad B_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{1}{a_2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{a_2} \end{bmatrix}$$

$$-C_1 = C_2 = D_{11} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$D_{12} = 0_{2 \times 2}, \quad D_{21} = 0_{4 \times 4}, \quad D_{22} = 0_{4 \times 2}$$

avec  $a_1 = R_r + \frac{L_m^2 R_s}{L_s^2}$ ,  $a_2 = L_r - \frac{L_m^2}{L_s}$ ,  $a_3 = \frac{-L_m R_s}{L_s^2}$ ,  $a_4 = \frac{L_m \omega_s}{L_s}$  et  $a_5 = \frac{L_m}{L_s}$  ( $R_s, R_r$  : les résistances du stator et du rotor,  $L_s, L_r, L_m$  : les inductances du stator, du rotor et l'inductance mutuelle).

## 3 Synthèse d'une commande basée observateur

Comme décrit dans l'introduction, le problème sera étudié sous forme de deux sous problèmes : la synthèse d'observateur pour estimer l'état du système, notamment les courants du rotor, ensuite élaborer une loi de commande qui garantit la stabilité du système et la poursuite des courants du rotor vers des courants de référence.

### 3.1 Synthèse d'observateur

L'observateur proposé permet l'estimation de tous les composants du vecteur d'état et décrit comme suit

$$\hat{\dot{x}}(t) = A_1 \hat{x}(t) + A_2 \rho(t) \hat{x}(t) + B_2 u(t) + L_x (y(t) - C \hat{x}(t))$$

où  $\hat{x} \in \mathbb{R}^4$  est l'estimation de  $x$ .  $L_x$  dans  $\mathbb{R}^{n \times n}$  est le gain de l'observateur, qui devrait être déterminée telle

que  $\hat{x}$  converge vers sa valeur réelle  $x$ . Notons  $e_x = x - \hat{x}$  l'erreur d'estimation des états dont la dynamique représente un système LPV. Une application du Lemme Borné Réel [?] permet la détermination du gain  $L_x$ .

### 3.2 Loi de commande

Un correcteur PI (Proportionnel-Intégral) est choisie afin d'assurer la stabilité et la poursuite vers une référence du vecteur d'état  $x(t)$ , tel que

$$u = K_x \hat{x} + K_I q$$

où  $K_x \in \mathbb{R}^{2 \times 4}$  et  $K_I \in \mathbb{R}^{2 \times 2}$  sont les gains de commande.  $q$  est défini par sa dynamique telle que  $\dot{q} = y_c - y$ , avec  $y_c = [i_{dr}^{ref} \ i_{qr}^{ref}]^T$ . Ainsi le système en boucle fermée s'écrit

$$\begin{aligned} \dot{\xi}(t) &= \mathbb{A}(\rho)\xi(t) + \mathbb{B}w(t) \\ y(t) &= \mathbb{C}_y \xi(t) \\ z(t) &= \mathbb{C}_z \xi(t) + D_{11}w(t) \end{aligned}$$

où  $\xi^T = [\hat{x}^T \ e_x^T \ q^T]$ ,

$$\mathbb{A} = \begin{bmatrix} a_{(1,1)} & L_x C_2 & B_2 K_I \\ 0 & a_{(2,2)} & 0 \\ -C_2 & -C_2 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbb{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ B_1 \\ B_q \end{bmatrix}$$

$$\mathbb{C}_z = \begin{bmatrix} C_1 & C_1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbb{C}_y = \begin{bmatrix} C_2 & C_2 & 0 \end{bmatrix}$$

Le but est de concevoir une loi de commande  $u$  qui minimise l'impact du vecteur  $w$  sur le vecteur  $\xi$  et stabilise le système en boucle fermée. Pour ce faire, une approche  $H_\infty$  sera utilisée. De même que dans la synthèse d'observateur, l'application du lemme Borné Réel permet le calcul des gains de commande  $K_x$  et  $K_I$ .

## 4 Résultats de simulation

Nous considérons dans cette section un exemple numérique de DFIG, où les différentes variables sont telles que [?]  $R_s = 0.0092\Omega$ ,  $R_r = 0.0061\Omega$ ,  $L_s = 6.886mH$ ,  $L_r = 7.127mH$ ,  $L_m = 6.7mH$ ,  $\omega_s = 104.67rad/s$

$$L_x = \begin{bmatrix} -8.9577e+06 & 8.6969e+06 \\ -8.6983e+06 & -8.9593e+06 \\ 5.8187e+09 & -5.476e+09 \\ 5.4769e+09 & 5.8197e+09 \end{bmatrix}$$

$$K_x^T = \begin{bmatrix} -1.9046 & -82.3732 \\ 82.3732 & -1.9046 \\ -99.9856 & 0.0000 \\ 0.0000 & -99.9856 \end{bmatrix}$$

$$K_I = \begin{bmatrix} 70.7107 & -0.0086 \\ 0.0086 & 70.7107 \end{bmatrix}$$

Le fait d'injecter ces gains dans un modèle de simulation avec les conditions initiales  $x_0 = [10 \ 10 \ 10 \ 10]$  et  $\hat{x}_0 = [0 \ 0 \ 0 \ 0]$ . Les résultats suivants sont obtenus

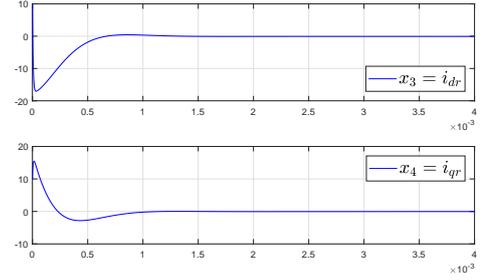


FIGURE 2 – Stabilisation des courants du rotor  $i_{dr}$  et  $i_{qr}$  avec  $i_{dr}^{ref} = 0A$  et  $i_{qr}^{ref} = 0A$ .

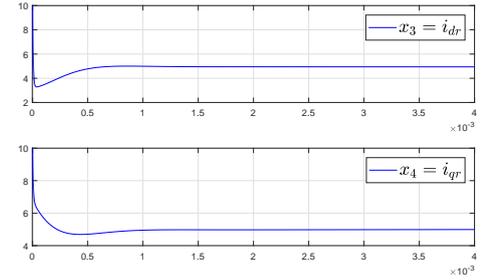


FIGURE 3 – Stabilisation des courants du rotor  $i_{dr}$  et  $i_{qr}$  avec  $i_{dr}^{ref} = 5A$  et  $i_{qr}^{ref} = 5A$ .

Ces figures montrent la stabilisation des courants du rotor  $i_{dr}$  et  $i_{qr}$  et la poursuite vers les courants de référence  $i_{dr}^{ref}$  et  $i_{qr}^{ref}$ . Dans la première figure, les courants de référence du rotor sont pris égaux à zéro et les tensions du stator sont considérées telles que  $\vartheta_{ds} = 15V$  et  $\vartheta_{qs} = 5V$ . Dans la deuxième figure, les courants de référence du rotor sont choisis tels que  $i_{dr}^{ref} = 5A$  et  $i_{qr}^{ref} = 5A$  et les tensions du stator sont égales à zéro.

## 5 Conclusions

L'avantage dans ce travail est que la vitesse du vent peut être prise en compte dans la conception, comme paramètre variable et non perturbateur. La loi de commande a été établie sur la base d'une approche  $H_\infty$  qui assure les objectifs de commande (stabilité, régulation et atténuation des perturbations).

## Références

- [1] Z. Wang and H. Zhang. Design of bilinear observer for singular bilinear systems. *Journal of Control Theory and Applications*, 4(4) :413–417, 2006.
- [2] X.J. Yao, L. Tian, Z.X. Xing, and X.B. Su. Dynamic model and simulation of doubly feed induction generator wind turbine. *IEEE International Conference on Automation and Logistics*, pages 1667–1671, August 2009.
- [3] S.S. Chaughtai and N. Munro. LMI based gain-scheduled control. *University of Bath, UK*, 2004.

---

# Développement de Micro-Capteurs pour la détection de traces de BTEX :

## Application au suivi de la qualité de l'air

---

Alexandre Favard Thierry Contaret Khalifa Aguir Marc Bendahan

alexandre.favard@univ-amu.fr thierry.contaret@univ-amu.fr khalifa.aguir@univ-amu.fr  
marc.bendahan@univ-amu.fr

IUT, Aix-Marseille Université  
Institut Matériaux Microélectronique Nanosciences de Provence, UMR 7334

**Thèmes** – Environnement - Électronique

**Résumé** – *Le suivi de la qualité de l'air est devenu un enjeu important pour la santé et la société. Le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes (les composés BTEX) font partie des Composés Organiques Volatiles (COV) ciblés par la directive européenne 2008/50/CE. La détection de ces gaz polluants en conditions réelles nécessite de travailler en présence d'humidité et d'autres gaz polluants. L'humidité limite les performances de détection des capteurs de gaz à base d'oxyde métallique, notamment en termes de sensibilité. Les autres gaz polluants peuvent également réduire la sensibilité aux gaz BTEX en raison de la compétition entre les molécules des différents gaz pour réagir sur les mêmes sites d'adsorption. Dans ce travail, nous démontrons la possibilité de détecter de très faibles concentrations de BTEX en conditions réelles avec un faible écart type de mesure ( $<1$ ) à l'aide d'un micro-capteur de gaz à base de trioxyde de tungstène développé et breveté au sein du laboratoire pour le contrôle et la surveillance de la qualité de l'air extérieur.*

**Mots-Clés** – Micro-capteur, BTEX, humidité,  $WO_3$ .

# 1 Introduction

La pollution de l'air est devenue une problématique majeure de notre société. Elle a des impacts considérables sur la santé des êtres humains, sur la faune et la flore. Elle est à l'origine d'insuffisances respiratoires, d'asthme, de maladies cardiovasculaires et de cancers [1]. Le Benzène, le Toluène, l'Éthylbenzène et les Xylènes (les composés BTEX) sont des polluants avérés et participent grandement à la dégradation de la qualité de l'air extérieur. En 2008, l'union européenne a instauré des obligations de mesure et de seuils à ne pas dépasser pour ces polluants mais les moyens actuels pour la surveillance de la qualité de l'air sont limités pour cartographier efficacement l'ensemble du territoire.

Afin de répondre à ces exigences, les capteurs à base d'oxydes métalliques présentent de nombreux avantages. Ils sont sensibles, stables dans le temps, réversibles, rapides. Ils sont peu énergivores, «low-cost» et facilement intégrables dans des systèmes embarqués. Depuis quelques années ils font l'objet d'un intérêt particulier pour la détection des gaz BTEX [2, 3, 4]. Cependant, l'humidité a un fort impact sur leur sensibilité et limite grandement leur utilisation pour le contrôle et la surveillance de la qualité de l'air.

Dans ce travail nous présentons le développement d'un micro-capteur de gaz à base de trioxyde de tungstène (WO<sub>3</sub>) pour la détection des BTEX en conditions réelles.

## 2 Dispositifs expérimentaux

### 2.1 Le capteur

Notre capteur (figure 1) est composé d'un support en silicium oxydé, d'électrodes de mesures en platine Pt, d'un micro système de chauffage intégré, et d'un élément sensible au gaz à détecter [5].

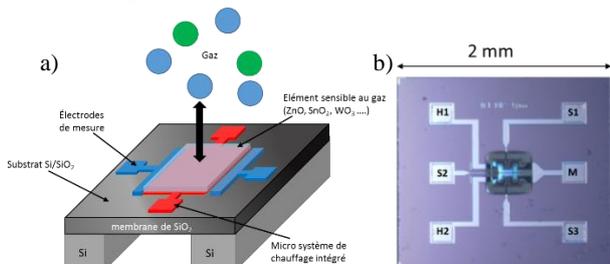


Figure 1 - a) Constitution d'un micro-capteur de type MOX  
b) Photo du capteur développé au laboratoire

L'élément chauffant est indispensable pour l'activation des réactions chimiques au niveau de la surface du capteur, ainsi que pour la désorption des molécules et par conséquent la réversibilité de la réponse. La couche sensible à base de trioxyde de tungstène (WO<sub>3</sub>) d'une épaisseur de 50 nm a été déposée par pulvérisation cathodique réactive magnétron RF. Ensuite, le dispositif a été recuit à 450°C pendant deux heures afin de stabiliser la structure cristalline de la couche sensible.

Le trioxyde de tungstène (WO<sub>3</sub>) est un oxyde métallique de type n avec un large gap et des lacunes d'oxygène. La conductivité de cet oxyde dépend de la composition de l'atmosphère gazeuse environnante [6].

Au cours de toutes nos études, nous avons utilisé une température de fonctionnement de 300°C. Les mesures électriques ont été effectuées sous un flux de gaz constant de 0.5L/min et une humidité relative de 50%.

La réponse du capteur en présence de BTEX a été calculée en utilisant la relation (1) :

$$\text{Réponse du capteur (\%)} = \left( \frac{R_{\text{air}} - R_{\text{gaz}}}{R_{\text{gaz}}} \right) * 100 \quad (1)$$

Avec R<sub>air</sub>, la résistance du capteur sous air humide et R<sub>gaz</sub>, la résistance du capteur sous les vapeurs BTEX.

### 2.2 Le banc de test

Nous avons utilisé un banc d'essai spécialement conçu pour la détection BTEX en présence de différents taux d'humidité. Il est composé d'un système de dilution et d'humidification de gaz qui génère un mélange de sortie à de très faibles concentrations (1 à 500 ppb) avec une humidité variable (0 à 90%), d'une cellule de test intégrée et d'un système d'acquisition pour caractériser les réponses électriques du capteur.

## 3 Résultats expérimentaux

### 3.1 Détection de BTEX sous air humide

Nous devons d'abord étudier les réponses du capteur dans la plage de 100 à 500 ppb. Les résultats sont donnés sur la figure 2.

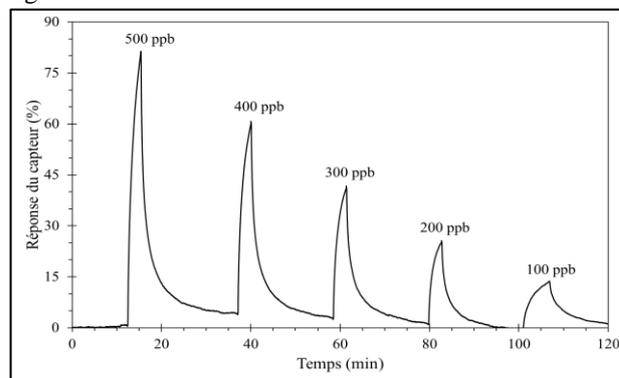


Figure 2 - Réponse du capteur aux BTEX sous 50% HR, gamme 100 – 500 ppb

Ils montrent une bonne discrimination de la concentration de BTEX et une ligne de base du capteur relativement stable, ainsi qu'une bonne réversibilité. De plus, nous sommes capables de détecter les BTEX en présence de 50% d'humidité relative ce qui est un résultat remarquable vis-à-vis de la littérature.

En effet, l'humidité dans l'atmosphère est un facteur limitant pour la détection de gaz avec des capteurs à base d'oxyde métallique [7]. Presque tous les types d'oxydes métalliques présentent une forte tendance à adsorber

l'humidité sur leurs surfaces ce qui conduit à la dégradation de la performance de détection. Les molécules d'eau réagissent avec les espèces chimisorbées d'oxygène ou s'adsorbent directement sur les espèces ioniques en surface ce qui conduit à une modification de la barrière d'énergie, et donc à une modification de la sensibilité du capteur [8]. Dans notre étude, le capteur est sensible à l'humidité mais nous sommes toujours capables de détecter de faibles concentrations de BTEX.

La répétabilité de la réponse des mesures a également été testée. Le capteur a été soumis successivement à 10 expositions de 100 ppb sous 50% HR. Nous avons calculé la réponse moyenne, l'écart-type ( $S_r$ ) et l'erreur de répétabilité ( $E_r$ ). Une réponse moyenne à 100 ppb de 13,5% est obtenue. Un écart type ( $S_r$ ) de 0,3 a été obtenu en utilisant la relation (2) :

$$S_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad (2)$$

Où  $\{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_N\}$  sont les valeurs de la réponse,  $\bar{x}$  est la réponse moyenne du capteur et N le nombre d'expositions.

Une erreur de répétabilité ( $E_r$ ) de 1% a été obtenue avec la relation (3) :

$$E_r(\%) = \left(\frac{S_r}{\bar{x}}\right) * 100 \quad (3)$$

Ces résultats montrent un moyen de détecter les vapeurs de BTEX dans de bonnes conditions de répétabilité et démontrent la possibilité de mesurer la concentration de BTEX dans une atmosphère contenant 50% d'humidité relative.

### 3.2 Détection des BTEX en présence d'interférants

L'air extérieur contient beaucoup de gaz interférents comme le  $\text{NO}_2$  et le  $\text{CO}_2$ . Le but de notre travail est de détecter de faibles concentrations de BTEX dans des conditions réelles. Pour démontrer la capacité de notre capteur à détecter le BTEX dans l'air extérieur, nous avons testé notre capteur en présence de 100 ppb de BTEX en présence d'interférants sous 50% d'humidité relative. Nous avons effectué trois tests (figure 3).

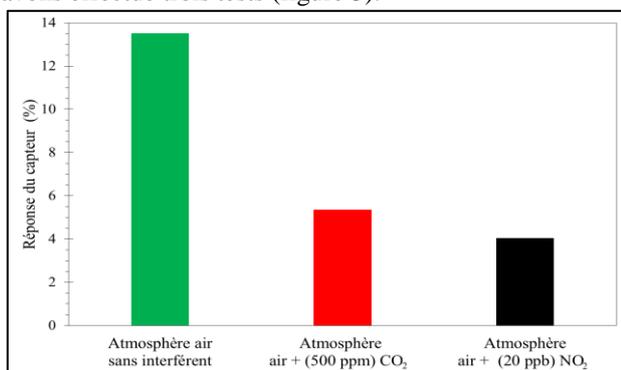


Figure 3 - Réponse à 100 ppb BTEX (50% HR) en présence de différentes atmosphères (air, air +  $\text{CO}_2$ , air +  $\text{NO}_2$ )

Le premier test a été réalisé avec dans une atmosphère d'air avec une humidité relative de 50% pour nous servir de référence. Lors du deuxième test, nous avons travaillé dans une atmosphère contenant 500 ppm de  $\text{CO}_2$ . Pour le troisième test, nous avons étudié la réponse du capteur dans une atmosphère de 20 ppb de  $\text{NO}_2$ . Ces résultats confirment la possibilité de détecter une faible concentration de BTEX dans un environnement réel sous atmosphère complexe.

## 4 Conclusion

Dans ce travail, nous montrons la possibilité de détecter une faible concentration de BTEX à l'aide d'un capteur de gaz à base d'oxyde métallique avec un faible écart-type inférieur à 1 en présence de 50% d'humidité relative. Nous montrons également la possibilité de détecter une faible concentration de BTEX en présence d'autres polluants extérieurs. Notre capteur à base de  $\text{WO}_3$  est donc bien adapté pour surveiller la qualité de l'air extérieur.

## 5 Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier la Banque Pour l'Investissement de France (BPI France) pour leur soutien financier dans le cadre de ce travail et la société ELS pour l'accompagnement dans cette étude. Les auteurs souhaitent également remercier Mr Alain COMBES pour son soutien technique tout au long de ce travail.

## Références

- [1] Christian Seigneur, Effets sanitaires de la pollution atmosphérique, Laboratoire commun École des Ponts Paris Tech/EDF R&D.
- [2] B. Ghaddab, F. Berger, J.B. Sanchez, P. Menini, C. Mavon, P. Yoboue, V. Potin, Benzene monitoring by micro-machined sensors with  $\text{SnO}_2$  layer obtained by using micro-droplet deposition technique, *Sensors and Actuators B* 152 (2011), p 68–72.
- [3] D. Acharyya, P. Bhattacharyya, an efficient BTX sensor based on  $\text{ZnO}$  nanoflowers grown by CBD Method, *Solid-State Electronics* 106 (2015), p 18–26.
- [4] K. Kanda, T. Maekawa, Development of a  $\text{WO}_3$  thick-film-based sensor for the detection of VOC, *Sensors and Actuators B* 108 (2005), p 97–101.
- [5] Heated sensitive layer gas sensor, K. Aguir, M. Bendahan, V. Laithier, patent N° FR 13 59494, 2013, international extension in 2016.
- [6] J. Guérin, K. Aguir, M. Bendahan, Modeling of the conduction in a  $\text{WO}_3$  thin film as ozone sensor, *Sensors and Actuators B* 119 (2006) 327–334.
- [7] C. Wang, L. Yin, L. Zhang, D. Xiang, R. Gao, Metal Oxide Gas Sensors: Sensitivity and Influencing Factors, *Sensors* vol 10, pp 2088–2106, 2010.
- [8] J. Gong, Q. Chen, M-R Lian, N-C. Liu, R. G. Stevenson, F. Adami, Micromachined nanocrystalline silver doped  $\text{SnO}_2$   $\text{H}_2\text{S}$  sensor, *Sensors and Actuators B* 114 (2006), 32–39.

## Subdivision de courbes de Bézier appliquées aux cyclides de Dupin

---

Karine SERIER<sup>1</sup> Lionel GARNIER<sup>2</sup> Jean-Paul BECAR<sup>3</sup> Laurent FUCHS<sup>4</sup>

karine.serier@u-bourgogne.fr lionel.garnier@u-bourgogne.fr pbecar@univ-valenciennes.fr Laurent.Fuchs@sic.univ

<sup>1</sup> IUT Dijon Auxerre Département INFO, Université de Bourgogne,  
B.P. 47870, 21078 Dijon Cedex

<sup>2</sup> LE2i, Université de Bourgogne,  
B.P. 47870, 21078 Dijon Cedex

<sup>3</sup> IUT Valenciennes Département GEII, LAMAV FR2956, EA 4015,  
Université de Valenciennes, Le Mont-Houy, 59313 Valenciennes Cedex 9

<sup>4</sup> Laboratoire XLIM Université de Poitiers,  
Boulevard Marie et Pierre Curie, 86962 Futuroscope Chasseneuil Cedex, France

**THÈMES** – *Mathématiques-Informatique-Géométrie de la CAO*

**RÉSUMÉ** – *La géométrie de la CAO exploite les cyclides comme outils de raccord entre surfaces élémentaires. De nombreux auteurs se sont penchés sur ces surfaces. Une cyclide de Dupin peut être obtenue comme image d'un tore de révolution, d'un cône de révolution ou d'un cylindre de révolution par une inversion. Ici, elles sont plongées dans l'espace de Lorentz ce qui permet de les voir comme des sphères unités tout en gardant leurs propriétés métriques. Ainsi la construction d'une cyclide de Dupin peut être réalisée au même titre que la construction d'une courbe de Bézier à l'aide d'un algorithme de subdivision.*

**MOTS-CLÉS** – *Cyclides, Courbes de Bézier, Espace de Lorentz*

## 1 Introduction

Le papier est une introduction à l'espace de Lorentz pour de nouvelles applications en CAO. Cet espace est caractérisé par une forme quadratique. Cette dernière définit l'espace des sphères orientées et des plans orientés. Les courbes de Bézier rationnelles quadratiques sont plongées dans cet espace, facilitant la gestion des surfaces canal et cyclides de Dupin pour de nouvelles applications en CAO.

## 2 L'espace de Lorentz

L'espace de Lorentz est une généralisation de l'espace-temps de Minkowski à  $\mathbb{R}^5$  comme le précise [4]. L'ensemble des vecteurs qui annulent cette forme quadratique sont appelés vecteurs isotropes et définissent le cône de lumière  $C_l$ , de sommet  $O$ .

L'espace de Lorentz est l'espace  $\mathbb{R}^5$  muni d'une forme quadratique de signature (4; 1), il est noté  $\vec{L}_{4,1}$  muni de la base canonique  $(\vec{e}_0^-, \vec{e}_1^-, \vec{e}_2^-, \vec{e}_3^-, \vec{e}_4^-, \vec{e}_5^+)$ . La forme quadratique de Lorentz est notée  $Q_{4,1}$  de forme bilinéaire symétrique associée  $\mathcal{L}_{4,1}$ . Le parabolôïde  $P$ , d'équation :

$$\begin{cases} x_o - 1 = 0 \\ x^2 + y^2 + z^2 - 2x_o x_\infty = 0 \end{cases} \quad (1)$$

dans le repère  $(O_5; \vec{e}_0^-, \vec{e}_1^-, \vec{e}_2^-, \vec{e}_3^-, \vec{e}_\infty^-)$ , est isométrique au plongement de  $\mathcal{E}_3$  dans l'espace de Minkowski-Lorentz. Une sphère de  $\mathcal{E}_3$ , de centre  $\Omega$ , de rayon  $\rho$  est représentée par le point  $\sigma$  ou le vecteur position  $\vec{\sigma}$  défini par [1] :

$$\vec{\sigma} = \frac{1}{\rho} (\vec{e}_o^- + \vec{\Omega} + \frac{1}{2} (\|\vec{\Omega}\|^2 - \rho^2) \vec{e}_\infty^-) \quad (2)$$

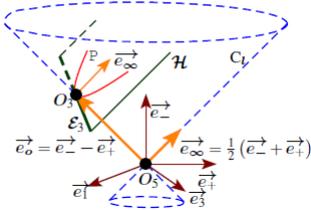


FIGURE 1 – Le cône de lumière  $C_l$ , l'hyperplan affine  $\mathcal{H}$  et le parabolôïde  $\mathcal{P}$  isométrique à  $\mathcal{E}_3$ .

Un plan orienté  $\mathcal{P}$  défini par un point  $P$  et un vecteur normal unitaire  $\vec{N}$  est représenté par :

$$\vec{\pi} = \vec{O}_5 \vec{\pi} = \vec{N} + (\vec{N} \bullet \vec{P}) \vec{e}_\infty^- \quad (3)$$

où  $\bullet$  désigne le produit scalaire de  $\vec{\mathcal{E}}_3$ . Soit la sphère unité  $\Lambda^4$  de centre  $O_5$  de  $\vec{L}_{4,1}$  :

$$\Lambda^4 = \left\{ \sigma \in \vec{L}_{4,1} \mid Q_{4,1}(\vec{O}_5 \vec{\sigma}) = \vec{O}_5 \vec{\sigma}^2 = 1 \right\} \quad (4)$$

qui représente les sphères orientées et les plans orientés de  $\mathcal{E}_3$ . Tout élément de  $\Lambda^4$  représente soit une sphère orientée, soit un plan orienté. Les deux sphères orientées  $\mathcal{S}^+$  et  $\mathcal{S}^-$  de  $\mathcal{E}_3$  sont représentées par deux points de  $\Lambda^4$  symétriques par rapport à l'origine  $O_5$ , définis par deux vecteurs positions opposés  $\vec{\sigma}^+$  et  $\vec{\sigma}^-$  de  $\Lambda^4$ .

## 3 Les cyclides de Dupin

Dans l'espace euclidien usuel, une cyclide de Dupin peut être définie comme l'enveloppe de sphères orientées dont les centres sont situés sur une conique et passant toutes par un point fixe (réel ou imaginaire) d'une seconde conique.

La contribution d'une sphère de l'une des deux familles à la cyclide de Dupin est un cercle appelé cercle caractéristique. Dans l'espace affine euclidien usuel à trois dimensions  $\mathcal{E}_3$ , ce dernier peut être déterminé comme intersection de deux sphères. Cette intersection permettant d'obtenir un cercle caractéristique est rendue possible en se plaçant dans l'espace des sphères.

Une cyclide de Dupin est donc représentée par deux coniques  $C_1$  et  $C_2$  sur  $\Lambda^4$  représentant chacune une famille de sphères dont la cyclide de Dupin est l'enveloppe. Nous pouvons distinguer trois types de coniques :

- si la famille de sphères est sans point singulier, la conique est un cercle connexe, dans un plan de type espace, qui se trace comme une ellipse ;
- si la famille de sphères a un unique point singulier, la conique est une parabole (affine), dans un plan de type lumière, isométrique à une droite ;
- si la famille de sphères a deux points singuliers, la conique est un cercle non-connexe, dans un plan de type temps, qui se trace comme une hyperbole.



FIGURE 2 – Cyclides de Dupin en anneau.

Cependant la donnée d'une sphère sur une des coniques permet à l'aide de la sphère dérivée associée, qui est le vecteur tangent normalisé, d'obtenir le cercle caractéristique.

Les plans  $\mathcal{P}_1$  et  $\mathcal{P}_2$  contenant respectivement  $C_1$  et  $C_2$  sont orthogonaux et ne contiennent pas  $O_5$ . Si  $C_1$  (respectivement  $C_2$ ) est un cercle, nous notons son centre  $\Omega_1$  (respectivement  $\Omega_2$ ) et les points  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$  et  $O_5$  sont alignés. Soit  $\Delta_{O_5}$  cette droite. Chacun des plans  $\mathcal{P}_1$  et  $\mathcal{P}_2$  est perpendiculaire à  $\Delta_{O_5}$ . Cependant, si l'une des courbes est une parabole, nous avons :  $\vec{O}_5 \vec{\Omega}_1^2 = 0$  ou  $\vec{O}_5 \vec{\Omega}_2^2 = 0$ .

Dans le cas contraire, nous avons la relation d'après [4] :  $\overrightarrow{O_5\Omega_1} \cdot \overrightarrow{O_5\Omega_2} = 1$  Si  $\Omega_1$  est connu,  $\Omega_2$  est tel que

$$\overrightarrow{O_5\Omega_2} = \frac{1}{\overrightarrow{O_5\Omega_1}} \overrightarrow{O_5\Omega_1}$$

En se plaçant dans l'espace des sphères, les difficultés analytiques ne sont plus présentes. L'aspect vectoriel permet de résoudre le problème de manière élégante. Ainsi en passant en dimension supérieure, le problème se résout comme un tracé de conique. Les cas particuliers de l'hyperbole ou de la parabole, coniques ayant des points à l'infini peuvent être regardés sous le même angle : un vecteur étant un point massique au même titre qu'un point affine'.

## 4 Algorithme de subdivision

Le problème est réduit donc au tracé d'une conique à l'aide des courbes de Bézier. Pour cela, un algorithme de subdivision sera utilisé sur le même principe que celui élaboré par De Casteljau. Le but est de construire l'arc de la conique délimitée par  $\sigma_1$  et  $\sigma_2$  avec une subdivision. Ainsi la conique est une ellipse, l'arc à construire est connexe ce qui n'est pas nécessairement le cas d'une hyperbole. Dans le cas de l'hyperbole, le vecteur lumière peut s'écrire dans une base orthogonale au sens de Lorentz  $(\vec{u}, \vec{v}) : \frac{1}{2}(\vec{u} + \vec{v})$ , ce vecteur est également une direction de l'asymptote de l'hyperbole. Il faut garder à l'esprit que le cercle de  $\Lambda^4$  considéré est une hyperbole au sens habituel dans le 2-plan affine euclidien. Le tracé d'une conique est réalisé avec les courbes de Bézier dans le cadre des points massiques. L'idée est de découper l'arc en sous arc, aucun problème n'est posé dans le cas connexe. Dans le cas de l'hyperbole, une asymptote sépare les composantes connexes. De plus  $\Omega$  le centre du cercle de  $\Lambda^4$  est le point d'intersection des asymptotes, soit le centre de l'hyperbole. Si le déterminant des vecteurs  $\frac{1}{2}(\vec{u} + \vec{v})$  et  $\overrightarrow{\Omega\sigma_1}$  est du même signe que celui formé par les vecteurs  $\overrightarrow{\Omega\sigma_2}$ , l'arc est connexe sinon il n'est pas connexe. L'arc de conique est modélisé par une courbe de Bézier à l'aide de points massiques. Les points  $\sigma_1$  et  $\sigma_3$  sont pris comme les extrémités de l'arc nous intéressant de manière arbitraire.

Si l'arc de conique délimité par  $P_0 = (\sigma_1, 1)$  et  $P_2 = (\sigma_2, 1)$  considéré n'est pas un demi-cercle, la modélisation est obtenue par une courbe de Bézier de points massiques  $P_0, P_1$  et  $P_2$  : Soit  $C$  le cercle de centre  $\Omega$  passant par  $P_0$  et  $P_2$  et  $I$  l'isobarycentre de  $P_0$  et  $P_2$ . Le point  $P_1$  vérifie

$$\overrightarrow{IP_1} = t\overrightarrow{\Omega I} \quad t = \frac{\overrightarrow{\Omega P_0} \bullet \overrightarrow{IP_0}}{\overrightarrow{\Omega P_0} \bullet \overrightarrow{\Omega I}}$$

Si l'arc de conique délimité par  $P_0 = (\sigma_1, 1)$  et  $P_2 = (\sigma_2, 1)$  est un demi-cercle, la modélisation est obtenue par une courbe de Bézier de points massiques  $P_0, P_1$  et  $P_2$  : Soit  $C$  le cercle de centre  $\Omega$  passant par  $P_0$  et  $P_2$ . Le point

$P_1$  est de poids nul donc un vecteur.

$\overrightarrow{P_1}$  est orthogonal à  $\overrightarrow{P_0P_2}$  et  $\|\overrightarrow{P_1}\| = \frac{\|\overrightarrow{P_0P_2}\|}{4}$

Dans le cas d'un arc non connexe, la séparation selon un vecteur lumière permet de transformer un arc non connexe en deux arcs connexes. Le vecteur lumière permet de transformer un arc non connexe en deux arcs connexes. Il est la limite des points de la courbe et est un point massique de poids nul. Le travail sera donc équivalent à celui présenté ci-dessus. Cependant deux arcs seront à considérer pour les changements homographiques.

### 4.1 Homographies

L'idée est de construire, deux homographies  $h_0$  et  $h_1$  de  $[0; 1]$  dans respectivement  $[0; \frac{1}{2}]$  et  $[\frac{1}{2}; 1]$  en utilisant les calculs donnant les nouveaux points de contrôle. Dans le cas non connexe, le vecteur lumière joue une des extrémités pour les deux arcs à construire. Ainsi avec l'homographie

$h_0(u) = \frac{a_0(1-u)+b_0u}{c_0(1-u)+d_0u}$  avec  $h_0(0) = 0$  et  $h_0(1) = \frac{1}{2}$ , si  $\gamma$  est la courbe de Bézier rationnelle quadratique de points massiques de contrôle  $(P_0; \omega_0)$ ,  $(P_1; \omega_1)$  et  $(P_2; \omega_2)$  alors  $\gamma \circ h_0$  est la courbe de Bézier de points massiques  $(Q_0, \varpi_0)$ ,  $(Q_1, \varpi_1)$ ,  $(Q_2, \varpi_2)$  incluse dans  $\gamma$  avec :

$$\begin{cases} (Q_0, \varpi_0) = c_0^2 \square (P_0; \omega_0) \\ (Q_1, \varpi_1) = c_0 b_0 \square (P_1; \omega_1) \boxplus c_0 b_0 \square (P_1; \omega_1) \\ (Q_2, \varpi_2) = b_0^2 \square (P_0; \omega_0) \boxplus 2b_0^2 \square (P_1; \omega_1) \boxplus b_0^2 \square (P_2; \omega_2) \end{cases}$$

La deuxième partie de l'arc est traitée de la même manière.

## 5 Remerciements

Les auteurs remercient chaleureusement leurs laboratoires et instituts respectifs qui ont permis la faisabilité de ces travaux. Le Réseau National de télécommunications pour la Technologie l'Enseignement et la Recherche -RENATER- a été largement sollicité dans le cadre de ce papier.

## Références

- [1] *Subdivision des courbes de Bézier appliquées aux cyclides de Dupin*, Sérier K., mémoire de master MIGS, Université de Valenciennes, Septembre 2017.
- [2] *Les cyclides de Dupin et l'espace des sphères*, Druoton, Lucie and Garnier, Lionel and Langevin, Rémi, Revue Electronique Francophone d'Informatique Graphique, 2011
- [3] *Constructions, dans l'espace des sphères, de carreaux de cyclides de Dupin à bords circulaires*, Garnier, L and Druoton, Revue Electronique Francophone d'Informatique Graphique, 2013
- [4] *Nouveaux modèles géométriques pour la C.A.O. et la synthèse d'images : courbes de Bézier, points massiques et surfaces canal*, Lionel Garnier, Jean-Paul Bécar, Editions Universitaires Européennes, ISBN 978-3-639-54676-7, Saarbrücken 2017.

---

# Nouveaux capteurs électromagnétiques intégrés large-bande pour l'analyse EMC/EMI des architectures d'électronique de puissance

---

Jean-Marc Dienot<sup>1</sup>   José Gonzalo<sup>1</sup>   Guillaume Viné<sup>2</sup>  
jm.dienot@iut-tarbes.fr   jgonzalo@iut-tarbes.fr   gvine@enit.fr

<sup>1</sup> IUT de Tarbes, Université P. Sabatier-Toulouse  
LABCEEM(IUT) - SIAME, EA 4581

<sup>2</sup> LGP, Institut National Polytechnique de Toulouse

**Thèmes** – Électronique - Robotique

**Résumé** – Le développement des composants grand-gap (SiC, GaN, C) en électronique de puissance permet de proposer de nouveaux modules aux performances accrues en termes de compacité, niveau de puissance, fréquence de découpage et temps de commutation. Cependant, cela accentue d'une part les problématiques thermiques, températures élevées et localisées, et d'autre part les problématiques de compatibilité électromagnétique (CEM), fortes perturbations conduites et rayonnées. Cette étude traite de l'intégration de capteurs magnétiques au sein de modules de puissance. Dans cet article, un capteur de type antenne boucle est détaillé : son design, sa modélisation et ses performances. L'intégration de ce capteur est mise en œuvre sur un démonstrateur de puissance. Le banc de mesure et les résultats obtenus sont présentés. Il est montré que les signaux mesurés par le capteur donnent des informations pertinentes sur les perturbations électromagnétiques.

**Mots-Clés** – CEM, Champ Proche, Antenne, rayonnement.

## 1 Introduction

Le développement des composants grand-gap (SiC, GaN, C) en électronique permet de proposer de nouveaux convertisseurs de puissance aux performances accrues en termes de compacité, niveau de puissance, fréquence de découpage et temps de commutations. Cependant, cela de nouvelles problématiques thermiques et de compatibilité électromagnétique (CEM), avec de fortes perturbations conduites et rayonnées [1][2]

L'intégration de capteurs champ proche de type antenne boucle ou dipôles électriques est aujourd'hui est solution à la caractérisation et à la surveillance des émissions en mode rayonné de ces nouvelles structures. [3][4]. Les paramètres clés influençant la performance du capteur sont la résolution spatiale, la sensibilité, la bande fréquentielle et la réjection du champ électrique [5]. Ils sont d'une part dépendante du design de l'antenne et d'autre part du dispositif de puissance : niveaux de puissance, dimensions... Une étude sur les paramètres d'intégration : la technologie, la conception et le positionnement de l'antenne, est essentielle pour assurer la fiabilité des résultats de mesure. En particulier, une couverture large bande du capteur du kHz à la centaine de MHz est nécessaire pour correspondre à la gamme de fréquence des perturbations EM conduites et rayonnées dans les dispositifs de puissance actuels [6].

Dans ce travail, un nouveau prototype d'antenne est proposé, avec pour objectif une couverture fréquentielle jusqu'à 1 GHz. Dans un premier temps, son comportement électromagnétique est modélisé, puis est validé expérimentalement. Les performances de l'antenne sont identifiées, permettant d'envisager l'intégration de l'antenne au sein d'un module de puissance. Dans un deuxième temps, le démonstrateur de puissance et le banc de mesure de champ magnétique associé sont présentés.

## 2 Conception et modélisation des antennes

Le design d'antenne, représenté à la figure 1, correspond à une boucle circulaire de rayon  $R_s = 3 \text{ mm}$  réalisée en technologie planaire, substrat époxy et métallisation cuivre. La largeur et l'épaisseur des pistes sont respectivement 0,2 mm et 35  $\mu\text{m}$ . L'antenne est connectée aux instruments de mesure par le biais de lignes d'accès, de dimensions  $L_a = 15 \text{ mm}$  et  $\Delta L = 0,3 \text{ mm}$ , et d'un connecteur SMA d'impédance caractéristique 50  $\Omega$ .

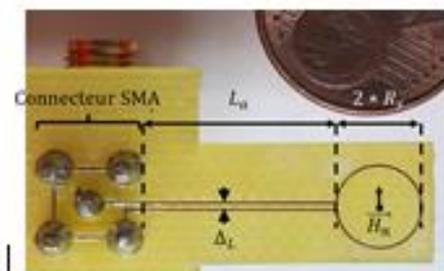


Figure 1 – Antenne en technologie planaire

Le comportement électrique de l'antenne est déterminé par un modèle à éléments localisés. L'antenne est divisée en 3 parties : la boucle, les lignes d'accès et le connecteur. Chaque partie est représentée par un circuit RLCG équivalent et les couplages entre parties par des inductances mutuelles et capacités parasites. Chaque élément du modèle est calculé grâce au logiciel numérique Q3D Extractor®. Il est expérimentalement validé par la comparaison entre la simulation de l'impédance d'entrée de l'antenne  $Z_{in}$  et la mesure avec un analyseur de réseau vectoriel (VNA). Une bonne correspondance entre mesure et modélisation est observée jusqu'à 3 GHz (fig. 2). La fréquence de résonance, identifiée à 1 GHz, correspond à la limite du fonctionnement inductif de l'antenne.

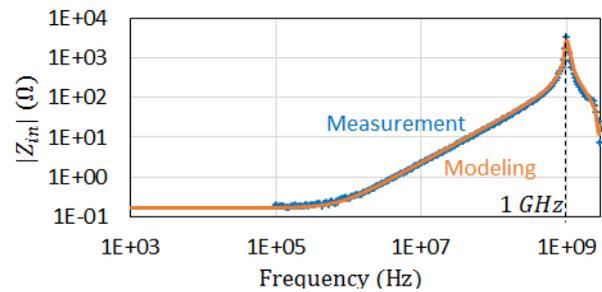


Figure 2 – Simulation et mesure de l'impédance de l'antenne.

Le facteur d'antenne  $F_m = V_m/H_n$ , correspondant à la réponse du capteur à un champ magnétique incident, est simulé jusqu'à 3 GHz. Cette réponse est linéaire jusqu'à la fréquence de 230 MHz. Sur cette bande passante, la tension de sortie du capteur dans le domaine temporel reste proportionnelle à la dérivée temporelle de la composante orthogonale du champ magnétique incident  $H_n$ , ce qui permet d'accéder à la forme d'onde temporelle du champ magnétique incident.

L'absence de blindage rend cependant l'antenne sensible au champ électrique [7], entraînant une réjection insuffisante du champ électrique à haute fréquence, et limitant de fait la bande passante de mesure du champ magnétique. Cette limite en fréquence rend toutefois les capteurs développés compatibles avec les dispositifs de puissance actuels. Un exemple d'application est ainsi abordé dans la suite de l'étude.

## 3 Intégration de sonde et résultats expérimentaux

Le démonstrateur utilisé est un hacheur intégré, constitué d'un IGBT Silicium et d'une diode SiC reportée sur un substrat Si3N4 (3\*3,3cm<sup>2</sup>) avec métallisations en cuivre. Pour notre étude, une tension  $E = 15 \text{ V}$  et un courant dans la charge  $I_{load} = 3 \text{ A}$  sont appliqués. Le transistor est commandé à la fréquence 10 kHz avec un rapport cyclique de 50%. L'antenne magnétique est intégrée sur la cellule de commutation avec un support d'essai spécifique, à une élévation de 3 mm de la face supérieure du dispositif et orientée selon l'axe z.

La mesure de la tension de sortie de l'antenne est prise en 35 positions (Fig. 3), permettant d'accéder à la composante  $H_z$  du champ magnétique rayonné.

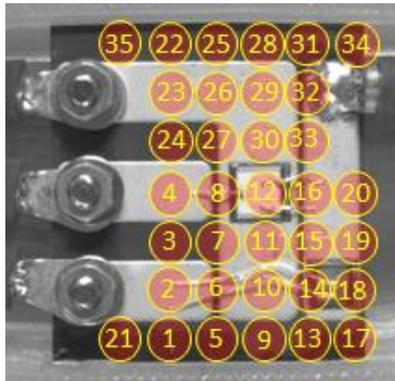


Figure 3 – Points de mesure du champ magnétique sur le Démonstrateur de puissance

Dans un premier temps, la tension aux bornes de l'antenne est relevée à l'aide d'un oscilloscope numérique large bande, avec un pas d'acquisition de 800ps. Ce signal mesuré dans le domaine temporel fournit des informations sur le comportement électromagnétique issues de l'activité électronique du circuit : période de commutation  $T$ , rapport cyclique  $\alpha$ , temps de commutation  $t_{on}$  et  $t_{off}$ , et surtout les oscillations haute fréquence dues aux résonances des éléments parasites du module qui sont mis en évidence (Fig. 4).

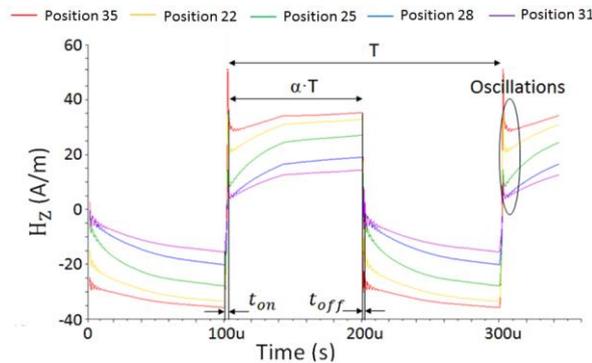


Figure 4 – Mesure du champ magnétique - domaine temporel

Ensuite, le signal mesuré dans le domaine fréquentiel (Analyseur de spectre, bande 10kHz–100MHz) sous 50Ohms permet de déterminer la distribution de la composante  $H_z$  du champ magnétique rayonné. Un exemple de cette distribution à la fréquence de 90kHz est reportée Fig.5. A cette fréquence, le principal contributeur du champ magnétique rayonné est le courant de mode différentiel associé à la commutation des composants de puissance. Le chemin de propagation du courant de mode différentiel, représenté forme une boucle particulièrement rayonnante. On retrouve ainsi bien cette boucle dans la mesure et par la simulation électromagnétique numérique (Fig. 5). Ces résultats sont prometteurs et montrent la possibilité de l'identification des sources de perturbations EM.

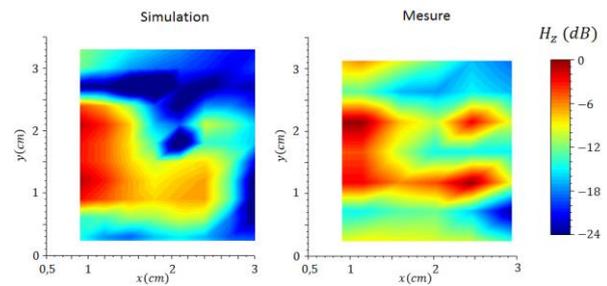


Figure 5 – Cartographie calculée et mesurée de la distribution du champ magnétique à la fréquence 90 kHz (normée)

## 4 Conclusions

Cette étude présente les travaux d'intégration d'antennes magnétiques pour le suivi des perturbations EM d'un module de puissance. Pour atteindre cet objectif, une antenne type boucle est réalisée en technologie planaire, substrat époxy et métallisation cuivre. Un modèle électrique de l'antenne est établi et validé expérimentalement jusqu'à 3 GHz. La mesure et la simulation met en évidence un comportement linéaire de l'antenne sur la gamme de fréquences supérieure à 230 MHz. La réponse de l'antenne déterminée, son intégration sur un module de puissance est appliquée. Ainsi, par son intégration, deux objectifs principaux sont atteints : la distribution du champ rayonné sur la surface supérieure du module et l'analyse des perturbations menées.

## Références

- [1] D. Linde, E. Hoene, "Investigation and PEEC based simulation of radiated emissions produced by power electronic converters", in *Proc of 6th International Conf. on Integrated Power Electronics Systems (CIPS)*, pp. 1-6. Nuremberg, 2010.
- [2] G. Lourdel, E. Dutarde, J.M. Dienot, "System for Measuring an Electromagnetic Field, A Control Sytem Using The Measuring System, and an Electronic Circuit Designed for The Measuring System", *International Patent AG01R3300FI, Number 20009016043, Alstom Transport S.A., June 25th, 2009.*
- [3] J. M. Dienot and E. Batista, "EM-Matrix antenna for real-time measurements of electromagnetic noise in power electronic modules," in *Proc. of Antennas & Propagation Conference, LAPC2009*, pp. 753-756, Loughborough, UK, 2009.
- [4] R. Kobayashi, "Near Magnetic Field Probe for Detection of Noise Current Flowing to Uncertain Directions", *Proc. of the 2017 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, EMC EUROPE 2017, Angers, France, September 4-8, 2017*
- [5] D. Baudry, C. Arcambal, A. Louis, B.Mazari, P.Eudeline, "Applications of the Near-Field Techniques in EMC Investigations", *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 49, N°3, pp. 485-493, 2007.*
- [6] H. Funato and T. Suga, "Magnetic near-field probe for GHz band and spatial resolution improvement technique", *In Proc. of 17th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility*, pp. 284-287, Singapore, 2006.
- [7] J.M. Dienot, E. Batista, "Real-Cases of Electromagnetic Immunity and Reliability in Embedded Electronics Architectures", in *Book of Abstract of EUROEM 2012*, pp 87, *European Electromagnetic Symposium, Toulouse, France, 2-6 July, 2012*

## **Adonis : Modéliser la Fiabilité des Composants et des Systèmes**

---

**Georges Habchi**

[georges.habchi@univ-smb.fr](mailto:georges.habchi@univ-smb.fr)

IUT, Annecy, Université Savoie Mont Blanc  
SYMME – Laboratoire des Systèmes et Matériaux pour la Mécatronique  
5 Chemin de Bellevue – 74940 Annecy-le-Vieux

**Thèmes** – *Productique – Automatique – Mécanique – Informatique – Sciences pour l'Ingénieur*

**Résumé** – *« Adonis » est un outil développé par des enseignants chercheurs en poste en IUT suite à la publication de plusieurs travaux de recherche et l'encadrement de thèses de doctorat. Il est dédié à toute personne issue à la fois du monde industriel et du monde académique soucieuse des problèmes qui se rattachent au domaine de la sûreté de fonctionnement et plus particulièrement à ceux de la fiabilité et de la maintenance. Destiné à l'origine à l'enseignement, il est largement utilisé du Bac+2 au Bac+5. « Adonis » permet l'évaluation de la fiabilité des produits et des systèmes pendant les trois principales phases du cycle de vie d'un produit : conception, fabrication, exploitation. Ainsi, dans un premier module dédié à la fiabilité prévisionnelle, il permet de modéliser la fiabilité d'un système à l'aide des diagrammes de fiabilité (DF) en se basant sur la décomposition fonctionnelle du système en composants ou fonctions élémentaires. Dans un second module, il permet d'estimer et de modéliser la fiabilité expérimentale à partir des données d'essais réalisés en entreprise mais aussi d'exploiter les données du retour d'expériences pour évaluer la fiabilité opérationnelle.*

**Mots-Clés** – *Modélisation, Fiabilité, Maintenance, Distributions aléatoires, Qualité en production.*

## 1 Introduction

L'enseignement de la « *sûreté de fonctionnement* » avec ses principaux paramètres (F, M, D, S) notamment la *fiabilité* et la *maintenance* nécessite des traitements de données (historiques) parfois très fastidieux à la main ou même avec un outil tel que Excel pour des raisons diverses :

- La modélisation de la fiabilité des systèmes à l'aide des diagrammes de fiabilité reste simple lorsque la structure est simple et la fiabilité des composants est constante. Par contre, pour des systèmes plus complexes ayant des composants caractérisés par des distributions de fiabilité aléatoires, l'utilisation d'un outil devient nécessaire.
- Les données ne sont pas forcément complètes et des données manquantes peuvent exister (données censurées, tronquées, suspendues, ...).
- Les méthodes d'exploitation et de traitement des données sont nombreuses et peuvent même être différentes pour le même type de données. L'apprentissage de ces méthodes n'est pas forcément un objectif en soi.
- Le traitement des données peut être ponctuel ou par classes.
- La recherche de modèles théoriques basés sur des estimations peut être réalisée sur du papier fonctionnel (semi-log, Alan Plait, Henry), mais la méthode reste approchée pour la recherche des paramètres des lois et parfois fastidieuse.
- La recherche des paramètres des distributions est optimale si des méthodes d'optimisation sont utilisées.

Pour toutes ces raisons mais aussi pour des raisons liées à des travaux de recherche, l'outil « *Adonis* » [1] a été développé et mis à disposition de l'enseignement depuis le début des années 2000. La version actuelle disponible en français et en anglais dispose de 2 modules, l'un dédié à la fiabilité prévisionnelle (phase conception) et l'autre dédié à la fiabilité expérimentale (phase fabrication) et opérationnelle (phase utilisation).

## 2 La fiabilité prévisionnelle

En ce qui concerne la fiabilité prévisionnelle des systèmes à l'aide des diagrammes de fiabilité, tout type de structure peut être pris en considération : série, parallèle, majoritaire (k/n) et quelconque. Les données de fiabilité des composants peuvent être constantes ou temporelles définies selon quatre distributions principales en fiabilité (exponentielle, normale, Weibull à 3 paramètres, log-normale). Un profil de mission peut être associé à chacun des paramètres des distributions, et les paramètres peuvent évoluer en fonction du profil selon différentes

lois : linéaire, exponentielle, Arrhenius, logarithmique, ... Le calcul de fiabilité en fonction de l'unité d'usage (cycle, heure, km, année, ...) fournit l'ensemble des fonctions de fiabilité des composants et du système (fiabilité, défaillance, taux de défaillance, densité de défaillance). Ce module a subi ces dernières années des améliorations notables dans le cadre du projet PROMISE dédié à la fiabilité prévisionnelle des systèmes mécatroniques [3, 4, 5, 6]. Il doit subir dans un avenir proche une nouvelle évolution pour la prise en compte des composants logiciels.

En terme de modélisation, seuls 5 éléments principaux sont utilisés pour réaliser un modèle de diagramme de fiabilité :

- Le bloc origine (un seul est nécessaire par DF),
- Le bloc destination (un seul est nécessaire par DF),
- Le bloc composant (représente un composant ou un sous-ensemble du système),
- Le bloc nœud (nécessaire pour représenter le début de plusieurs branches en parallèle ainsi que la fin),
- Le lien (nécessaire pour lier les différents blocs entre eux).

La figure 1 montre le diagramme de fiabilité sous *Adonis* d'un système assez complexe alors que la figure 2 montre les courbes de fiabilité des composants et du système.

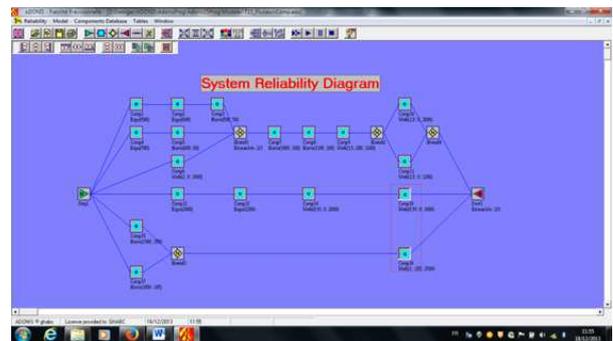


Figure 1 – Aperçu d'un modèle en DF sous *Adonis*

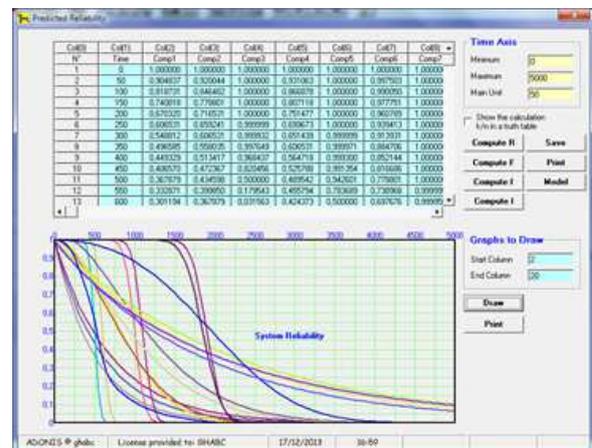


Figure 2 – Courbes de fiabilité sous *Adonis*

### 3 La fiabilité expérimentale et opérationnelle

Le second module d'Adonis est dédié à la fiabilité expérimentale et opérationnelle. La première est estimée suite au traitement et analyse des données recueillies d'essais réalisés en entreprise. La seconde est obtenue par traitement et analyse des historiques de retour d'expériences. Les données peuvent être organisées en plusieurs séries soit ponctuelles soit par classes. Elles peuvent être complètes, censurées, tronquées, suspendues, ou fractionnées. Plusieurs méthodes sont disponibles pour traiter les données : actuariat, Kaplan-Meier, Wayne-Nelson, Johnson, méthode de la médiane, loi du min, etc. Dans certains cas, l'estimation de la défaillance est réalisée en utilisant les rangs médians, les rangs moyens, les fréquences cumulées et les fréquences cumulées symétriques. Deux nouvelles méthodes de traitement des données suspendues ont été développées en recherche et intégrées au logiciel [2, 7]. Elles ont montré des meilleurs résultats en comparaison avec les méthodes existantes. Quatre lois de distribution sont disponibles afin de modéliser les défaillances estimées : loi exponentielle, loi normale, loi de Weibull à 3 paramètres, loi log-normale. En cas de traitement de plusieurs séries simultanément, Adonis permet de réaliser des modèles de Weibull mixés ou composés. La recherche de modèle théorique des distributions peut être réalisée selon différents modèles d'optimisation :

- La régression  $x=f(y)$ ,  $y=f(x)$  et orthogonale,
- MLE (Maximum Likelihood Estimation) selon Nelder,
- MLE selon Newton/Raphson,
- WeiBayes (cas sans ou avec 1 défaillance),
- Théorème de succès (cas sans défaillance).

Des limites de confiance bilatérales ou unilatérales peuvent être tracées selon plusieurs méthodes : Fisher, loi binomiale, et la norme CEI 61649-F.

La figure 3 montre les modèles de 3 séries de données à l'aide d'une optimisation MLE selon Nelder avec des limites de confiance selon Fisher à 90%.

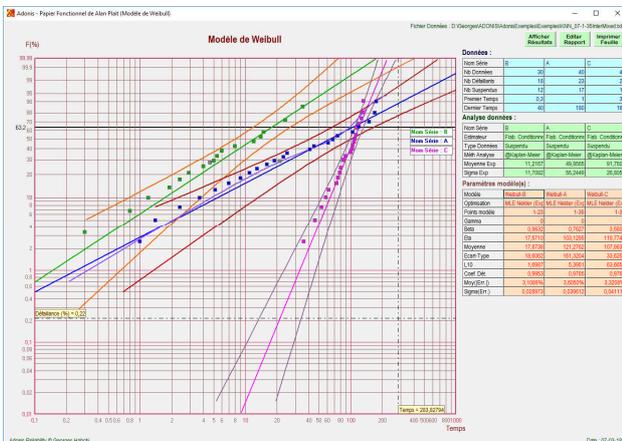


Figure 3– Modèles de Weibull de 3 séries de données

La figure 4 montre les modèles des 3 séries de données précédentes sur une échelle linéaire.

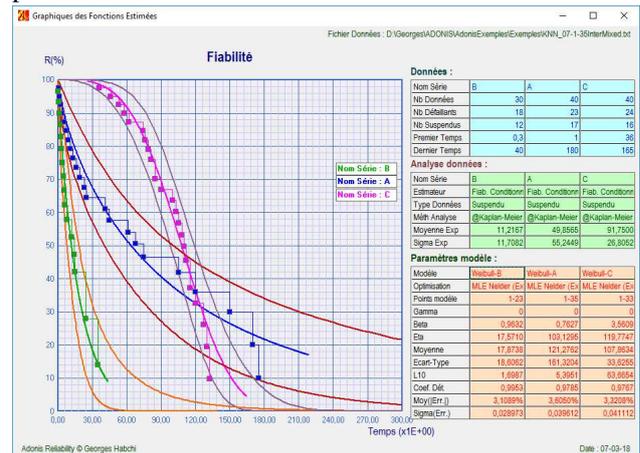


Figure 4– Modèles de Weibull des 3 séries précédentes sur une échelle linéaire

### 4 Conclusions

En plus de l'enseignement du Bac+2 au Bac+5, « Adonis » est largement utilisé en entreprise pour modéliser la fiabilité des composants et de systèmes réels et en recherche pour valider des méthodes nouvelles.

### Références

- [1] <http://qlio-annecy-transfert.com/>
- [2] Habchi G., An Improved Method of Reliability Assessment for Suspended Tests, *International Journal of Quality and Reliability Management (IJQRM)*, 2002, Vol. 19, N°4, p. 454-470
- [3] Habchi G., Barthod C., An overall methodology for predictive reliability evaluation of mechatronic systems with industrial application, *Journal of Reliability Engineering & System Safety (RESS)*, 2016, Vol. 155, p. 236-254
- [4] Hammouda N., Habchi G., Barthod C., Duverger O. Lottin J., *Implementation of a methodology evaluating the reliability of mechatronic systems*, 10th France – Japan Congress, 8th Europe – Asia Congress on Mechatronics. November 27-30, 2014, Tokyo, Japan
- [5] Hammouda N., Habchi G., Barthod C., Duverger O. *Mise en œuvre d'une méthodologie d'évaluation de la fiabilité pour les systèmes mécatroniques*, 21ème Congrès Français de Mécanique (CFM), Bordeaux, France, 26-30 août 2013, 6 pages
- [6] Hammouda N., Habchi G., Barthod C., Duverger O. *Fiabilité des systèmes mécatroniques en utilisant la Modélisation et la simulation*, 10ème Conférence Francophone de Modélisation, Optimisation et Simulation (MOSIM'14), 5-7 novembre 2014, Nancy, France
- [7] Habchi G., *Modélisation de la Fiabilité dans le Cas d'un Essai Suspendu – Proposition d'une Nouvelle Méthode Probabiliste*, 4ème Congrès Int. Pluridisciplinaire Qualité et Sécurité de Fonctionnement (QUALITA'01), Annecy, France, mars 2001, p. 425-432

# Détection de la dépression par analyse de la géométrie faciale et apprentissage automatique

Calliope-Marina Vazakopoulou<sup>1</sup>, Anastasia Pampouchidou<sup>2</sup>, Fan Yang<sup>2</sup>,  
Fabrice Meriaudeau<sup>2,3</sup>, Kostas Marias<sup>1,4</sup>, Manolis Tsiknakis<sup>1,4</sup>  
{kalliavzk, anastasia.pampouchidou}@gmail.com,  
{fan.yang, fabrice.meriaudeau}@u-bourgogne.fr, {kmarias, tsiknaki}@ics.forth.gr

<sup>1</sup> Technological Educational Institute of Crete, Department of Informatics Engineering, Heraklion, Greece

<sup>2</sup> Université de Bourgogne, Laboratoire LE2I, France

<sup>3</sup> Universiti Teknologi PETRONAS, Malaysia

<sup>4</sup> Foundation for Research & Technology - Hellas, Heraklion, Greece

**Thèmes** – Informatique - Robotique - Imagerie – Électronique, Section CNU 61

**Résumé** – Dans le monde entier, beaucoup d'individus sont atteints de maladies mentales dont la plus répandue est la dépression. Nous proposons une méthode de détection automatique de la dépression pour aider les cliniciens dans leur diagnostic. Cette détection est basée sur l'analyse de la géométrie faciale, extraite de la modalité vidéo. Les expériences d'évaluation ont été réalisées en faisant varier plusieurs paramètres et modes de classification. Un haut score de 72.6% a été obtenu avec l'analyse discriminante. Notre méthode utilise une seule modalité vidéo et réalise des performances comparables aux approches multimodales.

**Mots-Clés** – e-Santé, aide au diagnostic médical, intelligence artificielle, vision par ordinateur.

## 1 Introduction

De nos jours, beaucoup de monde souffrent des maladies mentales qui impactent le bien-être et la qualité de vie des individus. Un système destiné à l'estimation automatique de la dépression permet d'apporter des aides précieuses aux cliniciens et de mieux gérer les patients. D'après la littérature clinique, la géométrie faciale transporte des signes de dépression. Elle peut être considérée comme un indicateur fiable pour la prise de décision sur la présence ou non des symptômes de dépression [1].

Dans cet article, nous présentons une méthode de la détection de dépression basée sur l'analyse de la géométrie faciale. Plusieurs algorithmes d'apprentissage automatique ont été testés et comparés pour obtenir la meilleure performance. Dans la suite de l'article, nous traçons d'abord brièvement un état de l'art du domaine concerné, puis, la base de données utilisée sera décrite en Section 3. La méthodologie adoptée et les résultats expérimentaux seront respectivement présentés en Sections 4 et 5.

## 2 Etat de l'art

L'estimation automatique de la dépression devient très populaire avec le défi AVEC (Audio/Visual Emotion Challenge) [2]. D'origine, ce défi a été organisé pour la reconnaissance d'émotion. Dans les récentes éditions, un

sous-défi destiné à la prédiction de dépression « AVEC Depression » a été ajouté : les participants y effectuent la reconnaissance automatique de dépression en appliquant une base de données définie et des protocoles spécifiques.

Dans la littérature, il existe d'autres approches dans ce domaine. Un système bimodal d'estimation de dépression a été proposé dans [3] ; basé sur deux types de données vidéo et audio un score F1 de 72.8% a été obtenu. Dans [4], les auteurs utilisent une seule modalité vidéo et réalisent une performance comparable de 71.3%.

L'Outil OpenFace [5] développé par Baltrusaitis et *al.* permet d'extraire les points fiduciaires illustrés et numérotés dans Figure 1. Les repères similaires ont été employés dans les travaux de Vonikakis et *al.* [6] pour estimer le bonheur : la présence ou l'absence de points spécifiques, ainsi que leurs distances sont directement liées à l'expression du bonheur. Nous pouvons aussi citer les travaux de Loconsole [7] qui utilise la caractéristique d'excentricité pour la reconnaissance d'émotion.

## 3 Description de la base de données

La base de données utilisée pour tester notre méthode a été introduite à l'occasion des 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> AVEC [2]. Pour construire cette base de données, les participants volontaires ont été recrutés. Chaque individu possède une annotation correspondant au degré de dépression. Durant la phase d'acquisition, chaque participant doit réaliser plusieurs tâches, une webcam capture et enregistre les

séquences vidéo. Pour notre travail, seulement une partie de la base AVEC, a été utilisée correspondant à deux tâches : (a) FreeForm où les participants répondaient à des questions, et (b) NorthWind où les participants lisaient un passage à voix haute. Sur un total de 300 participants, 200 possèdent une annotation de dépression.

Cette annotation correspond au score BDI-II (Beck Depression Inventory-II) de chaque participant. Ceux qui ont mis plus de temps pour accomplir une tâche, voient leur score augmenter. Habituellement, le score BDI-II est interprété de la manière suivante :

- [0-13] – dépression minimale,
- [14-18] – état dépressif,
- [19-28] – dépression légère,
- [30-63] – dépression majeure.

L'objectif du sous-défi « AVEC Depression » était de prédire automatiquement le score BDI-II à partir d'une séquence vidéo. Ce score peut aussi être utilisé pour séparer deux groupes (dépression vs. non dépression). Avec un seuil de BDI-II égal à 13/14 les 200 participants enregistrés sont divisés en deux classes : 96 avec symptômes de dépression significatif, et 104 sans.

#### 4 Présentation de la méthodologie

Notre méthodologie peut être décomposée en 4 étapes basiques : (a) le pré-traitement, (b) l'extraction des caractéristiques, (c) la réduction de dimension, et (d) la classification. Le pré-traitement de vidéo consiste à détecter et à repérer 68 points fiduciaires de deux dimensions en utilisant l'outil OpenFace [5] (voir Figures 1 et 2). Ensuite, l'extraction des caractéristiques a été réalisée à l'aide de ces 68 points.

Puisque les individus souffrant de dépression ont moins tendance à sourire (ou avec une petite intensité), nous avons focalisé nos efforts sur la mesure des distances des points en lien avec le sourire (négatif par rapport à la dépression). De même, les points en lien avec la tristesse (positive par rapport à la dépression) sont aussi considérés.

En inspirant des travaux de Vonikakis et al. [6], nous avons établi un ensemble de distances Euclidienne des points illustré à la Figure 1. Ces distances ont été calculées à l'aide d'une fenêtre temporelle glissante avec un pas variable. Une autre importante caractéristique proposée s'agit du paramètre d'excentricité [7] (voir Figure 2) dont le formule d'estimation est la suivant :

$$e = \frac{\sqrt{a^2 + \beta^2}}{a} \quad (1)$$

avec

$$a = \frac{B_{Mx} - A_{Mx}}{2}, \quad \beta = A_{My} - U_{m1y}$$

L'ACP (Analyse en Composantes Principales) est utilisée pour réduire la dimension de caractéristiques.

Ensuite, les vecteurs de caractéristiques avec la dimension optimale sont fournis aux différents classifieurs et le résultat de classification permet de prendre une décision sur la présence des symptômes de dépression.

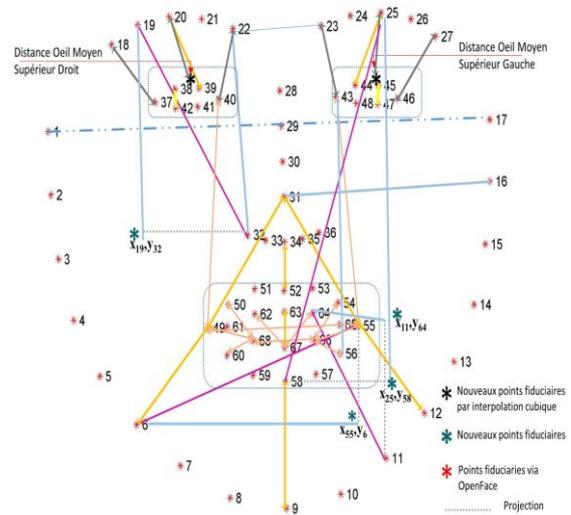


Figure 1 – Extraction des caractéristiques : mesure de distances entre les points géométriques.

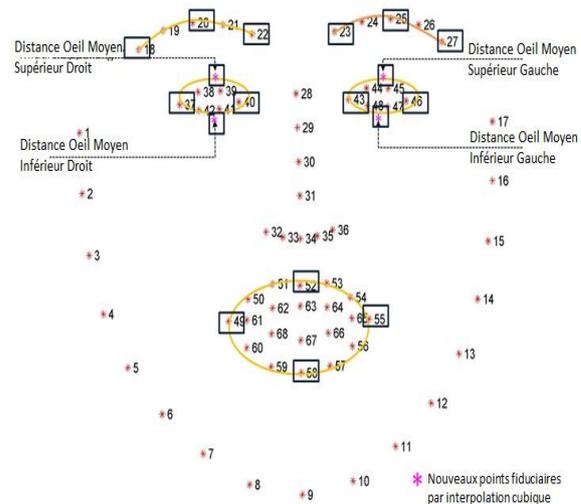


Figure 2 – Extraction des caractéristiques : basé sur la méthode d'interpolation cubique, les excentricités sont calculées avec l'équation (1).

#### 5 Résultats expérimentaux

Nous avons expérimenté plusieurs configurations de la méthode proposée. Par exemple, la fenêtre temporelle glissante pour l'extraction des caractéristiques varie de 10 à 90 images avec un pas de 5 (e.g. 10, 15, 20, etc.), ceci correspond à un enregistrement de 0.33 s à 3 s (avec une vitesse de 30 images par seconde). L'ACP a aussi été appliquée avec plusieurs variantes en gardant de 10 aux 140 composantes, toujours avec un pas de variation de 5 composantes.

De plus, plusieurs classifieurs ont été testés pour obtenir les performances optimales. Ils sont de 5 types : (a) linéaire, (b) analyse discriminante, (c) forêt d'arbres aléatoires, (d) K plus proches voisins (KNN), et (e) Naïve Bayésienne. Les résultats expérimentaux de ces différents classifieurs sont affichés dans la Figure 3 et le Tableau 1. L'analyse discriminante donne clairement la meilleure performance par rapport aux autres, ceci est probablement dû à la taille de vecteur des caractéristiques. De ce fait, le Tableau 2 illustre le score F1 dans différentes configurations en utilisant la classification d'analyse discriminante. La meilleure combinaison est obtenue avec une fenêtre temporelle glissante de 20 images et les 105 composantes de l'ACP.

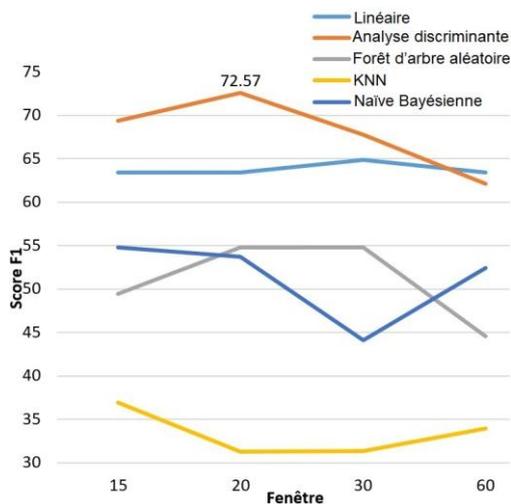


Figure 3 – Résultats expérimentaux.

Tableau 1 – Comparaison des performances (score F1%).

Taille de fenêtre	15	20	30	60
<b>Classification</b>				
<b>Linéaire</b>	63.45	63.45	64.86	63.45
<b>Analyse discriminante</b>	69.37	72.57	67.80	62.13
<b>Forêt d'arbre aléatoire</b>	49.48	54.82	54.84	44.57
<b>KNN</b>	36.94	31.33	31.37	33.96
<b>Naïve Bayésienne</b>	54.82	53.73	44.09	52.46

Tableau 2 – Résultats obtenus avec l'analyse discriminante

Taille de fenêtre	15	20	30	60
<b>ACP</b>				
<b>100</b>	60.09	47.76	53.47	37.89
<b>105</b>	69.37	72.57	67.80	62.13
<b>110</b>	72.20	65.69	63.78	64.79

Les scores obtenus avec une seule modalité vidéo sont proches de ceux qui utilisent la vidéo et l'audio [3] (72.8%). Nous avons obtenu de meilleures performances par rapport au travail précédent [4] avec les

caractéristiques similaires extraites de la géométrie faciale (72.57% vs. 71.3%).

Notre système utilisant seulement les expressions faciales, demandant moins de matériel, permet de mieux protéger la confidentialité, puisque nous n'avons pas besoin d'enregistrer la parole, ni la vidéo d'origine. En fait, notre méthode est basée sur l'analyse des points fiduciaires de visage dont l'extraction est réalisée automatiquement.

## 6 Conclusions

Cet article présente nos travaux de détection de la dépression en analysant la géométrie faciale à partir des séquences vidéo. De multiples configurations ont été testées aux différentes étapes de traitement (extraction des caractéristiques, réduction de dimension et classification). La meilleure combinaison est obtenue avec une fenêtre temporelle glissante de 20 images et les 105 composantes d'ACP en utilisant l'analyse discriminante. Ce score de 72.56% dépasse celui des approches similaires utilisant une seule modalité et il est équivalent à celui de la méthode multimodale. Dans le futur, nous pensons ajouter d'autres caractéristiques comme la texture, et aussi tester d'autres algorithmes de réduction de dimension (e.g. Bag of Words, t-test, etc.). L'objectif final est d'atteindre les meilleures performances de détection de dépression avec des ressources réduites.

## Remerciements

A. Pampouchidou bénéficie d'une bourse de la Fondation Grecque de Bourses d'Etudes (IKY) dans la mémoire de Maria Zaousi.

## Références

- [1] A. Pampouchidou, et al., "Automatic assessment of depression based on visual cues: A systematic review", IEEE Transactions on Affective Computing, 2017.
- [2] M. Valstar et al., "AVEC 2014: 3D Dimensional Affect and Depression Recognition Challenge", in 4th Inter. Workshop on Audio/Visual Emotion Challenge. ACM, 2014, pp. 3–10.
- [3] A. Pampouchidou et al., "Détection de la dépression par l'analyse de la géométrie faciale et de la parole.", GRETSI, 2017.
- [4] A. Pampouchidou et al., "Video-Based Depression Detection Using Local Curvelet Binary Patterns in Pairwise Orthogonal Planes", in 38th Annual Inter. Conf. of the IEEE EMBS, 2016.
- [5] T. Baltrušaitis et al., "OpenFace: An Open Source Facial Behavior Analysis Toolkit", in IEEE Winter Conf. on Applications of Computer Vision, 2016, pp. 1–10.
- [6] V. Vonikakis et al., "Group happiness assessment using geometric features and dataset balancing", in 18<sup>th</sup> ACM Inter. Conf. on Multimodal Interaction, 2016, pp. 479–486.
- [7] Loconsole, Claudio, et al. "Real-time emotion recognition novel method for geometrical facial features extraction." Computer Vision Theory and Applications (VISAPP), 2014 International Conference on. Vol. 1. IEEE, 2014.

## SHMC - Semantic Hierarchical Multi-label Classification

### Approche Big Data et Web Sémantique pour la classification automatique de données web et la recommandation d'articles économiques

Christophe Cruz<sup>1</sup>

christophe.cruz@ubfc.fr

<sup>1</sup> IUT de Dijon-Auxerre, Univ. Bourgogne – Franche-Comté  
Laboratoire Le2i, FRE 2005 CNRS

**Thèmes** – Informatique - Économie

**Résumé** – *La veille stratégique regroupe plusieurs activités parmi lesquelles l'analyse, la découverte, le croisement et la synthèse de l'information sont des tâches de haut niveau effectuées par des experts dans leur domaine. Dans un contexte web, le volume grandissant des données, leur grande variété et la vitesse à laquelle les données évoluent, font apparaître un besoin d'automatiser tout ou partie de ces tâches. Créer des outils de résolution automatique de ces tâches demande d'une part la mise en place d'un processus d'apprentissage automatique permettant d'imiter des processus de décision complexes, et d'autre part la prise en compte des connaissances métier des experts dans le processus d'apprentissage. Cet article décrit une proposition d'architecture et de méthodologie pour l'indexation automatique d'article économique afin de les recommander aux clients de l'entreprise Actualis Sarl, partenaire du projet.*

**Mots-Clés** – Système de recommandation, apprentissage artificiel, ontologie, modélisation des connaissances

#### 1 Introduction

Afin de rester en phase avec les tendances actuelles du marché, le processus de prise de décision dans le domaine économique nécessite la centralisation et l'apport de grandes quantités d'informations. Pour cela, les hommes d'affaires, les entrepreneurs et les vendeurs doivent parfaitement connaître leur environnement. Cela signifie qu'il faut maintenir une veille économique constante facilitant l'identification des perspectives d'affaires, permettant de décrocher de nouveaux contrats.

L'entreprise Actualis SARL (<http://firsteco.fr/>) partenaire de ce projet est spécialisée dans la production et la distribution de revues de presse économiques. Le web est par définition une masse de données immense, et une source d'information clé dans le domaine de la veille économique. Ainsi, de nombreuses entreprises soustraient ce processus de veille économique et stratégique à des sociétés spécialisées dans le domaine.

Dans ce contexte, nous avons proposé une méthode pour enrichir sémantiquement une ontologie utilisée pour classer des articles de presse, en utilisant un raisonneur sémantique basé sur la logique de description (DL) [1]. Nous avons également proposé une architecture pour

extraire des informations de valeur à partir de larges volumes de données textuelles dans un contexte Big Data, en utilisant un processus de Classification Hiérarchique Multi-étiquette Sémantique [2, 3, 4]. SHMC est un processus d'apprentissage d'ontologie non supervisé, basé sur les technologies du big data, de l'apprentissage artificiel, et du raisonnement logique à base de règles. Cette approche offre la possibilité de construire un système de recommandation hybride exploitant à la fois les profils des utilisateurs créés à partir de vocabulaires contrôlés et des articles de presse indexés à l'aide des mêmes vocabulaires contrôlés. Les articles et les connaissances associées sont stockés dans la base de connaissances formant ainsi le point central de l'architecture (cf. figure 1.).

En 2001, un rapport de recherche du groupe Gartner décrivait pour la première fois la notion de « Big Data » et les caractéristiques qui définissent ce domaine. Dans ce rapport, la problématique de gestion de ce nouveau type de données est déjà définie autour de trois dimensions, le Volume, la Vitesse et la Variété de ce type de données. Le Volume définit la quantité croissante de données, générée et stockée au fil du temps par les réseaux sociaux, les données de capteurs, d'objets connectés, etc. [5]. La

Vélocité concerne la vitesse importante de production des données, et par conséquent le besoin de traitement rapide des données. La Variété représente la grande hétérogénéité des formats du Big Data. En particulier, les données non-structurées et semi-structurées nécessitent des traitements importants, et représentent 90% du contenu associé généralement au Big Data (pages web, documents en langage naturel, audio, etc.) [6].

D'autres dimensions nommées par des "V" supplémentaires ont émergé au cours du temps, comme la Véracité, la Visualisation ou la Valeur par exemple. Contrairement aux 3V du Big Data, il ne s'agit plus d'indicateurs quantitatifs, liés à la robustesse face aux données, et ne sont donc pas considérées comme des dimensions au même titre que le Volume, la Vélocité et la Variété. En revanche, la Valeur définit la pertinence d'une information pour l'utilisateur final, et cette caractéristique est centrale dans ce projet.

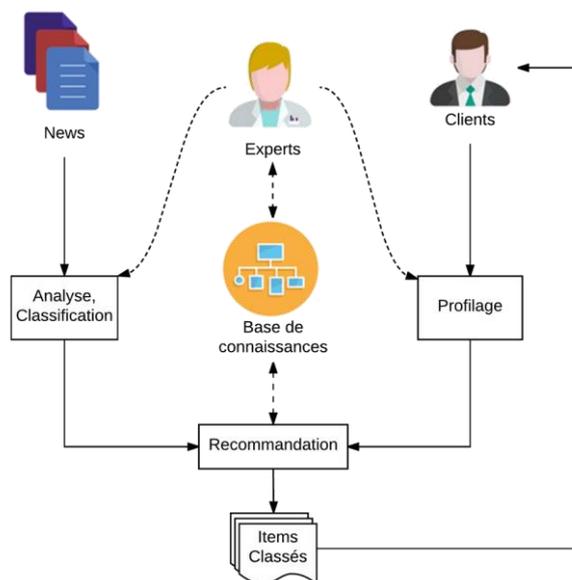


Figure 1 – Architecture SHMC

A noter que les entreprises utilisent de façon récurrente des taxonomies de domaine, afin de représenter leur connaissance métier. Ils formalisent ainsi un modèle associant une valeur aux données [7]. Dans le cadre de la veille économique, ce type de taxonomie permet donc de qualifier une information de façon précise. Cette qualification, qui se base sur les concepts clés du domaine de l'entreprise est un vecteur de valeur pour un client. Dans la suite, nous présenterons le positionnement des travaux, ainsi que l'apport méthodologique du projet.

## 2 Positionnement

L'utilisation des ontologies pour la tâche de classification porte souvent sur la description du modèle de classification (étiquette, items, règles de classification).

Galinina et Borisov [8] utilisent deux ontologies dans un système de classification : (1) une ontologie de domaine, indépendante de la méthode de classification, et (2) une ontologie dédiée à la méthode de classification basée sur un arbre de décision. Au-delà de la description du domaine, les ontologies sont utilisées pour améliorer le processus de classification. Elberichi et al. [9] présente une méthode en deux étapes pour améliorer la classification de documents médicaux (MeSH - Medical Subject Headings). Leurs résultats montrent que l'utilisation d'une ontologie de domaine permet d'améliorer la performance de la méthode de classification de documents.

La plupart des travaux de la littérature se concentrent sur l'amélioration du processus de classification en utilisant les ontologies, ce qui permet d'améliorer la description des items. En revanche, ils ne tirent pas avantage des capacités des raisonneurs sémantiques pour classer automatiquement des items [2].

De plus, les ontologies permettent d'améliorer le processus de recommandation grâce à la description sémantique des articles. Deux principaux systèmes de recommandation sont distingués, les systèmes dits de filtrage collaboratif et les systèmes basés sur le contenu. Dans le cas présent, nous nous focalisons sur la modélisation sémantique des caractéristiques du contenu des articles par une approche ontologique. Cette approche nous permet de définir un ensemble de vocabulaires contrôlés hiérarchiques du domaine de métier qui caractérisent chacune des facettes de l'article. Ainsi, chaque facette permettra de définir une dimension descriptive de l'article sous la forme de vecteur [1].

## 3 Apport méthodologique

Le processus SHMC permettant d'indexer les articles économiques se compose de 5 étapes. Ces étapes correspondent à l'élément « Analyse, Classification » de la figure 1.

- **Indexation** : extrait les termes des items (documents textes), et crée un index inversé des items.
- **Vectorisation** : calcule les vecteurs de fréquence des termes à partir de l'index inversé. L'ensemble de vecteurs de termes permet de générer une matrice de cooccurrences des termes.
- **Hiérarchisation** : détermine les termes les plus pertinents, i.e. les Labels, et génère une hiérarchie de subsomption des labels à partir de la matrice.
- **Résolution** : crée des règles de classification qui lient les nouveaux items aux labels à partir de la matrice de cooccurrence.
- **Réalisation** : remplit l'ontologie avec les nouveaux items et pour chaque item détermine les labels les plus spécifiques.

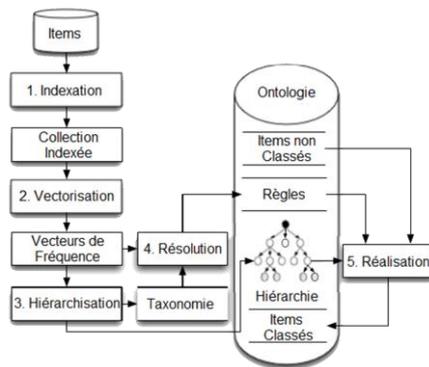


Figure 2 – Processus SHMC

La figure 2 présente la séquence des étapes du processus SHMC. La figure suivante présente les différentes étapes du traitement automatique du langage appliqué sur les articles. Ces étapes sont réalisées dans la première phase correspondant à la phase « indexation » du processus SHMC.

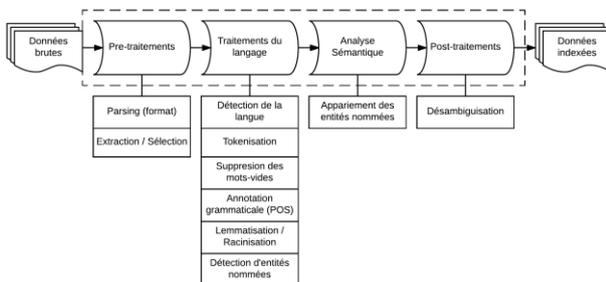


Figure 3 – Indexation : traitement automatique du langage

Le processus SHMC est un processus Big Data, car ils manipulent un grand volume de données impliquant le développement d’algorithmes respectant le paradigme Map Reduce pour chaque processus de SHMC. Ainsi, ces algorithmes se caractérisent par leur capacité à passer l’échelle. Par exemple, la figure 4 présente la matrice de fréquences ou matrice de cooccurrences des termes dans les documents. La matrice est composée de  $10^6$  mots ou dimension (features) et de  $10^4$  étiquettes (labels). Cela représente une matrice de  $10^{10}$  décimaux. La matrice résultante ne peut pas être stockée dans un seul nœud de serveur et doit donc être répartie à l’aide d’une base de données NoSQL qui est en l’occurrence HBase. L’ensemble l’implémentation est réalisée à l’aide du framework Hortonworks (<https://hortonworks.com/>).

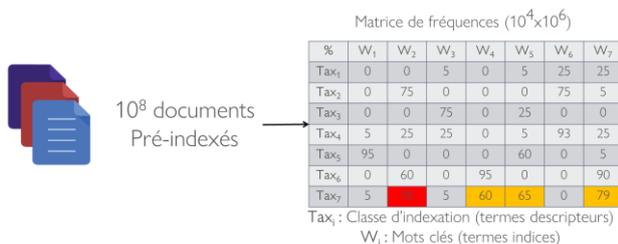


Figure 4 – Vectorisation : matrice de fréquences

## 4 Conclusion

Cet article a décrit un processus de classification hiérarchique multi-étiquette nommé SHMC traitant des données textuelles non structurées dans un contexte Big Data. Les résultats obtenus, mais non présentés ici, montrent que l’approche basée sur l’apprentissage automatique d’une ontologie et le raisonnement sémantique revêt un caractère très intéressant par sa dimension explicative du résultat d’indexation. Cette caractéristique ne peut pas être obtenue par d’autres méthodes telles que les réseaux de neurones.

## 5 Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier les financeurs des travaux sur ce projet, à savoir l’entreprise Actualis SARL, l’agence française ANRT, le conseil régional de Bourgogne Franche-comté et le Fonds Européen de Développement Economique et Régional (FEDER).

## Références

- [1] D. Werner, N. Silva, C. Cruz, A. Bertaux, *Using DL-reasoner for hierarchical multilabel classification applied to economical e-news*. In Proceedings of 2014 Science and Information Conference, SAI 2014, pp. 313–320.
- [2] R. Peixoto, T. Hassan, C. Cruz, A. Bertaux, N. Silva, *Semantic HMC: A Predictive Model using Multi-Label Classification For Big Data*. In The 9th IEEE International Conference on Big Data Science and Engineering (IEEE BigDataSE-15), 2015
- [3] R. Peixoto, T. Hassan, C. Cruz, A. Bertaux, N. Silva, *An unsupervised classification process for large datasets using web reasoning*. In ACM (Ed.), SBD’16: Semantic Big Data Proceedings, San Francisco (CA), USA, 2016
- [4] R. Peixoto, T. Hassan, C. Cruz, A. Bertaux, N. Silva, *Hierarchical multi-label classification using web reasoning for large datasets*. Open Journal of Semantic Web (OJSW) 3(1), 1–15, 2016
- [5] M. Chen, S. Mao, Y. Liu, *Big data: A survey*. *Mobile Networks and Applications*, 19(2) :171–209, 2014
- [6] A. R. Syed, K. Gillela, C. Venugopal, *The Future Revolution on Big Data*. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 2(6) :2446–2451, 2013
- [7] P. Lambe, *Organising knowledge: taxonomies, knowledge and organisational effectiveness*. Elsevier Science, ISBN-13: 978-1843342274, 2014
- [8] A. Galinina, A. Borisov, *Knowledge modelling for ontology-based multiattribute classification system*. *Applied Information and Communication*, 103–109, 2013
- [9] Z. Elberichi, B. Amel, T. Malik. *Medical Documents Classification Based on the Domain Ontology MeSH*. arXiv preprint arXiv :1207.0446., 2012

---

## Communication LiFi et réception par modules PV

---

Nominoë Lorrière<sup>1</sup>    Marcel Pasquinelli<sup>1</sup>    Gilles Chabriel<sup>3</sup>  
nominoe.lorriere@im2np.fr    marcel.pasquinelli@univ-amu.fr    chabriel@univ-tln.fr

Jean Barrère<sup>3</sup>    Emilie Bialic<sup>4</sup>    Ludovic Escoubas<sup>2</sup>  
barrere@univ-tln.fr    ebialic@sunpartner.fr    ludovic.escoubas@univ-amu.fr

Jean-Jacques Simon<sup>1</sup>  
Jean-jacques.simon@univ-amu.fr

<sup>1</sup> IUT, IM2NP équipe Optoelectronic & Photovoltaic UMR 7334 CNRS & Universités d'Aix-Marseille et de Toulon  
Faculté des Sciences Site Etoile Saint-Jérôme Marseille, France

<sup>2</sup> IM2NP équipe Optoelectronic & Photovoltaic UMR 7334 CNRS & Universités d'Aix-Marseille et de Toulon  
Faculté des Sciences Site Etoile Saint-Jérôme Marseille, France

<sup>3</sup> IM2NP équipe Signals & Tracking UMR 7334 CNRS & Universités de Toulon et d'Aix-Marseille  
Université de Toulon La Garde, France

<sup>4</sup> Sunpartner Technologies  
240 Avenue Olivier Perroy, Rousset, France

**Thèmes** – *Énergie - Informatique - Robotique - Électronique - Matériaux - Communication*

**Résumé** – *Les ampoules LEDs sont capables de clignoter à une fréquence de l'ordre du MHz. Ainsi, la méthode de communication Light Fidelity (LiFi) utilise cette propriété pour transmettre des informations via une modulation lumineuse à haute fréquence. Habituellement, la partie récepteur est assurée par une photodiode qui convertit les variations d'intensités lumineuses (imperceptibles à l'œil humain) en signal électrique décodé par un logiciel démodulateur LiFi. L'avantage des photodétecteurs est qu'ils détectent aisément de faibles éclaircissements et fonctionnent à des fréquences de plusieurs centaines de MHz. Cependant, ilsaturent rapidement en conditions extérieures et nécessitent une alimentation externe. Pour contourner ces inconvénients, nous travaillons sur une réception par solutions photovoltaïques (module ou cellule PV). En effet, ces dispositifs sont de même nature que les photodiodes mais ils présentent également un champ électrique interne suffisant pour séparer les paires électrons-trous dans la zone de charge d'espace (ZCE). De plus, il a été démontré que les cellules PV améliorent la fiabilité de la réception en environnement extérieur dû à un niveau de saturation plus élevé comparé à celui des photodétecteurs classiques [1].*

**Mots-Clés** – *LiFi, communication par lumière visible (VLC), photovoltaïque*

## 1 Introduction

L'arrivée de l'internet des objets augmente grandement la demande en technologie de transmission d'informations sans fil. Actuellement, la majeure partie de ces transmissions sont assurés par le domaine des radiofréquences (WiFi, 4G, Bluetooth, ...) seulement le domaine des RF est saturé et il est ainsi de plus en plus difficile de transmettre sur des fréquences sans entrer en interférences avec des dispositifs alentours. Pour résoudre ce manque de canaux d'informations, le Light Fidelity (LiFi) propose d'utiliser le spectre de la lumière visible comme canal de transmission. De plus, le LiFi possède trois avantages de taille : une communication sûre dans les environnements sensibles tels que les hôpitaux, une sécurité accrue car la lumière est cloisonnée aux murs d'une pièce et une possibilité de géolocalisation à quelques centimètres de précision.

## 2 Objectif du projet

Le LiFi utilise classiquement des ampoules LED émettrices et des photodiodes réceptrices pour convertir l'information lumineuse en données électriques qui seront ensuite décodés par un modem LiFi. Les principaux problèmes de ces récepteurs résident dans le fait qu'ils doivent être alimentés et qu'ils saturent en conditions extérieures. Pour éviter ces inconvénients, l'utilisation de cellules photovoltaïques est une bonne alternative en tant que récepteur LiFi grâce à une surface de réception plus importante et à une tension interne assez importante pour séparer les paires électrons-trous dans la zone de déplétion. C'est ainsi qu'il a été démontré que les cellules PV peuvent s'avérer plus performantes en environnement extérieur que les photodétecteurs [1].

Dans le but de caractériser les propriétés optoélectroniques des cellules PV, un banc de test LiFi a été développé au laboratoire IM2NP (Figure 1).

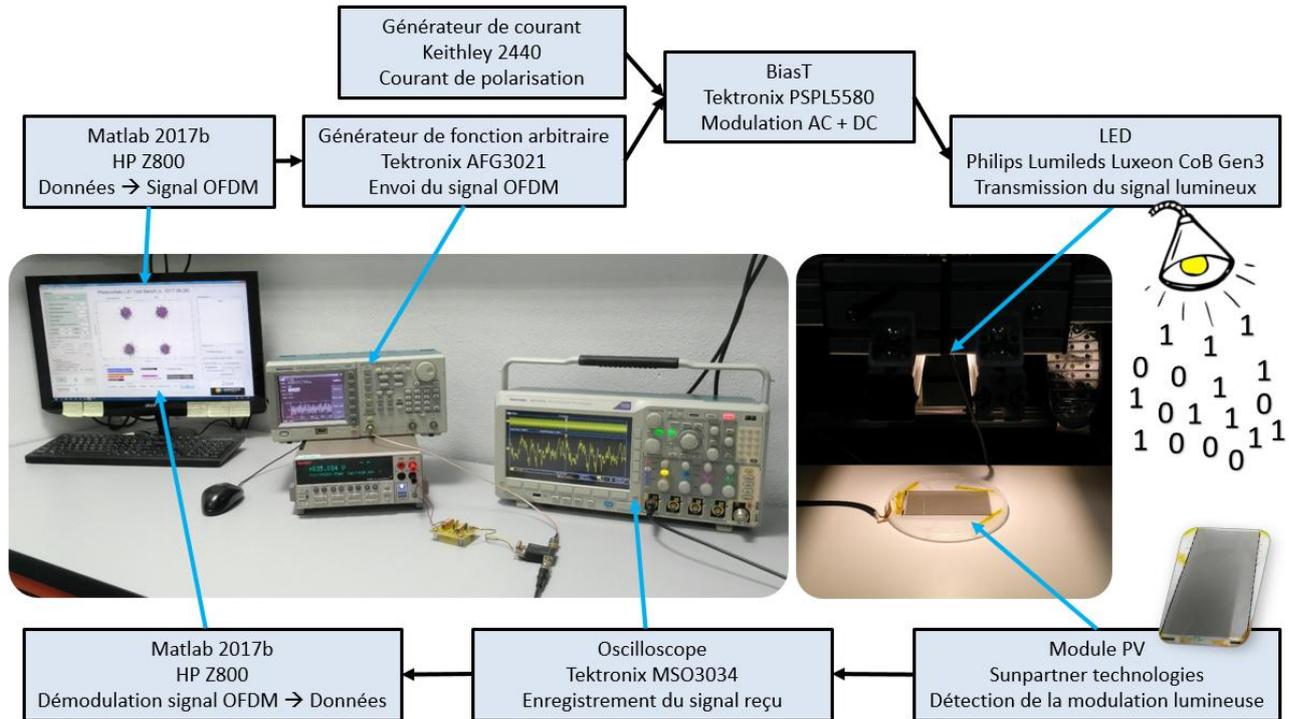
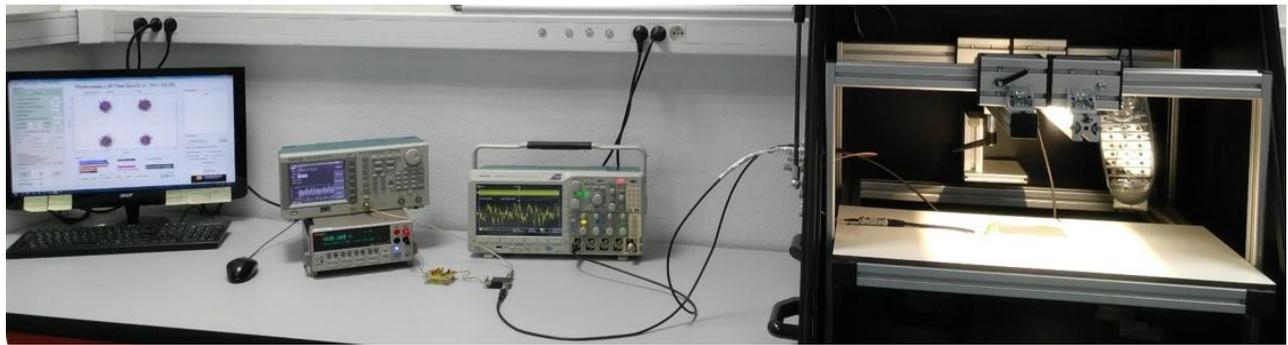


FIGURE 1 - BANC DE TEST LiFi (LABORATOIRE IM2NP)

Le débit de la communication LiFi est généralement estimé à partir du rapport signal à bruit (SNR) et de la bande passante. Nous comparerons ainsi dans ce travail les comportements fréquentiels de modules photovoltaïques commerciaux issus de différentes technologies photovoltaïques (Si, a-Si, CIGS, OPV) et analyserons le comportement spécifique des modules semi-transparents produits par la société Sunpartner.

## Références

[1] Emilie Bialic et *al.*, Specific innovative semi-transparent solar cell for indoor and outdoor LiFi applications, Applied Optics, 2015.

---

# Protocole de communication asynchrone à lien radio Ultra-large bande pour les réseaux de capteurs

---

Abderrahmane Haloua, Nicolas Dehaese, Rémy Vauché, Jean Gaubert

abderrahmane.haloua@etu.univ-amu.fr nicolas.dehaese@univ-amu.fr remy.vauche@univ-amu.fr  
jean.gaubert@univ-amu.fr

IUT d'Aix Marseille, Aix-Marseille Université  
Institut Matériaux Microélectronique Nanosciences de Provence, UMR 7334

**Thèmes** – *Électronique*

**Résumé** – *Dans ce papier, nous proposons un protocole de communication asynchrone à lien radio Ultra-large bande (ULB) pour les réseaux de capteurs à faible consommation. Le choix des communications impulsionnelles ULB est justifié par leur faible consommation d'énergie pour la transmission des données, la simplicité des architectures matérielles associées qui permet un faible cout d'implémentation et leur capacité de pouvoir transmettre des données avec des débits instantanés élevés. En outre, l'utilisation d'un protocole asynchrone basé sur l'utilisation d'un récepteur de réveil à très faible consommation permet également une réduction importante de la consommation. L'étude énergétique du protocole proposé basée sur une modélisation du nœud de capteurs montre l'intérêt de l'utilisation des communications ULB et d'un protocole asynchrone à base de récepteur de réveil dans les réseaux de capteurs où une très faible consommation d'énergie est requise.*

**Mots-Clés** – *Réseaux de capteurs, ULB, Récepteur de réveil, faible consommation.*

## 1 Introduction

Les protocoles de communication asynchrones sont basés sur l'utilisation de deux canaux distincts. Un canal est utilisé pour la communication des données, et un autre canal pour le réveil des différents nœuds, et cela en intégrant une radio de réveil (*wake-up radio*) en plus de la radio principale (échange des données). Le récepteur de réveil permet de réduire la consommation d'énergie observée dans les protocoles de communication synchrones due à l'écoute passive du canal par le récepteur de la radio principale, car la consommation du récepteur de réveil est beaucoup plus faible que celle du récepteur de la radio principale. La première partie décrit le protocole de communication asynchrone à lien radio ULB proposé et donne une modélisation de la consommation d'énergie d'un réseau de capteurs utilisant ce type de communication. La deuxième partie expose les résultats de cette modélisation et conclut quant aux performances énergétiques de ce protocole.

## 2 Présentation du protocole asynchrone proposé

Comme indiqué auparavant, les protocoles asynchrones utilisent deux canaux distincts pour la communication. Un canal de données et un canal de réveil. Dans le protocole proposé, le canal de données utilise un lien radio Ultra Large Bande dans la bande de fréquence sous-GHz [1] en raison de la faible consommation d'énergie permise par ce type de transmission de données [2]. Le canal de réveil utilise une porteuse non modulée autour d'une fréquence de 433 MHz.

### 2.1 Description du fonctionnement du protocole de communications asynchrone à lien radio ULB sous-GHz durant un cycle de communications

Le cycle de communication dans le protocole asynchrone proposé débute, comme le montre la figure 1, avec l'émission d'un signal de réveil par le nœud souhaitant transmettre une donnée à un des nœuds de son voisinage. Ce signal de réveil est reçu par les nœuds du réseau grâce à leurs récepteurs de réveil (tandis que les récepteurs principaux sont éteints). À la réception de ce signal, les nœuds ayant reçu le signal de réveil allument leur récepteur principal afin de recevoir une demande de transmission (RTS : *Request To Send*) de la part du nœud émetteur. Ce dernier émet cette demande dans un paquet de données de 100bits à travers son émetteur ULB sous-GHz avant de s'éteindre pour se réveiller à la prochaine milliseconde pour l'échange de la trame de l'autorisation d'émettre (CTS : *Clear to Send*). Seul le nœud ayant trouvé son adresse dans cette trame allumera sa radio à la prochaine milliseconde pour l'échange du CTS. Les autres nœuds récepteurs quant à eux éteignent leur radio principale et allument leurs récepteurs de réveil. Le nœud

dont l'adresse est contenue dans le RTS, transmet une trame CTS au nœud émetteur pour lui indiquer qu'il est prêt à recevoir la trame de données. La trame de données (DATA) est transmise par le nœud émetteur à la prochaine milliseconde. Après la réception de la trame de données, le nœud récepteur émet une trame d'acquiescement (ACK) pour le nœud émetteur toujours après un intervalle de 1ms. À la fin de l'échange de la trame d'acquiescement, les nœuds communicants éteignent leur radio principale et allument leur récepteur de réveil.

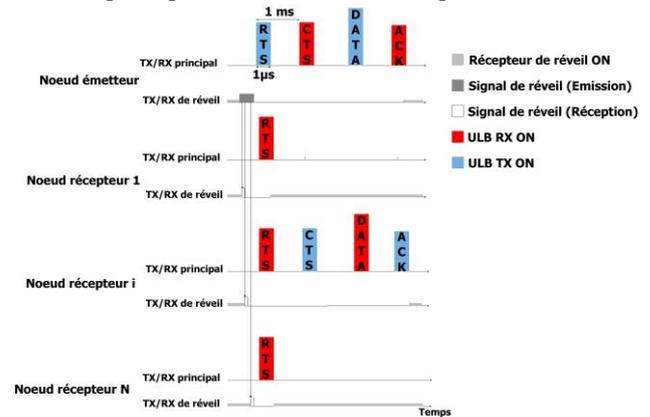


Figure 1- représentation d'un cycle de communications avec le protocole asynchrone proposé

Dans la bande ULB sous-GHz les données sont transmises à l'aide d'impulsions dont la durée typique est de quelques nanosecondes. La puissance pic et la puissance moyenne du signal ULB sont limitées respectivement à -7.9dBm et -41.dBm/MHz par l'autorité de régulation FCC [1]. Cette régulation autorise une amplitude maximale de 0.9 mV pour le signal ULB (sur une antenne d'impédance 50 Ω) lorsque le débit est inférieur ou égal à 100Kb/s. On peut cependant contourner cette limitation de débit en émettant des séquences d'impulsions rapprochées « burst » entrecoupées de longues périodes de veille afin de maintenir le débit moyen en dessous de 100Kb/s [2]. Dans cette étude le débit pendant les bursts est égal à 100Mb/s pour une durée de burst de 1µs chaque 1ms. Ceci justifie l'intervalle de 1ms présent entre les échanges de trames sur la figure 1. De plus, l'échange des données sous forme de burst permet une grande efficacité énergétique car la radio principale peut être éteinte entre les bursts et fonctionner avec un rapport cyclique très faible [2].

### 2.2 Modélisation de la consommation d'énergie d'un réseau de capteurs fonctionnant avec le protocole de communication proposé

Pour étudier l'impact énergétique du protocole de communication proposé, un modèle de nœud de capteurs a été développé. Comme le montre la figure 2, le nœud de capteurs étudié est composé d'une radio principale ULB sous-GHz, d'une radio de réveil fonctionnant à 433 MHz, d'un microcontrôleur faible consommation [3], et de deux

interfaces entre la radio principale et le microcontrôleur qui ont pour rôle de changer le cadencement des trames de données entre le haut débit de l'émetteur-récepteur (100 Mb/s) et la fréquence de fonctionnement du microcontrôleur (4 MHz).

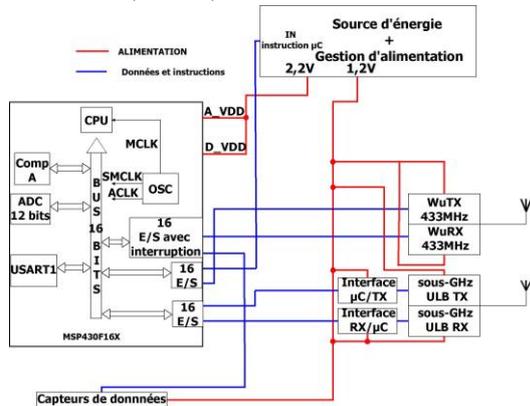


Figure 2-Architecture matérielle d'un nœud de capteur permettant l'implémentation du protocole proposé (D\_VDD : digital VDD ; A\_VDD : analog VDD)

Le microcontrôleur utilisé a 5 modes de fonctionnement et donc de consommation grâce à différentes horloges auxiliaires permettant l'utilisation autonome (sans CPU) de certaines fonctions du microcontrôleur. L'utilisation du protocole asynchrone et des communications ULB en mode burst permet de limiter l'utilisation du mode où la consommation est maximale à de courtes périodes. La consommation des différents organes du nœud de capteurs intervenant dans la communication est résumée dans le tableau 1.

Tableau 1- Puissances consommées par les différentes fonctions matérielles du nœud de capteur (\*: modèle ad-hoc développé à partir de [6] [7])

Fonction	Puissance consommée	[ref]
TX ULB sous-GHz	0.1mW @ 1Mbps	[5]
RX ULB sous-GHz	0.6mW @ 1Mbps	[5]
Emetteur de réveil	VCO=2.16µA PA=7.7mA	*
Récepteur de réveil	98nW	[4]
CPU Microcontrôleur MSP430f16	Active mode : 330µA@1MHz LPM2 :11µA LPM4 :0,2µA	[3]
ADC 12bit	0,65mA @ VDD=2,2V	[3]
CompA	25µA @ VDD=2,2V	[3]

### 3 Résultats de la modélisation et conclusion

La modélisation de la consommation a été effectuée pour un réseau de capteurs composé de 20 nœuds, et pour différents niveaux de trafic (représenté par l'intervalle moyen entre deux communications dans un nœud). Comme le montre la figure 3. La consommation du réseau se répartit en 4 parties : (i) la consommation active de la

radio principale (conso active RF), (ii) la consommation active du microcontrôleur (conso active uC), (iii) la consommation des récepteurs de réveil (conso WUR), (iv) et la consommation de veille des microcontrôleurs (conso veille uC).

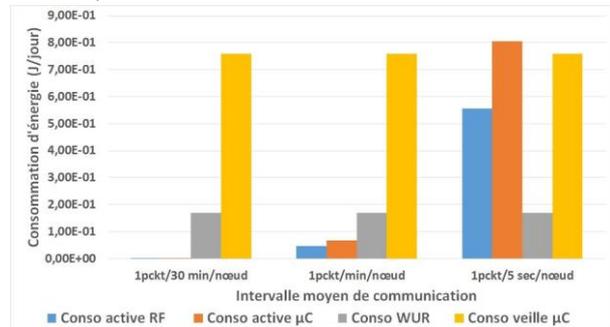


Figure 3- Consommation d'énergie par jour d'un réseau de capteurs de 20 nœuds en fonction du niveau de trafic

La figure ci-dessus montre que, dans les cas usuels de trafic, l'utilisation du protocole asynchrone à lien radio ULB sous-GHz permet d'obtenir une consommation liée à la radio principale qui reste faible par rapport à celle des autres fonctions du nœud de capteur contrairement à ce qui est observé lorsque des protocoles de communication classiques et des liens radios conventionnels sont utilisés. Cette avancée du point de vue de la consommation devrait permettre d'implémenter des nœuds de capteurs présentant une très grande autonomie.

### Références

- [1] Federal Communications Commission, "FCC rules and regulations," Part 15, July 2008.
- [2] R. Vauche, S. Bourdel, J. Gaubert, N. Dehaese and H. Barthelemy, "Emitters and Receivers for Impulse Radio Ultra-Wideband and Their Healthcare Applications," 2015 IEEE International Conference on Ubiquitous Wireless Broadband (ICUWB), Montreal, QC, 2015, pp. 1-5.
- [3] Texas Instruments, "mixed signal microcontroller," MSP430F15x, MSP430F16x, MSP430F161x datasheet, Oct 2002 [Revised 2011].
- [4] N. E. Roberts and D. D. Wentzloff, "A 98nW wake-up radio for wireless body area networks," 2012 IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium, Montreal, QC, 2012, pp. 373-376.
- [5] L. Wang, C. H. Heng and Y. Lian, "A sub GHz mostly digital BPSK IR UWB transceiver," 2015 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), Lisbon, 2015, pp. 1242-1245.
- [6] M. S. Jahan and J. H. Holleman, "An ultra-low-power 400 MHz VCO for MICS band application," International Conference on Electrical & Computer Engineering (ICECE 2010), Dhaka, 2010, pp. 318-321.
- [7] T. Range, "300MHz to 450MHz High-Efficiency, Crystal-Based + 13dBm ASK Transmitter," MAX7044 datasheet, Apr 2017"

# Réalisation d'un dispositif d'échantillonnage non uniforme : approche temps réel interpolée

---

Frédéric Bonnardot<sup>1</sup>      Halil Ibrahim Cakar<sup>1</sup>

frederic.bonnardot@univ-st-etienne.fr      hicakar@gmail.com

<sup>1</sup> Univ Lyon, UJM Saint Etienne, LASPI, EA 3059, F-42334,  
IUT de Roanne, France.

**THÈMES** – *Électronique - Informatique - Mathématiques - Mécanique*

**RÉSUMÉ** – *Contrairement à l'échantillonnage classique qui est fait avec un intervalle de temps régulier (ou uniforme) entre les échantillons, l'échantillonnage non uniforme consiste à prélever des échantillons à des instants irréguliers ou aléatoires. Cet échantillonnage présente l'intérêt de changer la façon dont les signaux se replient. Pour des paramètres bien choisis, on peut même supprimer le phénomène de repliement et visualiser des fréquences plus élevées que la fréquence d'échantillonnage moyenne. Malheureusement, ce type d'échantillonnage à un prix : l'ajout d'un bruit additif. Nous avons développé un dispositif d'acquisition non-uniforme, en utilisant un système d'acquisition classique (Compact RIO) où nous avons par interpolation estimé les échantillons à des positions non-uniforme. Ce dispositif réalise l'échantillonnage non uniforme en temps réel.*

**MOTS-CLÉS** – *Echantillonnage non-uniforme, compressive sensing.*

# 1 Introduction

Très souvent lors de l'acquisition de signaux issus de capteurs (accéléromètre, sonde de courant, de tension, ...) les échantillons sont prélevés à intervalle de temps régulier au rythme de la fréquence d'échantillonnage. Depuis plusieurs années, une technique d'échantillonnage non uniforme (ou irrégulier) commence à être utilisée par exemple en télécommunication [1] ou en analyse vibratoire [2]. Cette technique consiste faire varier la période d'échantillonnage au cours temps. L'objectif étant de décrire un même signal avec le moins d'échantillons possible. Par ailleurs, ce type d'échantillonnage possède des propriétés très intéressantes vis à vis du repliement [3, 4].

Afin d'étudier ce type d'échantillonnage, il n'existe pas de système d'acquisition sur le marché. C'est pourquoi nous avons dû concevoir un tel dispositif d'acquisition. Ce document propose deux méthodes pour réaliser ce type d'échantillonnage.

Une première partie explique ce qu'est l'échantillonnage non-uniforme. Ensuite, une deuxième partie montre comment réaliser un dispositif temps réel utilisant l'interpolation.

## 2 Échantillonnage non-uniforme

### 2.1 Principe

Échantillonner non-uniformément un signal requiert une horloge d'échantillonnage non-uniforme qui indique les instants d'échantillonnage, ainsi qu'un signal à échantillonner comme l'illustre la figure 1 :

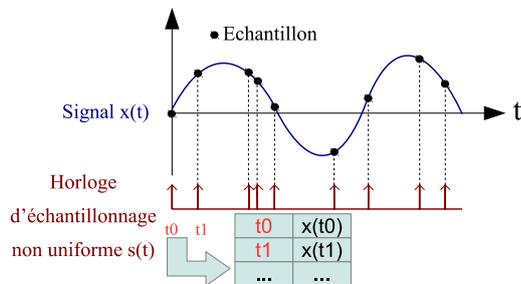


FIGURE 1 – Principe de l'échantillonnage non-uniforme

L'horloge d'échantillonnage peut être soit :

- *matérielle* : les instants d'échantillonnage proviennent d'une source externe comme un codeur optique (capteur de position fournissant par exemple 512 fronts montant par tours) [3, 5] ;
- *logicielle* : on génère une série d'instants d'échantillonnage  $T_n$  de période moyenne  $T_{moy} = \mathbb{E}[t_n - t_{n-1}]$  avec une fluctuation aléatoire  $\tau_n$  autour de cette période moyenne.

Ici, nous ne nous intéresserons qu'à la dernière ap-

proche. Dans cette approche, il est possible de générer le signal d'horloge de plusieurs manières et notamment :

- *Additive Random Sampling* où l'instant d'échantillonnage est calculé à partir du précédent :  $T_n = T_{n-1} + T_{moy} + \tau_n$ ,
- *Jittered Random Sampling* où un décalage est appliqué par rapport à l'instant d'échantillonnage uniforme :  $T_n = n.T_{moy} + \tau_n$ .

La variable aléatoire  $\tau_n$  suit une loi centrée, qui peut être Gaussienne, Uniforme, ... Une fois les instants d'échantillonnages déterminés, on l'utilise pour échantillonner le signal.

Le résultat de l'acquisition est constitué à la fois des instants d'échantillonnage  $\{t_n\}$  et des amplitudes  $\{x(t_n)\}$ .

### 2.2 Intérêt

Un des intérêts de l'échantillonnage non-uniforme est d'une part de pouvoir de réaliser, sous certaines conditions, une acquisition sans filtre anti-repliement et d'autre part de pouvoir observer le spectre au-delà de la fréquence d'échantillonnage moyenne/2. Évidemment, cela engendre quelques inconvénients, notamment un bruit additif. La figure 2 illustre ces propriétés.

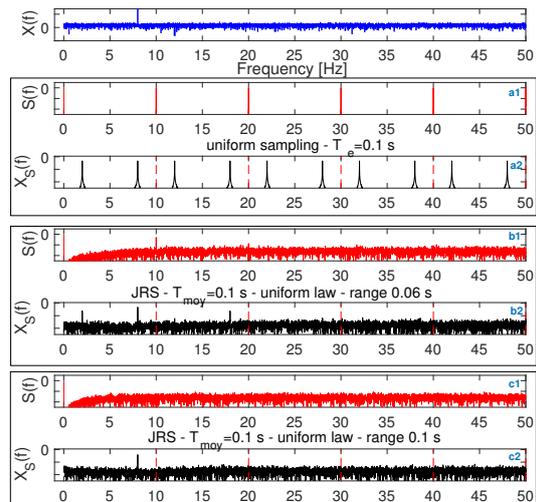


FIGURE 2 – Suppression du repliement

La première ligne de la figure montre le Spectre  $X(f)$  d'un signal sinusoïdal de  $8\text{ Hz}$  d'une durée de  $10\text{ s}$  échantillonnée uniformément avec une fréquence d'échantillonnage de  $1\text{ kHz}$ . On observe sur ce spectre un pic à  $8\text{ Hz}$ .

Sur la troisième ligne (a2), on voit le spectre  $X_S(f)$  de ce même signal échantillonné uniformément à  $10\text{ Hz}$ . Etant donné que l'on ne respecte pas le théorème de Shannon, on observe un pic replié à  $10 - 8 = 2\text{ Hz}$ . Ce spectre correspond au spectre bleu convolué par le spectre du signal d'horloge  $S(f)$  (peigne de Dirac espacé de  $10\text{ Hz}$ ) représenté en rouge sur la deuxième ligne (a1).

Les autres lignes correspondent à un échantillonnage non-uniforme avec différentes horloges d'échantillonnage. Le spectre de l'horloge  $S(f)$  en rouge est suivi du spectre du signal  $X_S(f)$  en noir. Les paramètres de l'horloge (type, période moyenne, loi, étendue) sont indiqués au milieu. Deux simulations ont été faites avec une horloge de type JRS en faisant varier l'étendue du jitter  $\tau_n$ .

En comparant le spectre de l'horloge non uniforme de la 4ème ligne ((b1)) avec celui de l'horloge classique (uniforme) (a1), on constate que :

- la série de pics provoquant le repliement dans le spectre (a1) est remplacé par une série de pics décroissant dans le spectre (b1). Le repliement est donc limité : on ne voit donc apparaître sur le spectre du signal (b2) que deux pics supplémentaires de plus faible amplitude.
- un bruit additif apparait.

Si l'on choisit une horloge telle que l'étendue correspond à la période moyenne, on n'a plus qu'un seul pic dans le spectre de l'horloge (c1). On a donc d'une part supprimé le repliement et on est donc capable de voir un pic au delà de la fréquence d'échantillonnage moyenne ( $1/T_{moy}$ ). Malheureusement le bruit est toujours présent.

### 3 Approche par interpolation

Le système d'acquisition est conçu pour une plateforme Compact RIO (National Instruments). Cette plateforme est constituée d'un FPGA (pouvant effectuer des opérations simultanées et dédié aux tâches rapides mais simples) et d'un contrôleur (sorte d'ordinateur muni d'un serveur web, ...). Des modules d'acquisition sont reliés au Compact RIO. Ce système ce programme à l'aide de Labview (langage de programmation graphique). L'utilisateur final contrôle le système d'acquisition à l'aide d'un site web réalisé sur le Compact RIO.

La figure 3 représente le logiciel sous forme de diagramme simplifié :

- A la demande de l'utilisateur ayant choisi les paramètres d'acquisition, l'hôte (partie ordinateur) calcule les instants d'échantillonnages non-uniforme. Il en déduit la position pour l'interpolation : numéro d'échantillon (partie entière) et décalage (partie décimale). Ces positions sont ensuite envoyées au fur et à mesure au FPGA. En parallèle, les échantillons obtenus par interpolation envoyés par le FPGA sont récupérés.
- Une première tâche réalise l'acquisition classique des données, mémorise un historique des 10 derniers échantillons, et, met à jour pour chaque nouvel échantillon la position du 5<sup>ème</sup> échantillon mémorisé.
- Une deuxième tâche compare la position de l'échantillon médian et le compare au numéro d'échantillon prélevé. Si il correspond, une interpolation est réa-

lisée pour renvoyer l'échantillon associé à l'instant demandé (partie entière et décimale).

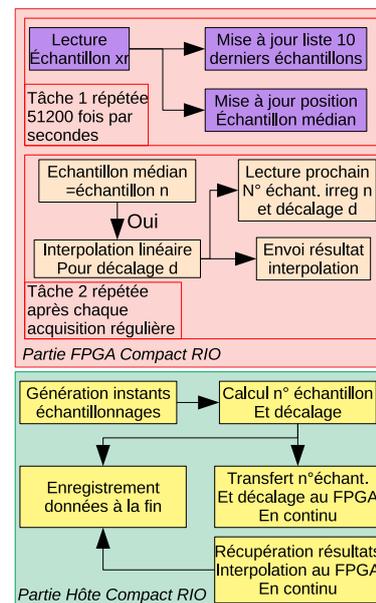


FIGURE 3 – Principe de l'acquisition

### 4 Conclusion

Une première partie a présenté l'échantillonnage non-uniforme, son avantage : se passer de filtre anti-repliement et son inconvénient : augmentation du bruit. Une deuxième partie a montré comment réaliser un dispositif d'acquisition temps réel permettant un échantillonnage non-uniforme.

### Références

- [1] J.J. Wojtiuk. *Randomised Sampling for Radio Design*. PhD thesis, University of South Australia, March 2000.
- [2] M. Hajjar, M. El Badaoui, A. Raad, and F. Bonnardot. Discrete random sampling : Theory and practice. In *Surveillance 9*, Fes, 22-24 May 2017.
- [3] M. El Badaoui and F. Bonnardot. Impact of the non-uniform angular sampling on mechanical signals. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 44(1-2) :199–210, February 2014.
- [4] F. Bonnardot and J. Al Fallah. Non-uniform (re)sampling for optical encoder. In *Fisrt World Congress on Condition Monitoring (WCCM)*, London, 13-16 June 2017.
- [5] F. Bonnardot, M. El Badaoui, and F. Guillet. Analyse vibratoire, approche cyclostationnaire et déterministe. In *cnriut 2002*, Le Creusot, 15-16 May 2002.

## Carte électronique pour enceinte Bluetooth : usage de la suite logicielle libre Kicad

---

Vincent RASPAL<sup>1</sup>      C. MASSARD<sup>1</sup>      Y. SIBAUD<sup>1</sup>      K. O. AWITOR<sup>1</sup>

vincent.raspal@uca.fr christophe.massard@uca.fr yves.sibaud@uca.fr komla.awitor@uca.fr

<sup>1</sup>IUT, département Mesures Physiques,  
Équipe Physico-Chimie des Surface Nanostructurées (PCSN)  
Laboratoire de Physique de Clermont  
Pôle Physique pour la Santé et l'Environnement  
UMR 6533 CNRS/IN2P3 – Université Clermont Auvergne

**THÈMES** – *Électronique*

**RÉSUMÉ** – *Le présent document reprend succinctement les objectifs fixés et les méthodes mises en œuvre dans le cadre d'un projet tutoré proposé en IUT Mesures Physiques. La conception d'une enceinte bluetooth a été l'opportunité de confronter les étudiants aux difficultés inhérentes au travail de schématisation et conception d'une carte électronique apportant plusieurs fonctionnalités dont le réglage de la tonalité sonore par l'implémentation de filtres LINKWITZ–RILEY. La maîtrise des compétences de conception est un atout dans le domaine de l'entreprise comme celui de la recherche, alors que l'électronique occupe une place croissante et les coûts d'acquisition des composants sont tirés vers le bas. Dans cet objectif, le choix de diriger les étudiants vers Kicad et de les former à son usage s'inscrit dans la nécessité impérieuse et éthique ressentie de promouvoir l'usage du logiciel libre dans le monde de l'enseignement, y compris à l'université.*

**MOTS-CLÉS** – *Filtre LINKWITZ–RILEY, Kicad EDA, logiciel libre*

## 1 Introduction

Ce document reprend de manière approfondie le travail initié par des étudiants dans le cadre pédagogique des projets tutorés de 2<sup>e</sup> année au département Mesures Physiques de l'IUT de Clermont-Ferrand. L'objectif fixé était la fabrication d'une enceinte bluetooth : caisson et carte électronique. Ce document se focalise uniquement sur la partie électronique dont le cœur consiste principalement en un module bluetooth, un filtre LINKWITZ–RILEY à 2 étages et un amplificateur audio (TDA7297).

La motivation du projet découle d'un constat initial simple : au sein de l'IUT comme dans notre équipe de recherche, un nombre croissant d'expériences se basent sur des maquettes électroniques « maison », développées en interne par le personnel technique qualifié. À l'heure de la démocratisation des composants électroniques (dont les microcontrôleurs) il devient très intéressant pour le chercheur ou pour la petite entreprise de développer des cartes électroniques calibrées pour répondre à des problèmes précis.

La suite de développement de circuits imprimés Kicad est une suite logicielle entièrement libre et gratuite extrêmement performante. Créée dans les années 90 par Jean-Pierre CHARRAS, alors enseignant à l'IUT de Grenoble, elle a atteint aujourd'hui un niveau de maturité la rendant très largement compétitive face aux solutions propriétaires payantes telles que Eagle. Nous passerons succinctement en revue ses capacités.

## 2 Le détail du projet pédagogique

### 2.1 Origine du projet

Depuis une petite dizaine d'années, nous voyons explorer le nombre d'objets dits *connectés*. L'*internet of things* ou IoT (internet des objets ou ido en français) prend de plus en plus de place dans nos vies<sup>1</sup>. Ces réseaux d'objets se basent essentiellement sur des connexions sans fil. L'utilisateur moyen accepte de moins en moins que sa mobilité soit entravée par des connexions filaires, fréquemment remplacées par le wifi ou le bluetooth.

C'est dans ce contexte généralisé de dématérialisation – des données comme des liaisons – que l'idée est venue aux étudiants de se lancer dans la conception d'une enceinte bluetooth dans le cadre d'un projet dont le sujet avait été laissé libre.

### 2.2 Le principe de fonctionnement de l'enceinte

Le projet consistait à créer le caisson d'enceinte et son événement. Cette partie n'est pas détaillée ici. L'électronique de traitement de l'audio devait remplir le cahier des charges suivant :

- choix parmi deux sources : filaire (entrée auxiliaire jack) ou non filaire (bluetooth) ;

1. Pour le meilleur ou le pire, cela dépend du point de vue, des finalités et du devenir des données traitées.

- alimentation autonome pour usage itinérant ;
- ajustement du volume et de la tonalité sonores ;
- puissance de sortie de l'ordre de  $2 \times 15$  W ;
- pilotage d'un woofer de  $8 \Omega$  et de deux tweeters de  $4 \Omega$  montés en série, soit deux charges indépendantes de  $8 \Omega$ .

Le schéma de principe de la carte électronique est donné en Figure 2. Parmi toutes les fonctions citées, nous allons détailler et commenter ci-après le choix de la structure des filtres passe-haut et passe-bas. Ces filtres sont actifs et situés en amont de l'amplificateur TDA7297, donc sans puissance notable.

### 2.3 Les filtres LINKWITZ–RILEY

La principale difficulté dans la réalisation de filtres audio consiste à respecter les deux critères importants suivants :

1. la somme des gains des différents filtres (par exemple passe-haut et passe-bas) doit être constante en fréquence (plate) ;
2. les déphasages des sorties des filtres vis-à-vis de l'entrée doivent être identiques pour chaque fréquence (sans quoi des interférences destructives des ondes sonores se produiront).

Si l'une ou l'autre de ces deux conditions n'est pas respectée, le gain global de l'installation ne sera pas constant. C'est par exemple le cas avec de simples circuits RC du 1<sup>er</sup> ordre (actifs ou passifs) qui ne respectent pas l'égalité des phases.

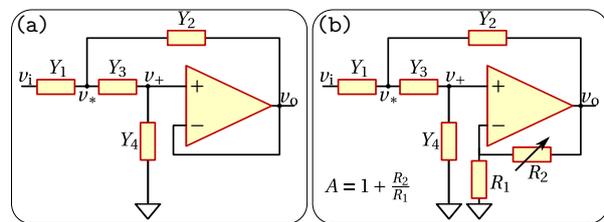


FIGURE 1 – Topologie d'une cellule SALLEN–KEY à gain fixe (a) et à gain variable (b)

Une solution possible est d'utiliser des filtres basés sur une cascade de deux cellules SALLEN–KEY (cf. Figure 1a). En notant  $Y_i$  les admittances il vient

$$v_* = \frac{v_i Y_1 + v_o (Y_2 + Y_3)}{Y_1 + Y_2 + Y_3} \quad \text{et} \quad v_o = \frac{Y_3}{Y_3 + Y_4} v_* \quad (1)$$

Aussi, l'amplification en tension d'une cellule s'écrit-elle

$$A_v = \frac{Y_1 Y_3}{(Y_1 + Y_2)(Y_3 + Y_4) + Y_3(Y_4 - Y_2)} \quad (2)$$

Plusieurs types de filtres LINKWITZ–RILEY [1] existent ; les plus communs correspondent à la mise en cascade de deux cellules SALLEN–KEY. Leurs structures et caractéristiques sont données dans le Tableau 1. Ces filtres unitaires

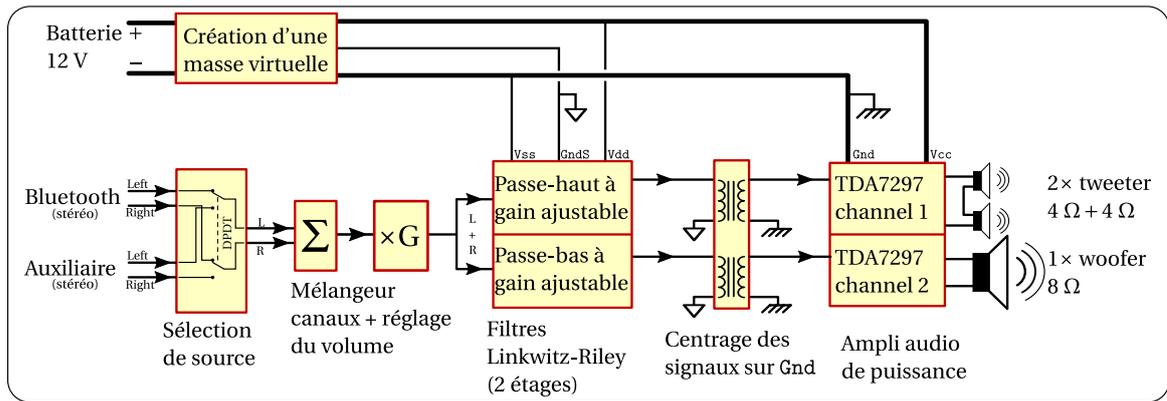


FIGURE 2 – Schéma de principe de la carte électronique de l'enceinte

Filtre	$Y_1 = Y_3$	$Y_2$	$Y_4$	$ A_v $
Passe-bas	$jC\omega$	$1/R$	$1/2R$	$u^4/(1+u^4)$
Passe-haut	$1/R$	$2jC\omega$	$jC\omega$	$1/(1+u^4)$

TABLE 1 – Constitution des filtres LINKWITZ–RILEY à deux étages. Le module de  $A_v$  est indiqué avec  $u = \omega/\omega_c$ . Les admittances  $Y_i$  font référence à la Figure 1.

présentent une pulsation de coupure  $f_c = (2\pi \sqrt{2}RC)^{-1}$  pour une pente de  $\pm 80$  dB/dec. Le déphasage induit par les deux filtres est identique et vaut

$$\varphi = -2 \arctan \left( \frac{\sqrt{2}u}{1-u^2} \right) \quad (3)$$

Néanmoins, en l'état, cette structure ne permet pas le réglage de la tonalité (aigus et graves). L'usage de cellules de SALLEN–KEY à gain ajustable (Figure 1b) comble ce manque sans faire usage d'un AOp supplémentaire.

### 3 La suite Kicad EDA

#### 3.1 Kicad, logiciel libre et performant

L'élaboration de la carte électronique constitue une partie très importante du projet (en temps passé comme en contenu pédagogique) qui était motivée par les points cités dans l'introduction. De très nombreuses solutions logicielles, libres ou propriétaires, existent pour effectuer ce travail. L'objet n'est pas de les citer ici, le lecteur curieux trouvera une liste ici [2]. Le choix d'une solution *open source* n'est pas innocent. Le fait de placer, sciemment ou par ignorance, les enfants ou les jeunes adultes (futurs consommateurs) et leurs besoins sous la coupe de grandes firmes (telles que les GAFAM) dont la qualité des logiciels et le respect des données personnelles se situent bien souvent à l'exact opposé de leur redoutables habileté et puissance commerciales n'est pas défendable. **L'auteur croit profondément que privilégier et promouvoir le logiciel libre à l'université est un devoir.**

Créé en 1992 par J.P. CHARRAS, de l'IUT de Grenoble, le projet Kicad a été choisi par le CERN (berceau du web,

rappelons-le) en 2015 pour le développement complet de cartes électroniques complexes. Ce choix a grandement accéléré le développement de nouvelles fonctions. Kicad peut se prévaloir d'être une solution performante et pérenne.

#### 3.2 Capacités de Kicad

Kicad est capable de prendre en charge intégralement le processus de conception d'un circuit imprimé. Les différents logiciels de cette suite sont indépendants et s'articulent par le truchement de fichiers texte consultables et modifiables à la main si besoin (*human-readable files*). Les logiciels principaux de cette suite sont :

**Eeschema** permet de dessiner le schéma du circuit grâce à des symboles de composants et des liens entre eux (*nets*) ;

**Cvpcb** gère l'association d'une empreinte composant à chaque symbole du schéma ;

**Pcbnew** assiste la création du circuit imprimé : placement des empreintes et routage des pistes ; il permet de gérer jusqu'à 32 couches de cuivre, une option *push and shove* (modification dynamique des pistes déjà tracées), la recherche du non-respect des règles de conception et même le rendu 3D de la carte et de ses composants.

### 4 Conclusions

Le travail proposé dans le cadre de ce projet dont seule une facette a été présentée ici a permis de confronter les étudiants aux difficultés inhérentes à la conception d'une carte électronique de A jusqu'à Z et de les initier à l'utilisation d'un logiciel libre et performant : Kicad.

### Références

- [1] Siegfried H Linkwitz. Active crossover networks for noncoincident drivers. *Journal of the Audio Engineering Society*, 24(1) :2–8, 1976.
- [2] Comparison of eda software. [https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison\\_of\\_EDA\\_software](https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_EDA_software). [Page accédée le 18/03/2018].

# Modélisation Orientée Diagnostic des Composants Électroniques Embarqués

---

Oussama Djedidi<sup>1</sup> Mohand A. Djeziri<sup>2</sup> Nacer K. M'Sirdi<sup>3</sup>

oussama.djedidi@lis-lab.fr mohand.djeziri@lis-lab.fr nacer.msirdi@lis-lab.fr

<sup>1,3</sup> Aix Marseille Université, Université de Toulon, CNRS, LIS, SASV

<sup>2</sup> Aix Marseille Université, Université de Toulon, CNRS, LIS, SASV, IUT

**THÈMES** – *Automatique - Électronique*

**RÉSUMÉ** – *Ce papier présente une approche incrémentale de modélisation des CPU-GPU utilisés dans les systèmes électroniques embarqués. Les caractéristiques estimées sont utilisées comme références et comparées à celles mesurées en lignes pour la détection des dérives. La structure du modèle assure un découplage des caractéristiques permettant ainsi l'isolation des défauts. La méthode proposée est validée expérimentalement sur des systèmes différents démontrant ainsi son efficacité et sa portabilité sur une large gamme de systèmes embarqués.*

**MOTS-CLÉS** – *Modélisation incrémentale, Systèmes embarqués, Systèmes intreconnectés, détection et isolation des défauts*

## 1 Introduction

L'utilisation grandissante des « Systems-on-Chip » (SoC) dans des systèmes complexes comme les systèmes de production et de gestion de l'énergie, l'automobile, et l'aéronautiques a motivé la communauté scientifique et industrielle pour le développement de méthodes de surveillance et de diagnostic de ce type de carte. Ce travail de recherche s'inscrit dans ce contexte et vise le développement d'une approche de surveillance des caractéristiques des CPU-GPU embarqué qui tient compte des contraintes d'utilisation, d'instrumentation, et surtout de portabilité sur une large gamme de systèmes.

Les méthodes de modélisation existantes dans la littérature se focalisent généralement sur une seule caractéristique [1] ou variable [2], dans un objectif d'optimisation des performances [3], ou d'optimisation de la consommation de puissance [4]. La modélisation que nous proposons ici en revanche, sert à l'estimation d'un ensemble de variables, choisies car elle caractérisent bien le fonctionnement de la carte et sont liées l'une à l'autre par des relations causales. Concernant l'aspect surveillance, la plupart des techniques de diagnostic de défauts dans la littérature, sont basées sur la théorie de la dépendance [5], la redondance matérielle et logicielle [6] et les tests de vérification en ligne [7]. Dans ce travail, Le modèle incrémental proposé permet d'utiliser directement la redondance analytique; une méthode qui n'est à ce jour pas encore utilisée pour le diagnostic des systèmes à partie software.

## 2 Construction du modèle

Dans les circuits à processeurs (CPU et GPU), Il est possible de construire des modèles décrivant le comportement de certains aspects comme la fréquence ou la température. Néanmoins, il est très difficile de les regrouper dans un seul modèle global. Ce travail apporte une solution à cette problématique en proposant une méthodologie qui se repose sur les relations causales entre les variables à modéliser.

Afin de faire le diagnostic d'une SoC, nous avons choisis 6 variables qui caractérisent son état de fonctionnement : L'utilisation des cœurs CPU (Load), l'utilisation du GPU, les fréquences des cœurs du CPU, la fréquence du GPU, le taux d'occupation de la RAM (TOR), la tension de chaque cœur du CPU, la température du SoC, et la puissance consommée. Le modèle que nous proposons n'a que 3 entrée : L'utilisation du CPU, l'utilisation du GPU, et le TOR. Les variables qui restent sont toutes estimées à partir de ces entrées.

### 2.1 Modélisation de la fréquence, de la tension, et du régulateur thermique

Les processeurs modernes sont dotés de générateurs de fréquences et de voltages qui suivent les changements de la charge logicielle pour la régulation de la puissance

consommée. Dans ce travail, nous avons utilisé l'ingénierie inverse pour simuler les algorithmes de ces générateurs (ref Oussama).

### 2.2 Modèle de la consommation de puissance

La consommation de puissance est le domaine le plus étudié pour les systèmes embarqués et mobiles. Toutefois, la plupart des modèles sont soit difficile à implémenter comme les machines à élément finis, soit des régressions linéaires qui ne prennent pas en compte la non-linéarité des changements en puissances. Pour prendre en considération ces points, nous avons construit un réseau de neurones (RN) récurrent à de deux couches, avec les fréquences et le TOR comme entrées.

### 2.3 Modèle de la température

La dynamique de la température diffère des autres variables dans le point ou elle ne dépend pas que des entrées mais aussi de ses valeurs antérieures. Le meilleur type de modèle qui tient en compte des toutes ses particularités ainsi que les contraintes de calcul et simulation est le modèle autorégressif à moyenne mouvante et entrée exogène ARMAX. En outre, la moyenne mouvante permet d'atténuer les bruits de mesure causé par le capteur présent sur la carte.

### 2.4 La flexibilité du modèle

La structure interconnectée du modèle permet, en outre de la simplification de la modélisation, de générer une bibliothèque de sous-systèmes composée de nouveau modèles ou de modèles déjà existant dans la littérature. Une telle bibliothèque permettra d'adapter le système aux changements dans le fonctionnement (économie de puissance, performances...) et dans les composantes. Elle permettra aussi d'étendre le modèle pour inclure l'estimation d'autres variables.

La figure 1 montre un exemple de bibliothèque des modèles de puissance développé au cours de ce travail et le modèle choisi par rapport à sa précision. Elle montre aussi l'aisance avec laquelle ces modèles peuvent être interchangés.

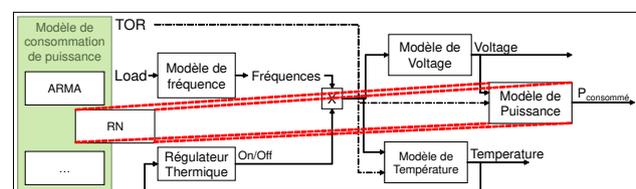


FIGURE 1 – La structure incrémentale du modèle rend l'adaptation aux changements dans la structure très simple. Elle permet aussi le changement des composants ou sous-systèmes très simple.

### 3 Validation Expérimentale

Les modèles construits dans le paragraphe précédent sont implémentés sur un ordinateur superviseur. Ce dernier permet de générer des estimations en parallèle et en lignes (Figure 2).

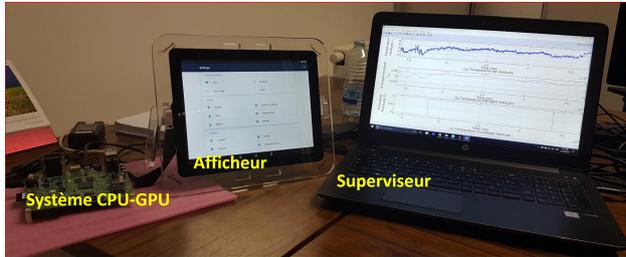


FIGURE 2 – La maquette d'expérimentations et validation.

En comparant les estimations des modèles données récupérées, nous avons validé les algorithmes reconstruits par l'ingénierie inverse. L'algorithme de la fréquence délivre exactement les mêmes fréquences que le système réel, avec un petit retard qui a un maximum de 0.1 s. Ce retard est expliqué par la durée nécessaire au modèle pour calculer une estimation. Ce retard est aussi constaté dans le modèle de la tension, qui délivre lui aussi des résultats exacts.

La figure 3 montre les estimations de la consommation en puissance par le modèle et les mesures réelle. Les estimations suivent bien les mesures, et le modèle à une précision de 97.12%, une erreur moyenne absolue de 0.0168 W, et une erreur quadratique moyenne de  $7.04 \times 10^{-4}$ . Ces résultats sont parmi les meilleurs dans la littérature, et valident bien le modèle. Le modèle ARMAX de la température est aussi validé avec une précision de 96% et une erreur moyenne absolue de 0.9947 °C.

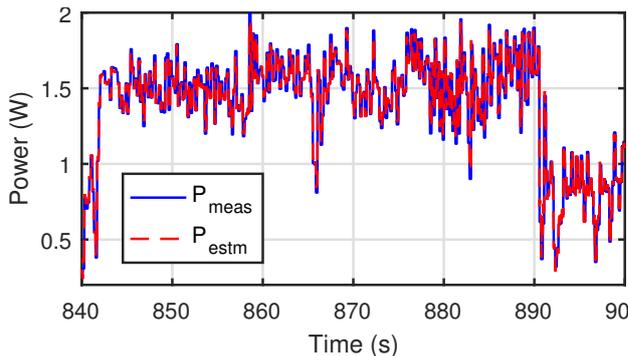


FIGURE 3 – Les estimations de la puissance consommée faites par le modèle comparées aux mesures réelles.

### 4 Conclusions

Nous avons présenté dans ce papier une approche de modélisation et de surveillance des caractéristiques des sys-

tèmes CPU-GPU, implémentable sur une large gamme de systèmes embarqués. La structure incrémentale du modèle permet à la fois de prendre en compte les relations de cause à effet et le découplage de variables estimées. Le modèle est utilisé avec succès pour la détection des dérives sur différents types de CPU-GPU, démontrant ainsi l'efficacité de l'approche proposée.

### 5 Remerciements

Ce travail fait partie d'un projet FUI19 financé par la Banque Publique d'Investissement (BPI), à qui nous adressons nos remerciements.

### Références

- [1] Matthew J. Walker, Stephan Diestelhorst, Andreas Hansson, Anup K. Das, Sheng Yang, Bashir M. Al-Hashimi, and Geoff V. Merrett. Accurate and Stable Run-Time Power Modeling for Mobile and Embedded CPUs. *IEEE Trans. Comput. Des. Integr. Circuits Syst.*, 36(1) :106–119, jan 2017.
- [2] Yuxiang Fu, Li Li, Kun Wang, and Chuan Zhang. Kalman Predictor-Based Proactive Dynamic Thermal Management for 3-D NoC Systems with Noisy Thermal Sensors. *IEEE Trans. Comput. Des. Integr. Circuits Syst.*, 36(11) :1869–1882, nov 2017.
- [3] Chia-Heng Tu, Hui-Hsin Hsu, Jen-Hao Chen, Chun-Han Chen, and Shih-Hao Hung. Performance and power profiling for emulated Android systems. *ACM Trans. Des. Autom. Electron. Syst.*, 19(2) :1–25, mar 2014.
- [4] Matthew Travers, Rishad Shafik, and Fei Xia. Power-Normalized Performance Optimization of Concurrent Many-Core Applications. In *Proc. - Int. Conf. Appl. Concurr. to Syst. Des. ACSD*, pages 94–103. IEEE, jun 2017.
- [5] Yiqian Cui, Junyou Shi, and Zili Wang. An analytical model of electronic fault diagnosis on extension of the dependency theory. *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, 133 :192–202, 2015.
- [6] Dimitris Gizopoulos, Mihalios Psarakis, Sarita V Adve, Pradeep Ramachandran, Siva Kumar Sastry Hari, Daniel Sorin, Albert Meixner, Arijit Biswas, and Xavier Vera. Architectures for online error detection and recovery in multicore processors. *2011 Des. Autom. Test Eur.*, (c) :1–6, mar 2011.
- [7] Smitha Shyam, Kypros Constantinides, Sujay Phadke, Valeria Bertacco, and Todd Austin. Ultra low-cost defect protection for microprocessor pipelines. In *Proc. 12th Int. Conf. Archit. Support Program. Lang. Oper. Syst. - ASPLOS-XII*, volume 41, page 73, New York, New York, USA, 2006. ACM Press.

---

## Commande basée observateur d'un robot à bras articulé

---

N. GASMI<sup>1</sup>    M. BOUTAYEB<sup>1</sup>    A. THABET<sup>2</sup>    M. AOUN<sup>2</sup>

noussaiba.gasmi@univ-lorraine.fr

mohamed.boutayeb@univ-lorraine.fr

<sup>1</sup> IUT Henri Poincaré de Longwy, Université de Lorraine, France  
Centre de Recherche en Automatique de Nancy, CRAN-CNRS UMR 7039

<sup>2</sup> École Nationale d'Ingénieurs de Gabès, Université de Gabès, Tunisie  
Laboratoire de Recherche MACS : Modélisation, Analyse et Commande des Systèmes

**THÈMES** – Automatique, Robotique

**RÉSUMÉ** – L'objectif de ce papier est de synthétiser une commande  $\mathcal{H}_\infty$  basée observateur pour stabiliser un robot à bras articulé. Dans un premier temps, les étapes de modélisation du robot sont présentées. Un modèle non linéaire temps discret est alors obtenu. Afin d'estimer les grandeurs non accessibles décrivant le comportement du procédé, un observateur de Luenberger est utilisé. Ce type d'observateur est conçu de telle sorte que la différence entre les valeurs des états réelles et celles des états estimés converge asymptotiquement vers zéro. L'estimation d'état est ensuite utilisée pour élaborer une loi de commande  $\mathcal{H}_\infty$  garantissant une atténuation des perturbations qui affectent le robot. Des conditions suffisantes, écrites sous forme d'inégalité linéaire matricielle (LMI), sont établies pour assurer la stabilisation du système. Enfin, une simulation numérique est présentée pour démontrer l'applicabilité de l'approche proposée.

**MOTS-CLÉS** – Commande, observateur, robot à bras articulé.

## 1 Introduction

Un robot à bras articulé (figure 1) est un robot qui a des fonctions similaires à un bras humain. Les liens de ce manipulateur sont reliés par des axes permettant un mouvement de rotation. Il peut être utilisé pour effectuer une variété de tâches avec une grande précision. Les bras manipulateurs sont en général mobiles et peuvent être conçus pour divers applications industrielles (soudage, assemblage, etc).



FIGURE 1 – Robot à bras articulé

Pour réussir à commander ce robot, il est nécessaire d'avoir des informations complètes décrivant la totalité de son comportement. Or, la mesure de toutes les grandeurs susceptibles de décrire le comportement du procédé est une tâche très difficile pour des raisons de coût, de mise en œuvre technique, etc. Ainsi, pour arriver à contrôler le robot à bras articulé, le concepteur peut procéder de deux manières différentes : Soit établir une loi de commande par retour de sortie statique qui se base seulement sur les informations disponibles. Soit concevoir une loi de commande basée observateur pour pouvoir estimer l'état du robot à chaque itération  $k$ . Dans ce papier, c'est le deuxième type de commande qui est abordé.

## 2 Modèle du robot à bras articulé

On considère le modèle du robot à bras articulé étudié dans [1], et modélisé dans la figure (2) :

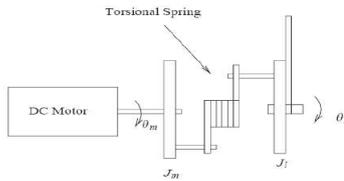


FIGURE 2 – Robot à bras articulé

La dynamique du robot est décrite par les équations suivantes :

$$\begin{cases} \dot{\theta}_m &= \omega_m \\ \dot{\omega}_m &= \frac{\tau}{J_m}(\theta_l - \theta_m) - \frac{b}{J_m}\omega_m + \frac{K_\tau}{J_m}u \\ \dot{\theta}_l &= \omega_l \\ \dot{\omega}_l &= -\frac{\tau}{J_l}(\theta_l - \theta_m) - \frac{Mgh}{J_l}\sin(\theta_l) \end{cases} \quad (1)$$

où  $\theta_m$ ,  $\omega_m$ ,  $\theta_l$  et  $\omega_l$  sont respectivement les positions et vitesses du moteur et de la liaison.  $J_m$  et  $J_l$  sont l'inertie

du moteur et de la liaison,  $h$  et  $M$  sont la longueur et la masse de la liaison,  $b$  représente le frottement visqueux,  $K_\tau$  correspond au gain d'amplificateur. Les mesures sont la position et la vitesse du moteur. Nous supposons que la première équation de (1) et la première mesure du vecteur de sortie sont affectées par le même bruit  $v(t)$ . En définissant  $x(t) = \begin{pmatrix} \theta_m & \omega_m & \theta_l & \omega_l \end{pmatrix}$ , le comportement du robot peut être décrit par les équations d'états suivante :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = A_c x(t) + B_c u(t) + D_c f_c(x(t)) + E_c v(t) \\ y(t) = C_c x(t) + F_c v(t) \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{avec } A_c = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{\tau}{J_m} & -\frac{b}{J_m} & \frac{\tau}{J_m} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{\tau}{J_l} & 0 & -\frac{\tau}{J_l} & 0 \end{pmatrix}, B_c = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{K_\tau}{J_m} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix},$$

$$D_c = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, E_c = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, C_c = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$F_c = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ et } f_c(x(t)) = -\frac{Mgh}{J_l}\sin(\theta_l).$$

$x(t) \in \mathbb{R}^n$ ,  $u(t) \in \mathbb{R}^s$ ,  $y(t) \in \mathbb{R}^p$  et  $v(t) \in \mathbb{R}^r$  désignent, respectivement, les vecteurs d'état, d'entrée, de sortie et de perturbation.

La discrétisation d'Euler du système dynamique (2) donne

$$\begin{cases} x(k+1) = Ax(k) + Bu(k) + Df(x(k)) + Ev(k) \\ y(k) = Cx(k) + Fv(k) \end{cases} \quad (3)$$

où  $A = I_4 + TA_c$ ,  $B = TB_c$ ,  $D = D_c$ ,  $E = TE_c$ ,  $C = C_c$ ,  $F = F_c$ ,  $f(x(k)) = Tf_c(x(t))$  et  $T$  représente la période d'échantillonnage.

La fonction  $f(x(k))$  satisfait la condition suivante :

$$\|f(x_1) - f(x_2)\| \leq \alpha \|x_1 - x_2\| \quad (4)$$

pour tout  $x_1, x_2 \in \mathbb{R}^n$ .

## 3 Synthèse de la loi de commande basée observateur

Pour le système (3), Considérons l'observateur de Luenberger décrit comme suit :

$$\hat{x}(k+1) = A\hat{x}(k) + Bu(k) + Df(\hat{x}(k)) + L(y(k) - C\hat{x}(k)) \quad (5)$$

couplé avec une commande par retour d'état décrite par l'équation suivante :

$$u(k) = K\hat{x}(k) \quad (6)$$

où  $\hat{x}(k)$ ,  $L$  et  $K$  représentent, respectivement, l'estimation de l'état, le gain de l'observateur et le gain du commande.

En appliquant le critère  $\mathcal{H}_\infty$  ( $\|\bar{x}(k)\|_{l_2^n} \leq \mu \|v(k)\|_{l_2^r}$ , pour  $\bar{x}(k) = \begin{pmatrix} x(k) \\ e(k) \end{pmatrix}$  et  $\bar{x}(0) = 0$ ) et en utilisant une fonction de

Lyapunov appropriée ( $V(k) = \bar{x}^T(k)P\bar{x}(k)$  avec  $P = P^T = \begin{pmatrix} P_c & 0 \\ 0 & P_o \end{pmatrix} > 0$ ) [2] ainsi que la condition (3), on trouve le résultat décrit par le théorème suivant.

**Théorème.** Pour un niveau d'atténuation de perturbation  $\lambda > 0$ , le problème de la commande basée sur un filtre  $\mathcal{H}_\infty$  avec fenêtre glissante de mesures correspondant au système (3), l'observateur (5) et la commande (6), est stable au sens de Lyapunov s'il existe  $\mu_1 > 0$ ,  $\mu_2 > 0$ , des matrices  $P_c = P_c^T > 0$ ,  $P_o = P_o^T > 0$ ,  $U$ ,  $R_c$  et  $R_o$  de dimensions appropriées telles que la LMI suivante soit faisable :

min  $\lambda$  en respectant

$$\begin{bmatrix} P_c B = BU \\ I & I - U \\ (\star) & I \end{bmatrix} > 0$$

$$\begin{pmatrix} (1,1) & 0 & (1,3) & 0 & 0 & (1,6) & 0 \\ (\star) & (2,2) & (2,3) & (2,4) & 0 & (2,6) & (2,7) \\ (\star) & (\star) & (3,3) & 0 & (3,5) & 0 & 0 \\ (\star) & (\star) & (\star) & (4,4) & (4,5) & 0 & 0 \\ (\star) & (\star) & (\star) & (\star) & -\lambda^2 I & (5,6) & (5,7) \\ (\star) & (\star) & (\star) & (\star) & (\star) & -P_c & 0 \\ (\star) & (\star) & (\star) & (\star) & (\star) & (\star) & -P_o \end{pmatrix} < 0 \quad (7)$$

$$\text{avec} \begin{cases} (1,1) = -P_c + (1 + \mu_1 \alpha^2)I \\ (1,3) = (P_c A + B R_c)^T D \\ (1,6) = (P_c A + B R_c)^T \\ (2,2) = -P_o + (1 + \mu_2 \alpha^2)I \\ (2,3) = -(B R_c)^T D \\ (2,4) = (P_o A - R_o C)^T D \\ (2,6) = -(B R_c)^T \\ (2,7) = (P_o A - R_o C)^T \\ (3,3) = D^T P_c D - \mu_1 I \\ (3,5) = D^T P_c E \\ (4,4) = D^T P_o D - \mu_2 I \\ (4,5) = D^T (P_o E - R_o F) \\ (5,6) = E^T P_c \\ (5,7) = (P_o E - R_o F)^T \end{cases}$$

Ainsi, le gain de l'observateur est donné par  $L = P_o^{-1}R_o$  et le gain du contrôleur est donné par  $K = U^{-1}R_c$ .  $\square$

## 4 Résultats de simulation

Dans cette section, nous considérons un exemple numérique du robot à bras articulé. Les valeurs physiques utilisées sont les suivantes :

$$J_m = 3.7 \times 10^{-3} \text{kgm}^2, \quad J_l = 9.3 \times 10^{-3} \text{kgm}^2, \quad K_\tau = 8 \times 10^{-2} \text{NmV}^{-1}, \quad h = 1.5 \times 10^{-2} \text{m}, \quad M = 0.21 \text{kg}, \quad b = 4.6 \times 10^{-2} \text{m}, \quad \tau = 0.1814 \text{ et } T = 10^{-2} \text{s}.$$

Notez que  $v(k)$  est une perturbation sinusoïdale.

Après la résolution du LMI (7), les matrices de gains obtenues sont les suivantes :

$$L = \begin{pmatrix} 0.9994 & 0.0060 \\ -0.9733 & 1.1865 \\ -0.6611 & 0.8012 \\ -0.0909 & 0.1194 \end{pmatrix},$$

$$K = \begin{pmatrix} -13.4579 & -3.2462 & 4.4214 & -2.9677 \end{pmatrix}.$$

Les résultats de simulation sont présentés par la figure 3.

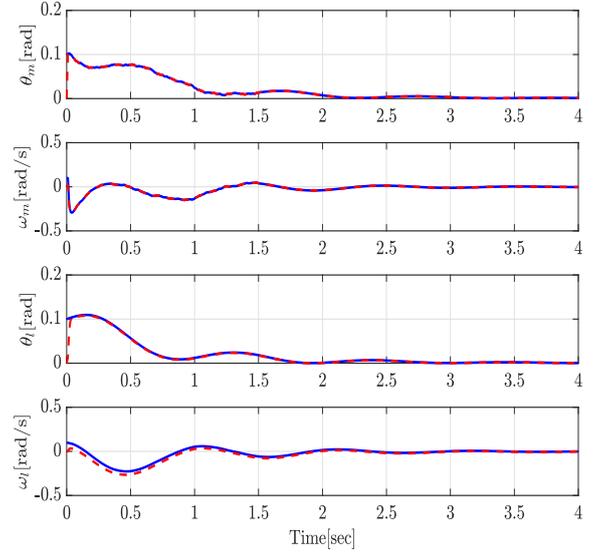


FIGURE 3 – Les trajectoires de l'état réel (ligne bleue) et de l'estimation de l'état (ligne rouge)

D'après la figure 3, les gains  $K$  et  $L$  calculés à partir de (7) assurent la stabilisation des états du robot considéré ainsi que la convergence des états estimés vers les états réels.

## 5 Conclusion

Dans ce papier, une approche de commande  $\mathcal{H}_\infty$  basée observateur a été présentée pour contrôler la vitesse d'un robot à bras articulé. Le critère  $\mathcal{H}_\infty$  a été utilisé pour garantir une atténuation de perturbations affectant le fonctionnement du bras manipulateur. Des conditions suffisantes pour assurer la stabilisation du système ont été établies et écrites sous forme de LMI.

## Références

- [1] M. Spong. Modeling and control of elastic joint robots. *Trans. ASME, J. Dyn. Syst., Meas. Control*, 109 :310–319, 1987.
- [2] G. B. H. Frej, M. Boutayeb, A. Thabet, M. Aoun, and M. Zasadzinski. Decentralized observer-based control for interconnected nonlinear discrete-time systems. In *25th Mediterranean Conference on Control and Automation*, pages 1154–1158, 2017.

# Filtrage avec fenêtre glissante de mesures : application à un robot à bras articulé

---

N. GASMI<sup>1</sup>    M. BOUTAYEB<sup>1</sup>    A. THABET<sup>2</sup>    M. AOUN<sup>2</sup>

noussaiba.gasmi@univ-lorraine.fr

mohamed.boutayeb@univ-lorraine.fr

<sup>1</sup> IUT Henri Poincaré de Longwy, Université de Lorraine, France  
Centre de Recherche en Automatique de Nancy, CRAN-CNRS UMR 7039

<sup>2</sup> École Nationale d'Ingénieurs de Gabès, Université de Gabès, Tunisie  
Laboratoire de Recherche MACS : Modélisation, Analyse et Commande des Systèmes

**THÈMES** – Automatique, Robotique

**RÉSUMÉ** – Cet article traite la conception d'un observateur de type  $\mathcal{H}_\infty$  pour l'estimation d'état d'un robot à bras articulé en présence de perturbations. Les étapes de la modélisation du robot, partant de son dynamique jusqu'à l'obtention du modèle d'état temps discret, sont présentées dans première partie. Une fois la représentation d'état est établie, une nouvelle technique de filtrage  $\mathcal{H}_\infty$  est présentée. L'idée principale consiste à utiliser une fenêtre glissante de mesures antécédentes dans l'observateur de Luenberger afin de garantir une meilleure précision de l'estimation. Ceci permettra d'obtenir une contrainte moins restrictive que celles existantes dans la littérature. Cette contrainte est présentée sous forme de BMI (Bilinear Matrix Inequality), transformée en LMI (Linear Matrix Inequality) par application d'une approche de linéarisation. Ainsi, la contrainte présentée est résoluble en utilisant des logiciels d'optimisation numériques standards (MATLAB-LMI Toolboxes, etc). L'efficacité de la méthodologie proposée est illustrée par des simulations numériques.

**MOTS-CLÉS** – Filtrage  $\mathcal{H}_\infty$ , robot à bras articulé, système non linéaire.

## 1 Introduction

Un robot à bras articulé (figure 1) est un robot avec des axes rotatifs qui a des fonctions similaires à un bras humain. Il est programmable pour effectuer une variété de tâches avec une grande précision. Les bras manipulateurs sont en général mobiles et peuvent être conçus pour divers applications industrielles (soudage, assemblage, etc).



FIGURE 1 – Robot à bras articulé

Pour bien maîtriser ce robot, l'utilisateur nécessite d'en avoir une bonne information. Par contre, les variables directement mesurées ne couvrent généralement pas la totalité des grandeurs susceptibles de décrire le comportement du procédé pour plusieurs raisons (mise en œuvre technique, coût, etc). D'où la nécessité de concevoir un observateur pour estimer les informations non directement mesurée au moyen de celles disponibles. Cette contribution s'intéresse à la conception d'observateur de type  $\mathcal{H}_\infty$  avec fenêtre glissante dans un contexte bruité pour estimer l'état du robot à chaque itération  $k$ .

## 2 Modèle du robot à bras articulé

On considère le modèle du robot à bras articulé étudié dans [1] :

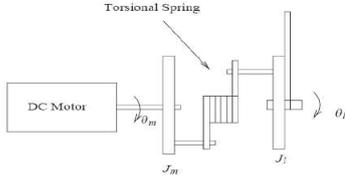


FIGURE 2 – Robot à bras articulé

La dynamique du robot est décrite par les équations suivantes :

$$\begin{cases} \dot{\theta}_m = \omega_m \\ \dot{\omega}_m = \frac{\tau}{J_m}(\theta_l - \theta_m) - \frac{b}{J_m}\omega_m + \frac{K_\tau}{J_m}u \\ \dot{\theta}_l = \omega_l \\ \dot{\omega}_l = -\frac{\tau}{J_l}(\theta_l - \theta_m) - \frac{Mgh}{J_l}\sin(\theta_l) \end{cases} \quad (1)$$

où  $\theta_m$ ,  $\omega_m$ ,  $\theta_l$  et  $\omega_l$  sont respectivement les positions et vitesses du moteur et de la liaison.  $J_m$  et  $J_l$  sont l'inertie du moteur et de la liaison,  $h$  et  $M$  sont la longueur et la masse de la liaison,  $b$  représente le frottement visqueux,  $K_\tau$  correspond au gain d'amplificateur. Les mesures sont la position et la vitesse du moteur. Nous supposons que la première équation de (1) et la mesure de la vitesse du moteur sont affectées par le même bruit  $v(t)$ . En définissant  $x(t) = (\theta_m \ \omega_m \ \theta_l \ \omega_l)$ , le comportement du robot peut être décrit par les équations d'états suivantes :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = A_c x(t) + B_c u(t) + D_c f(x(t)) + E_c v(t) \\ y(t) = C_c x(t) + F_c v(t) \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{avec } A_c = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{\tau}{J_m} & -\frac{b}{J_m} & \frac{\tau}{J_m} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{\tau}{J_l} & 0 & -\frac{\tau}{J_l} & 0 \end{pmatrix}, B_c = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{K_\tau}{J_m} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix},$$

$$D_c = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, E_c = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, C_c = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, F_c = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ et}$$

$$f(x(t)) = -\frac{Mgh}{J_l}\sin(\theta_l) \text{ est une fonction non linéaire Lipschitzienne.}$$

$x(t) \in \mathbb{R}^n$ ,  $u(t) \in \mathbb{R}^s$ ,  $y(t) \in \mathbb{R}^p$  et  $v(t) \in \mathbb{R}^r$  désignent, respectivement, les vecteurs d'état, d'entrée, de sortie et de perturbation.

La discrétisation d'Euler du système dynamique (2) donne

$$\begin{cases} x(k+1) = Ax(k) + Bu(k) + Df(x(k)) + Ev(k) \\ y(k) = Cx(k) + Fv(k) \end{cases} \quad (3)$$

où  $A = I_4 + TA_c$ ,  $B = TB_c$ ,  $D = TD_c$ ,  $E = TE_c$ ,  $C = C_c$ ,  $F = F_c$  et  $T$  représente la période d'échantillonnage.

## 3 Synthèse du filtre avec fenêtre glissante

L'observateur proposé est donné par l'équation suivante :

$$\begin{aligned} \hat{x}(k+1) &= A\hat{x}(k) + Bu(k) + Df(\hat{x}(k)) \\ &+ \mathcal{L} \begin{pmatrix} y(k) - C\hat{x}(k) \\ y(k-1) - C\hat{x}(k-1) \\ \vdots \\ y(k-m+1) - C\hat{x}(k-m+1) \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (4)$$

où  $\hat{x}(k)$ ,  $\mathcal{L}$  et  $m$  représentent, respectivement, l'estimation de l'état, le gain d'observateur et le nombre de mesures.

En notant par  $\xi(k)$  le nouveau vecteur d'état, le système (3) peut être réécrit sous la forme suivante :

$$\xi(k+1) = \mathcal{A}\xi(k) + KBu(k) + KDf(x(k)) + \mathcal{E}\varpi(k) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{avec } \xi(k) &= \begin{pmatrix} x(k) & x(k-1) & \cdots & x(k-m+1) \end{pmatrix}^T, \\ \varpi(k) &= \begin{pmatrix} v(k) & v(k-1) & \cdots & v(k-m+1) \end{pmatrix}^T, \\ K &= \begin{pmatrix} I_n & 0 & \cdots & 0 \end{pmatrix}^T, \end{aligned}$$

$$\mathcal{A} = \begin{pmatrix} A & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ I & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & I & 0 \end{pmatrix}, \mathcal{E} = \begin{pmatrix} E & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Ensuite, l'observateur  $\mathcal{H}_\infty$  donné par (4) est reformulé comme suit :

$$\hat{\xi}(k+1) = \mathcal{A}\hat{\xi}(k) + KBu(k) + KDf(\hat{x}(k)) + K\mathcal{L}C\varepsilon(k) + K\mathcal{L}\mathcal{F}\varpi(k) \quad (6)$$

$$\text{avec } \varepsilon(k) = \xi(k) - \hat{\xi}(k), \mathcal{L} = \begin{pmatrix} L_1 & L_2 & \cdots & L_m \end{pmatrix},$$

$$C = \text{diag} \left( \overbrace{C \ \cdots \ C}^{m \text{ fois}} \right), \quad \mathcal{F} = \text{diag} \left( \overbrace{F \ \cdots \ F}^{m \text{ fois}} \right).$$

Ainsi, en appliquant le critère  $\mathcal{H}_\infty$  ( $\|x(k) - \hat{x}(k)\|_{l_2} \leq \mu \|v(k)\|_{l_2}$ , pour  $x(0) - \hat{x}(0) = 0$ ) et en utilisant une fonction de Lyapunov appropriée ( $V(k) = \varepsilon^T(k)P\varepsilon(k)$  avec  $P = P^T > 0$ ) et le fait que la fonction non linéaire est Lipschitz (lemme 1 de [2]), le résultat trouvé est décrit par le théorème suivant.

**Théorème.** Pour un niveau d'atténuation de perturbation  $\mu > 0$ , le problème de conception d'un observateur  $\mathcal{H}_\infty$  avec fenêtre glissante correspondant au système (3) et l'observateur (4) est stable au sens de Lyapunov s'il existe des matrices  $R_{ij} \in \mathbb{R}^{n_i \times n_i}$  et  $P = P^T > 0 \in \mathbb{R}^{n \times m}$  de dimensions appropriées telles que la BMI suivante est faisable :

$$\min \mu \text{ en respectant } \begin{pmatrix} \Pi & \begin{pmatrix} \chi_1 & \cdots & \chi_n \end{pmatrix} \\ (\star) & -\Psi\mathcal{W} \end{pmatrix} < 0 \quad (7)$$

$$\text{avec } \Pi = \begin{pmatrix} -P + KK^T & 0 & (\mathcal{A} - K\mathcal{L}\mathcal{C})^T P \\ (\star) & -\frac{\mu^2}{m} I_{r \times m} & (\mathcal{E} - K\mathcal{L}\mathcal{F})^T P \\ (\star) & (\star) & -P \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} \chi_i &= \begin{pmatrix} \mathcal{P}_{i1} & \cdots & \mathcal{P}_{in_i} \end{pmatrix} \\ \mathcal{P}_{ij} &= \begin{pmatrix} R_{ij}H_{ij}^T B^T K^T & 0 & D_i K^T P \end{pmatrix}^T \\ \Psi &= \text{block-diag}(\Psi_1, \dots, \Psi_p) \\ \Psi_i &= \text{block-diag}(\Psi_{i1}, \dots, \Psi_{in_i}) \\ \Psi_{ij} &= \text{block-diag}\left(\frac{2}{\Phi_{ij}} I_{n_i}, \dots, \frac{2}{\Phi_{ij}} I_{n_i}\right) \\ \mathcal{W} &= \text{block-diag}(\mathcal{W}_1, \dots, \mathcal{W}_p) \\ \mathcal{W}_i &= \text{block-diag}(R_{i1}, \dots, R_{in_i}) \end{aligned}$$

Soit  $\mathcal{L} = \begin{pmatrix} L_1 & \cdots & L_m \end{pmatrix}$  et  $P$  décrite par cette forme particulière :

$$P = \begin{pmatrix} P_1 & \gamma_1 P_1 & \cdots & \cdots & \gamma_1 P_1 \\ (\star) & P_2 & \gamma_2 P_2 & \cdots & \gamma_2 P_2 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & & & & \gamma_{m-1} P_2 \\ (\star) & \cdots & \cdots & (\star) & P_m \end{pmatrix} \quad (8)$$

avec  $0 < \gamma_i < 1$  pour  $i = 1, \dots, m-1$ . Ainsi, on peut proposer  $m$  changements de variables :

$$Z_1 = L_1^T P_1 \quad \cdots \quad Z_m = L_m^T P_m$$

En utilisant le changement de variables proposé, la BMI (7) peut être transformé en LMI.

Ainsi, le gain d'observateur  $\mathcal{L} = \begin{pmatrix} L_1 & \cdots & L_m \end{pmatrix}$  est donné par :

$$L_1 = P_1^{-1} Z_1^T \quad \cdots \quad L_m = P_m^{-1} Z_m^T \quad \square$$

## 4 Résultats de simulation

Considérons le système d'équations (1). Les valeurs physiques suivantes sont utilisées :  $J_m = 3.7 \times 10^{-3} \text{kgm}^2$ ,  $J_l = 9.3 \times 10^{-3} \text{kgm}^2$ ,  $K_\tau = 8 \times 10^{-2} \text{NmV}^{-1}$ ,  $h = 1.5 \times 10^{-2} \text{m}$ ,  $M = 0.21 \text{kg}$ ,  $b = 4.6 \times 10^{-2} \text{m}$ ,  $\tau = 0.1814$  et  $T = 10^{-2} \text{s}$ .

Notez que  $v(k)$  est une perturbation sinusoïdale.

On considère le cas du filtre  $\mathcal{H}_\infty$  avec une fenêtre de deux mesures. Après la résolution du LMI (7), les matrices de gains obtenues sont les suivantes :

$$L_1 = \begin{pmatrix} 0.9901 & 0.0099 \\ -0.9904 & 1.9683 \\ -0.9639 & 1.9980 \\ 1.8869 & -0.9303 \end{pmatrix}, \quad L_2 = \begin{pmatrix} -0.0003 & 0.0003 \\ 0.0004 & 0.0004 \\ 0.0012 & -0.0012 \\ -0.0005 & 0.0005 \end{pmatrix}$$

Les résultats de simulation sont donnés par les figures 3 et 4.

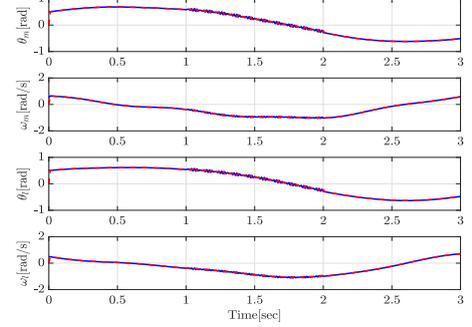


FIGURE 3 – Évolution des états (ligne bleue) et de leurs estimés (ligne rouge) dans un contexte bruyant avec  $v = 0$  pour  $t < 1$  et  $t > 2$

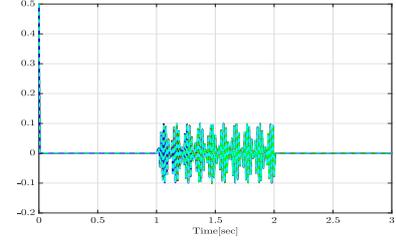


FIGURE 4 – Les erreurs d'estimation dans un contexte bruyant avec  $v = 0$  pour  $t < 1$  et  $t > 2$

D'après les figures 3 et 4, les gains  $L_1$  et  $L_2$  donnés par le filtre avec fenêtre glissante assurent la convergence des états estimés vers les états réels et de l'erreur d'estimation vers zéro.

## 5 Conclusion

Une étude de la conception d'observateur de type  $\mathcal{H}_\infty$  pour l'estimation d'état d'un robot à bras articulé en présence de perturbations a été présentée. Le filtre proposé est basé sur l'ajout d'une fenêtre de mesure glissante à l'observateur classique de Luenberger, ce qui a permis d'établir une contrainte moins restrictive que celles existantes dans la littérature. Les résultats obtenus ont été validés par des simulations numériques sur un modèle d'un bras articulé.

## Références

- [1] M. Spong. Modeling and control of elastic joint robots. *Trans. ASME, J. Dyn. Syst., Meas. Control*, 109 :310–319, 1987.
- [2] A. Zemouche, M. Zerrougui, B. Boukroune, F. Be-douhene, H. Souley-Ali, and M. Zasadzinski.  $\mathcal{H}_\infty$  observer-based stabilization for lipschitz nonlinear systems. In *Proc. European Control Conference (ECC)*, pages 2017–2022, June 2016.

# Pour une Meilleure Estimation de la Qualité Perçue par l'Usager

---

Lamine Amour<sup>1</sup> Sami Souihi<sup>1</sup> Abdelhamid Mellouk<sup>1</sup>

lamine.amour@u-pec.fr sami.souihi@u-pec.fr mellouk@u-pec.fr

<sup>1</sup> IUT Créteil-Vitry, Université Paris Est Créteil,  
Laboratoire Images, Signaux et Systèmes Intelligents (LISSI) - EA 3956

**THÈMES** – *Informatique, Imagerie, Communication.*

**RÉSUMÉ** – *Pour garantir un meilleur service, les acteurs de l'Internet se sont intéressés ces dernières années à une nouvelle idée qui consiste à intégrer le ressenti réel de l'utilisateur dans la boucle de contrôle des différents services proposés. En d'autres termes, il s'agit d'évoluer la gestion du réseau en migrant d'une vue "centrée réseau", où l'on se contentait uniquement des paramètres issus du réseau lui-même, vers une vue "centrée utilisateur" en considérant l'ensemble des facteurs, endogènes ou exogènes, pouvant impacter la perception par l'utilisateur (Qualité de l'Expérience: QdE). L'objectif est celui d'enclencher des actions spécifiques correctrices suite à l'arrivée d'événements imprévisibles ou non souhaités comme une QoS insatisfaisante, un retour d'expérience négatif ou encore des dysfonctionnements des éléments du réseau. Le présent article détaille la première étape de la mise en œuvre d'une telle gestion. Il présente une nouvelle heuristique pour améliorer la construction d'un modèle objectif et non intrusif de prédiction de la QdE des utilisateurs. L'idée maîtresse défendue ici consiste à sélectionner les meilleurs facteurs impactant la QdE en utilisant la corrélation de Pearson et la technique de retour arrière (backjumping). Ces facteurs ainsi sélectionnés optimisent la prédiction de la QdE obtenue en utilisant les méthodes d'apprentissage automatique. Une campagne subjective de tests préliminaires pour le service vidéo nous a permis de vérifier que l'heuristique proposée améliore les performances d'estimation d'au moins 10% avec un taux de corrélation qui dépasse les 90%.*

**MOTS-CLÉS** – *Qualité de l'Expérience, Apprentissage Automatique, Corrélation de Pearson*



## Justification

- $(1-ABS(r(F_{test}, F_{select})))$  représente la l'impact (interaction/répulsion) entre les facteurs.
- $r(ABS(F_{test}, MOS))$  représente l'interaction entre le facteur et le score MOS.

Le principe de notre heuristique consiste alors à utiliser la fonction d'utilité ( $f\_benefit$ ) pour classer tous les facteurs candidats ( $F_{test}$ ) dans une file et les tester, un par un, en étudiant leur impact sur l'amélioration de l'estimation de la QdE usager.

## 4 Évaluation de l'heuristique de sélection des facteurs impactant la QdE

Pour évaluer notre heuristique, nous avons commencé par construire une base de données collectée lors d'une campagne de test [1]. Ensuite, nous avons choisi trois méthode d'apprentissage automatique qui sont : les réseaux de neurones (RNN), les machines à vecteurs de support (SVM) et les forêts d'arbres décisionnels (RF). Cette évaluation est effectuée avec l'outil "R software"<sup>1</sup>. Le processus d'évaluation est présenté comme suit :

1/ Construction la matrice de corrélation avec l'ensemble des paramètres vidéos (Figure (1)).

2/ Initialisation des variables de l'heuristique :

-  $F_{select} = \{f_{FR}\}$  (facteur ayant la grande corrélation avec le MOS initialement),

-  $F_{test} = f_{Resol}$  (facteur avec la meilleure valeur ajoutée),

-  $F_{rest} = \{f_{CT}, f_{MVT}, f_{Resol}, f_{Cach}, f_{Size}, f_{BR}, f_{FL}, f_{AR}, f_{AL}, f_{ABuff}\}$ .

3/ Sélection des facteurs avec l'heuristique de Backjumping en suivant la démarche détaillée dans la Figure (2).

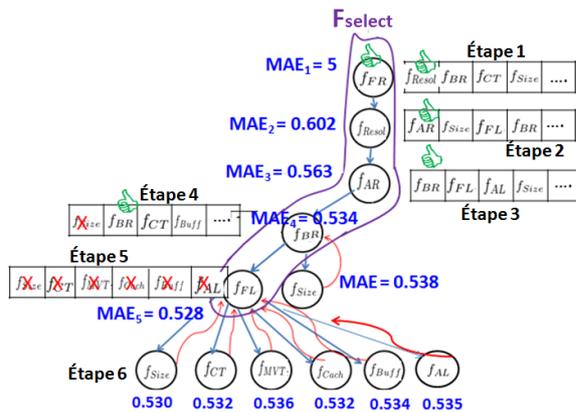


FIGURE 3 – Étapes de sélection des meilleurs facteurs.

La Figure (3) résume l'exécution du processus de sélection des meilleurs facteurs en utilisant la base de données collectée [1], où le MAE représente l'erreur absolue moyenne.

1. <https://www.r-project.org/>

Dans les premières étapes de notre méthode (étapes 1, 2 et 3), à chaque fois, le facteur ayant la plus grande valeur ajoutée ( $f\_benefit$ ) améliore la performance de prédiction. Donc, chaque facteur sera sélectionné et ajouté successivement à  $F_{select}$ . Dans les deux étapes (4) et (5), le premier facteur classifié ne donne plus de bon résultat. C'est pourquoi, en utilisant la technique de backjumping, le facteur suivant est sélectionné. Dans l'étape 6, aucun facteur candidat ne donne un taux d'erreur plus faible que l'étape précédente ( $MAE_5$  qui égale à 0.528 avec la méthode RF qui utilise  $n = 100$  arbres décisionnels).

À la fin du processus de sélection, notre heuristique a sélectionné cinq facteurs ( $f_{Resol}$ ,  $f_{FR}$ ,  $f_{FL}$ ,  $f_{BR}$  et  $f_{AR}$ ) et la meilleure méthode ( $M$ ) résultante est RF avec 100 arbres décisionnels et une MAE égale à 0.528. Pour confirmer les performances de notre heuristique, nous avons réalisé une comparaison en variant le nombre de facteurs en entrée du modèle supervisé (méthode RF avec  $n=100$ ). Dans cette comparaison trois cas de figures sont testés comme indiqué dans le Tableau (1). Les résultats obtenus sont exprimés en terme de MAE et de taux de corrélation ( $r$ ).

Configuration	Nombre	MAE	$r$
Tous les facteurs	11	0.586	0.89
Choix aléatoire	5	0.591	0.87
Proposition	5	0.528	0.90

TABLE 1 – Tableau comparatif de l'impact des facteurs

D'après le Tableau (1), nous déduisons que le modèle de prédiction utilisant nos facteurs sélectionnés est le meilleur en terme de MAE et en terme de taux de corrélation. En effet, notre heuristique (*Proposition*) améliore l'estimation par rapport au modèle utilisant tous les facteurs de 10% et par rapport au modèle utilisant cinq paramètres choisis aléatoirement de 13%. En outre, elle permet d'avoir un taux de corrélation qui dépasse les 90%, ce qui peut être considéré comme un bon résultat d'estimation de la QdE pour le service vidéo.

## 5 Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté une heuristique qui permet d'améliorer la construction des modèles d'apprentissage supervisé d'estimation de la QdE en termes du score subjectif MOS. Cette heuristique combine l'utilisation de la corrélation de Pearson et la technique retour arrière. Les résultats de l'évaluation indiquent qu'une présélection des entrées des modèles d'apprentissage supervisés assurent un gain d'au moins de 10% lors de l'estimation de la QdE pour le service vidéo.

## Références

- [1] Lamine Amour, and Sami Souihi, and Mellouk Abdelhamid, *Dataset video parameters (VLC indicators)*. Access : [\scriptstylehttps://github.com/Lamyne/QoE-Dataset-VLC-Indicators-QoS](https://github.com/Lamyne/QoE-Dataset-VLC-Indicators-QoS)

---

## **La réalité mixte comme support en recherche, pédagogie et transfert de technologie : une expérience au département informatique de l'IUT Lyon 1, site de Bourg en Bresse.**

---

Jean-Philippe Farrugia<sup>1,2</sup>

Bruno Tellez<sup>1,2</sup>

Jean-Philippe.Farrugia@univ-lyon1.fr Bruno.Tellez@univ-lyon1.fr

<sup>1</sup> IUT Lyon 1, département informatique, site de Bourg-en-Bresse, 71 rue Peter Fink, 01000 Bourg-en-Bresse

<sup>2</sup>Université de Lyon, CNRS, Université Lyon 1, LIRIS, UMR5205, F-69622 Lyon

**Thèmes** – *Informatique - Imagerie*

**Résumé** – *Cet article présente la plateforme de réalité mixte du département informatique de l'IUT de Bourg-en-Bresse et les projets récents réalisés sur cette plateforme. L'accent est mis sur la collaboration étroite qui est installée entre recherche, pédagogie et transfert de technologie au sein du département entre les enseignants-chercheurs, les étudiants de DUT et des partenaires locaux souvent dans le domaine patrimonial.*

**Mots-Clés** – *Réalité augmentée, réalité virtuelle, synthèse d'images*

## 1. Introduction et contexte

Au sens le plus général du terme, une application de réalité mixte mélange des éléments virtuels et réels dans un contexte cohérent. Le domaine recouvre à la fois la réalité virtuelle et la réalité augmentée. Il est porteur et en pleine expansion, aussi bien auprès du grand public que dans l'industrie. C'est aussi un champ d'application qui se prête bien aux trois objectifs d'une plateforme matérielle et logicielle à l'IUT :

- Pédagogique, le domaine est attractif pour les étudiants tout en étant scientifiquement et techniquement exigeant.
- Recherche, c'est une technologie multidisciplinaire dans laquelle subsistent de nombreux défis scientifiques.
- Industriel, c'est un domaine sur lequel le transfert de technologie peut être assez rapide.

Afin d'exploiter ces potentialités, le département s'est doté d'une plateforme de réalité mixte constituée des matériels suivants :

- Un PC performant avec un GPU nVidia Geforce 970 et un visio-casque HTC Vive, pour la réalité virtuelle fixe.
- Des smartphones Samsung et un visio-casque GearVR, pour la réalité virtuelle mobile.
- Un casque autonome Microsoft HoloLens, pour la réalité augmentée.

Cet article a pour objet de présenter trois projets réalisés sur cette plateforme, représentatifs des trois objectifs : pédagogie, recherche et transfert de technologie.

## 2. Projets réalisés

### 1.1 Un exemple de transfert de technologie : réalité augmentée au château de Germolles



Figure 1 : visualisation de décors en réalité augmentée à Germolles.

Le Château de Germolles, situé en Bourgogne près de Chalon-sur-Saône, est la mieux conservée des demeures des ducs de Bourgogne. Érigé pendant le siècle de l'amour

courtois, il présente dans certaines pièces des décors muraux imposants, le plus remarquable étant la garde-robe de Marguerite de Bavière et ses décors champêtres. Malheureusement, avec le temps, les transformations et aménagements successifs ont fortement dégradés ces décors et les dorures originellement présentes ont disparu. Les visiteurs du château doivent donc se contenter d'une description orale du guide, qui peine à restituer la magnificence passée. La demande des administrateurs du château était d'examiner la possibilité d'utiliser la réalité augmentée afin de visualiser virtuellement ces dorures et ainsi, assister le discours.

Une application a été développée à cette fin avec le framework Unity [1] et le plugin Kudan[2] sur tablette Apple iPad. Le projet a été mené en collaboration avec l'institut Image de Chalon-sur-Saône, dans le cadre d'un stage de Master. Les contraintes étaient assez fortes : aucun élément intrusif ne devait perturber la visite sur le site. Il était donc impossible d'utiliser une caméra externe ou un marqueur pour localiser l'utilisateur. La solution adoptée fut d'utiliser le décor existant comme une mosaïque « naturelle » de marqueurs. La version virtuelle des décors fut modélisée grâce au logiciel Blender [6], nécessitant de nombreux allers-retours avec les responsables du château pour validation. A l'issue du stage, l'application a été déployée au château et montrée aux visiteurs.

### 1.2 Un exemple de recherche : le musée virtuel personnalisé

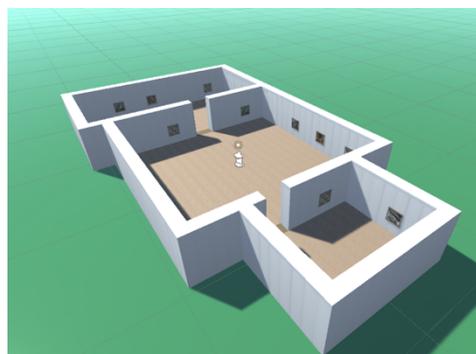


Figure 2 : un musée virtuel généré de manière procédurale.

Un des problèmes de la réalité virtuelle est la disponibilité du contenu multimédia non-informatique : modèles 3D, sons, animations... Il existe certes des bases de données de contenu, mais elles ne sont pas directement adaptées à une visualisation dans un environnement virtuel. L'idée à la base de ce projet est d'utiliser des méthodes de génération procédurales pour créer dynamiquement du contenu 3D à partir de données déjà disponibles sous une autre forme. Nous l'avons appliquée à la génération d'un musée à partir d'une base de données d'œuvres d'art.

L'application réalisée dans le cadre d'un projet tuteuré de

DUT est partagée en deux phases. Premièrement, une requête utilisateur sur la base de données Europeana [3], avec des critères simples. Les résultats obtenus suite à cette requête sont catégorisés selon différents critères (couleur, forme...). Ensuite, la géométrie du musée est générée à partir de ces catégories, en générant une pièce par catégorie. Par exemple, pour une requête sur des illustrations de fruits anciens, l'algorithme va générer une pièce pour les pommes, une autre pour les cerises, et ainsi de suite. Ces différentes pièces sont ensuite raccordées de manière réaliste pour former un bâtiment virtuel architecturalement cohérent. Les pièces sont ensuite remplies avec des tableaux virtuels accrochés aux murs. L'intérêt de cette approche est qu'il est possible de reconstruire un nouveau musée et donc une nouvelle expérience de visite si l'utilisateur choisit de changer de catégories (par exemple, tous les fruits jaunes, rouges, etc.) C'est donc une solution élégante pour consulter du contenu en réalité virtuelle.

### 1.3 Un exemple pédagogique : Extended Brou

Le département informatique de Bourg-en-Bresse a une collaboration de longue date avec le Monastère Royal de Brou. Cette collaboration a déjà fait l'objet de plusieurs réalisations, notamment une visite virtuelle [4], qui constitue la base de nos travaux postérieurs avec les étudiants du département et une formidable carte de visite. En effet, il nous est possible de proposer régulièrement des projets aux étudiants pour qu'ils contribuent à l'amélioration de ce projet. Ainsi, le dernier projet en date avait pour objectif d'enrichir la visite virtuelle pour la rendre plus réaliste : d'abord, en travaillant sur l'habillage extérieur de la maquette virtuelle (végétation, habitations dans le proche environnement) puis à l'intérieur, en ajoutant une foule qui visite le monument. Cette notion de foule a été reprise pour permettre à plusieurs utilisateurs, munis de casque de réalité virtuelle, de se "rencontrer" lors d'une même visite virtuelle.



Figure 3 : décors et environnement pour le projet « Extended Brou ».

### 3. Conclusion et perspectives

Ce choix de la thématique réalité mixte a été très prolifique au département informatique : en termes de projet étudiant, nous sommes passés d'un projet unique en 2015 à quatre projets en 2018, tous en très bonne voie de

finition. Le bilan est globalement très bon, aussi bien du point de vue du transfert de technologie (deux projets sont maintenant installés sur site et utilisés par le grand public) que de la recherche (plusieurs publications sont parues [4], [5] ou à paraître sur ces projets). Le département informatique s'est par ce biais construit une petite expertise dans le domaine de la réalité mixte au sein de l'IUT et de l'université Lyon 1.

Devant le succès rencontré par ces projets, nous envisageons d'aller plus loin dans l'enseignement avec cet outil, éventuellement en créant une option dédiée en fin de cursus pour les étudiants intéressés.

### 4. Remerciements

Les auteurs expriment leur gratitude envers :

- Le département informatique du site de Bourg en Bresse.
- Le conseil général et la CCI de l'Ain.
- Le Monastère Royal de Brou et le Château de Germolles.
- Les étudiants ayant participé à tous ces projets.

### Références

- [1] *Unity 2017.3* [document électronique] <https://unity3d.com/fr/> [date de consultation 9/02/2018].
- [2] *Kudan computer vision* [document électronique]. <https://www.kudan.eu> [date de consultation 9/02/2018]
- [3] *Europeana collections*, [document électronique]. <https://www.europeana.eu/portal/en> [date de consultation 20/03/2018]
- [4] Farrugia, Jean-Philippe et Tellez, Bruno. « *Le Monastère Royal de Brou en 3D : une nouvelle réalité (augmentée)* ». Dans Actes du colloques *Princesses et renaissance(s)*, Editions du Patrimoine (à paraître au moment de la rédaction).
- [5] Degrigny Christian, Farrugia Jean-Philippe, Merienne Frédéric, Pinette Matthieu, *Optimisation virtuelle d'un décor princier de la fin du XIVe siècle au château de Germolles*, Revue In Situ Patrimoines, à paraître.
- [6] *Blender, Open source 3D création* [document électronique] <https://www.blender.org> [date de consultation 9/02/2018].

# Matériaux / Mécanique

---

## Développement d'un matériau isolant à base de mycélium

---

Méryl Lagouin<sup>1</sup>      Camille Magniont<sup>1</sup>      Jean-Emmanuel Aubert<sup>2</sup>

meryl.lagouin@iut-tarbes.fr    camille.magniont@iut-tarbes.fr    aubert@insa-toulouse.fr

<sup>1</sup> IUT de Tarbes, Université de Toulouse, INSAT, UPS, Toulouse  
Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions

<sup>2</sup> Université de Toulouse, INSAT, UPS, Toulouse  
Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions

**Thèmes** – *Biologie - Matériaux*

**Résumé** – *Le secteur de la construction génère des impacts environnementaux majeurs et de nombreux travaux de recherche concernent des matériaux alternatifs à faible coût environnemental. Le présent article détaille le potentiel d'exploitation de matériaux à base de mycélium (partie végétative des champignons) comme isolant dans les bâtiments. Le procédé de fabrication de ces matériaux, associant résidus agricoles (substrat) et mycélium, est simple et basé sur le mode de développement du mycélium : ce dernier digère le substrat pour constituer un matériau liant qui assure la cohésion entre les différentes particules végétales. La structure hautement poreuse de ces matériaux légers leur confère des propriétés de régulation de l'humidité et de la température, permettant d'assurer un confort intérieur et ainsi de minimiser la consommation énergétique des bâtiments. Léger, isolant et résistant, les matériaux employant du mycélium pourraient se substituer aux isolants conventionnels tels que le polystyrène ou les laines minérales.*

**Mots-Clés** – *génie civil, matériau biosourcé, mycélium, isolant thermique.*

## 1 Introduction

Chaque année, l'humanité consomme l'équivalent d'une planète et demie pour subvenir à ses besoins [1]. Pour réduire cette empreinte écologique, le secteur de la construction, responsable de 42% des consommations d'énergie en France et de 25% des émissions de gaz à effet de serre [2], doit prioritairement évoluer pour transformer son activité. Cette problématique a contribué à l'essor de matériaux de construction innovants, répondant à la fois aux exigences environnementales et de durabilité.

Plusieurs travaux de recherche dans le monde s'intéressent au développement de matériaux à partir de mycélium de champignon. La multiplicité des champs d'application de ces matériaux démontre du fort potentiel de cette ressource : réalisation de matériaux d'emballage [3], de cuir [4], dépollution de sols, recyclage de déchets organiques, etc.

Dans ce contexte, les travaux présentés s'intéressent au potentiel d'un bio-éco-matériau de construction réalisé à partir de mycélium.

## 2 Processus de transformation écologique

### 2.1 Rôles et fonctions du mycélium

Le mycélium est constitué d'un ensemble de filaments souterrains, appelés hyphes, plus ou moins ramifiés et entremêlés formant la partie végétative des champignons (Figure 1).



Figure 1 - développement du mycélium (filaments blancs) [5]

Ces hyphes pénètrent dans le milieu de culture (substrat) par pression physique et sécrétion enzymatique. Ils sont ainsi capables de briser les liaisons des bio-polymères du substrat pour en faire des nutriments facilement absorbables et transportables comme les sucres [6-8]. La fonction du mycélium est donc double :

- sécrétion : il sécrète des enzymes suffisamment puissantes pour décomposer les matières organiques les plus résistantes telles que le bois ;
- absorption : le mycélium absorbe ensuite les éléments carbonés nécessaires à la survie de ses cellules.

La croissance du mycélium est due à sa relation symbiotique avec le substrat : il le digère pour constituer un matériau liant qui assure la cohésion entre les différentes particules du substrat.

Le mycélium est constamment en mouvement ; il peut s'allonger de plusieurs centimètres par jour. Ce processus lui permet de tisser un réseau vivant dans son environnement de culture afin d'atteindre de nouveaux nutriments.

### 2.2 Procédé de fabrication

Le procédé de fabrication de briques de mycélium est simple et se résume en trois grandes étapes [3] :

- le mycélium de champignon est mélangé à un substrat, jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène puis est placé dans un moule pour former une brique. Généralement, le substrat est un mélange de résidus agricoles tels que des copeaux de bois, des pailles ou des céréales ;
- le mélange est ensuite placé dans un environnement où l'humidité et la température sont contrôlées. Cette phase d'incubation de quelques jours, permet au mycélium de se ramifier, de fusionner avec la biomasse du substrat jusqu'à prendre la forme du moule initial ;
- enfin, pour stopper la croissance de l'organisme, la brique est cuite.

Après démoulage, une brique poreuse mais suffisamment solide pour être manipulée et mise en œuvre est ainsi obtenue.



Figure 2 - brique de mycélium

## 3 Propriétés des matériaux à base de mycélium

### 3.1 Qualité environnementale

L'intérêt environnemental du mycélium est multiple : il ne consomme aucune énergie fossile, lors de son développement il n'émet pas de dioxyde de carbone et il ne produit aucun déchet en fin de vie (biodégradable). Du fait de leur disponibilité locale, les distances de transport du mycélium de champignon et des résidus agricoles du substrat sont courtes. Le coût environnemental lié au transport des matières premières est donc minimisé.

De plus, contrairement à la valorisation de certaines agrossources dans le domaine de la construction, cette utilisation du mycélium est sans aucune concurrence directe avec le secteur alimentaire. Elle repose simplement sur l'utilisation d'un matériau naturel vivant et renouvelable pour produire des matériaux d'isolation sains et écologiques.

### 3.2 Propriétés d'usage

Les briques obtenues par ce procédé de fabrication sont légères et hautement poreuses : leur masse volumique est

de l'ordre de 150-200 kg/m<sup>3</sup> [3,5,9,10,13] pour une porosité s'élevant à 55-66% [10].

Le pouvoir isolant des matériaux à base de mycélium est mis en avant par plusieurs études [3,9,12] avec des conductivités thermiques attendues inférieures à 0,1 W/(m.K). Le réseau poreux important de ces briques et leur affinité avec l'eau confèrent aux matériaux la capacité de réguler passivement l'humidité de l'air intérieur [3,11].

D'un point de vue mécanique, les briques de mycélium sont suffisamment résistantes [9,11-13] pour permettre une application comme isolant dans un bâtiment.

Enfin, quelques études mentionnent le caractère ininflammable de ces briques [3,4].

### 3.3 Plan d'expériences

Les essais en cours visent à optimiser le processus de fabrication des briques en mycélium (Figure 3) en étudiant l'impact :

- de la nature du substrat, et notamment des quantités d'azote et de carbone contenues dans la matière organique ;
- des conditions d'ambiances imposées (humidité relative et température) lors des étapes de colonisation et de désactivation ;
- de la durée de chaque étape.

Les briques seront caractérisées du point de vue de leur densité, de leur conductivité thermique et de leurs performances mécaniques.

## 4 Conclusions

Les premières études présentées ont permis d'évaluer le potentiel des matériaux à base de mycélium comme isolant dans les bâtiments. Les résultats des caractérisations physiques, thermohydriques et mécaniques sont très prometteurs. Les briques de mycélium possèdent des propriétés semblables aux isolants conventionnels et pourraient donc s'y substituer. Ces matériaux à faible impact environnemental ont notamment un comportement hygrothermique (inertie hydrique et pouvoir d'isolation thermique) qui permet d'améliorer le confort des habitats. Cette étude

préliminaire s'inscrit dans un travail plus large qui vise à développer un complexe constructif isolant en mycélium de pleurote (*Pleurotus ostreatus*) et terre crue.

## 5 Références

- [1] WWF, *Living Planet Report 2016: Risk and resilience in a new area*, 2016
- [2] Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, *Bilan énergétique de la France pour 2015*, 2015
- [3] Ecovative
- [4] Mycoworks
- [5] J. Zeng, S. Thamwiset, W. Phiriyaphongsak, X. Guo, W. Rooney, M. Rooney, Y. Obuchi, R. Stuart-Smith, *mycoFARMX*, 2011
- [6] David Garon, Jean-Christophe Gueguen, Jean-Philippe Rioult, *Biodiversité et évolution du monde fongique*, Edp Sciences, Collection Les cahiers de la biodiversité, 2015
- [7] Philippe Bouchet, Jean-Louis Guignard, Yves-François Phouchus, *Les champignons. Mycologie fondamentale et appliquée*, Villard, Collection Abrégés de Pharmacie, 2005
- [8] Jim W. Deacon, *Modern Mycology*, Blackwell Science, 1997, 303 pages
- [9] G.A. Holt, G. McIntyre, D. Flagg, E. Bayer, J.D. Wanjura, M.G. Pelletier, *Fungal Mycelium and Cotton Plant Materials in the Manufacture of Biodegradable Molded Packaging Material: Evaluation Study of Select Blends of Cotton Byproducts*, Journal of Biobased Materials and Bioenergy 6, 2012, p. 431-439
- [10] Y.H. Arifin, Y. Yusuf, *Mycelium Fibers as New Resource for Environmental Sustainability*, Procedia Engineering 53, 2013, p. 504-508
- [11] M. Haneef, L. Ceserassiu, C. Canale, I.S. Bayer, J.A. Herdia-Guerrero, A. Athanassiou, *Advanced Matrials From Fungal Mycelium: Fabrication and Tuning of Physical Properties*, Scientific Reports 7, 2017
- [12] Z. Yang, F. Zhang, B. Still, M. White, P. Amstislavski, *Physical and Mechanical Properties of Fungal Mycelium-Based Biofoam*, Journal of Materials in Civil Engineering, 2017
- [13] S. Travaglini, J. Noble, P.G. Ross, C.K.H Dharan, *Mycology matrix composites*, Proceedings of the 28<sup>th</sup> Annual Technical Conf. of the American Society for Composites, Lancaster, PA, 2013, p. 517-535

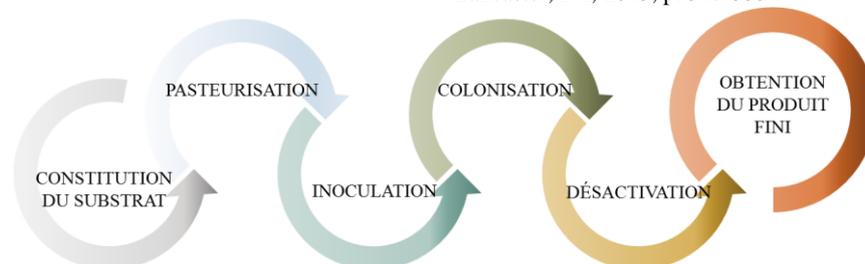


Figure 3 - Etapes du processus de fabrication d'une brique en mycélium

---

# **Échographie ultrasonore des matériaux pour la caractérisation non destructive des structures**

---

**Jean-François Chaix**

jean-francois.chaix@univ-amu.fr

<sup>1</sup> IUT, Aix-Marseille Université  
LMA Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, UMR 7031

**Thèmes – Matériaux, Mécanique**

Contactez les auteurs pour plus d'information.

## 1 Introduction

Votre article doit comporter trois pages, dont :

- une page de préambule comportant obligatoirement le titre de votre communication, les auteurs, et leurs affiliations, suivies des champs **Thèmes**, **Résumé**, et **Mots-clés** ;
- le détail de votre contribution sur deux pages en double colonne, incluant la bibliographie.

Nous encourageons vivement l'usage de LaTeX, facilitant une mise en forme cohérente et homogène, à partir de la classe *cnriut.cls* et du code source du présent article *cnriut.tex*, mis à disposition. L'usage d'un traitement de texte de la famille *Word* (*LibreOffice*, *OpenOffice*...) est possible aussi, et doit s'inspirer du canevas correspondant. L'ensemble de ces fichiers (classe et fichier exemple LaTeX, canevas au format *Word*) sont accessibles sur le site de la conférence.

## 2 La page de préambule

La page de préambule contient le titre de votre communication, suivi des prénoms et noms de chaque auteur, de leurs adresses courriel respectives, de leurs affiliations, et enfin des champs **Thèmes**, **Résumé**, et **Mots-clés**. Les utilisateurs LaTeX disposent pour cela des commandes prédéfinies `\titre{}`, `\auteurs{}`, `\courriels{}`, `\affiliations{}`, `\themes{}`, `\resume{}`, et `\motscles{}` de la classe *cnriut* (suite de commandes à placer avant `\begin{document}`). Concernant l'affiliation, elle doit impérativement être pour chaque auteur d'une à deux lignes, sous la forme : IUT, Université de rattachement, (un des auteurs au moins étant *a priori* affilié à un IUT), suivie du laboratoire ou de la structure de recherche associée (cf. la page de préambule précédente du présent exemple). Le champ **Thèmes** permet de préciser les thèmes associés à votre communication, séparés par des tirets, et à choisir dans la liste proposée. Le champ **Résumé** ne doit pas dépasser dix lignes. Enfin, le champ **Mots-clés** doit se présenter sous la forme d'une liste d'au maximum quatre mots-clés, séparés par des virgules.

## 3 Le corps de l'article

Le corps de l'article proprement dit est rédigé sur deux colonnes de 230 mm de haut et 83 mm de large, séparées par un espace de 5 mm. La marge en haut est de 35 mm, et la marge en bas de 30 mm. Le texte est écrit avec la police « roman », en taille 10 points. Les pages ayant un numéro impair doivent avoir une marge à gauche de 23 mm, et une marge à droite de 16 mm. Les pages ayant un numéro pair doivent avoir une marge à gauche de 16 mm et une marge à droite de 23 mm. Le texte de votre communication peut être divisé en plusieurs paragraphes, sans excéder deux niveaux hiérarchiques (autrement dit,

section et sous-section, correspondant aux commandes `\section{}` et `\subsection{}` en LaTeX). Le présent paragraphe est un exemple de section ; un exemple de sous-section est :

### 3.1 Inclusion de figures

Les figures et tableaux doivent être centrés et légendés. Les équations seront centrées, éventuellement numérotées, et une ligne pourra être laissée libre avant et après chaque équation. En LaTeX, les environnements *figure*, *table* et *displaymath* sont disponibles à cette fin.

Exemple de figure

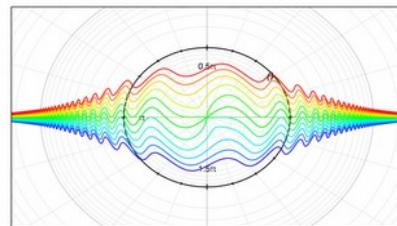


Figure 1 – titre de la figure

Exemple de table

Table 1 – titre de la table

	Titre Colonne	Titre Colonne 2	...	...
1				
	Donnée 1			
	Donnée 2			

Exemple d'équation

$$y = f(x) + \sum_{k=1}^{\infty} h_k \cdot \sin(k \omega t)$$

## 4 Soumettre votre communication

Votre communication est à soumettre sur le site de la conférence, à partir du lien *Soumission en ligne des communications*. Le fichier soumis sera préalablement converti au format PDF avec les polices incorporées et ne devra pas excéder la taille maximale de 3.5 Mo.

## 5 Conclusions

Les articles et autres documents que vous souhaitez citer doivent être référencés à la fin de votre article dans une section intitulée **Références** (cf. ci-dessous). Ces références seront citées dans votre article en plaçant les numéros correspondants entre crochets, et apparaîtront

dans la bibliographie dans l'ordre de leur apparition dans le texte, par exemple Prane [1], Seltzer [2]. Les utilisateurs LaTeX disposent des possibilités usuelles de ce traitement de texte pour générer leurs références : soit à partir d'un fichier bibliographique indépendant au format BibTeX et de la commande associée `\bibliography{}`, soit à partir de références directement contenues dans l'article au sein de l'environnement `thebibliography`.

La section **Remerciements**, si elle est présente, est à placer après vos **Conclusions** et avant les **Références** bibliographiques, comme ci-dessous.

## 6 Remerciements

Les auteurs expriment leur gratitude à P. Arac et A. Mol pour leur aide et leur introduction aux références [1] et [2].

## Références

[1] Dolly Prane, *Avoiding (Strong) Headaches When Mapping Word Templates with LaTeX Documents*, Advances In Editing, Proceedings of the 1st Int. Conf., Tristan Da Cunha, Feb 30 – 31, 2017, p. 1 – 11

[2] Alka Seltzer, *De l'effet Ralgan sur l'esthétique des publications scientifiques*, Traité du Zen et de la Réparation des Textes, ouvrage collectif, I. Bup, R. Ofène (Eds.), Editions Jade Galé, 2016

---

# Traitement laser de surface de couches de carbone amorphe obtenues par ablation laser pulsée pour applications optoélectroniques et photovoltaïques

---

François STOCK<sup>1-2</sup>  
[fstock@unistra.fr](mailto:fstock@unistra.fr)

Frédéric ANTONI<sup>2</sup>

François LE NORMAND<sup>2</sup>

Dominique MULLER<sup>2</sup>

Laura DIEBOLD<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IUT de Haguenau - Université de Strasbourg  
30 rue du Maire André Traband - 67500 Haguenau

<sup>2</sup>Laboratoire ICube (CNRS – Université de Strasbourg)  
23 rue du Loess 67037 STRASBOURG, UMR 7357

**Thèmes** – *Énergie - Environnement - Électronique - Matériaux*

**Résumé** – *L'un des grands défis que les technologies d'affichage (LCD, OLeds...), dispositifs optoélectroniques et photovoltaïques devront affronter dans le futur est de trouver une alternative à l'utilisation d'oxydes conducteurs transparents tel l'oxyde d'indium-étain (ITO). Le graphène, un matériau 2D conducteur et transparent à base de carbone, apparaît comme une excellente alternative à l'ITO. Cependant, le transfert de celui-ci sur de grandes surfaces est complexe et délicat à mettre en œuvre. Dans cette étude, un substrat constitué de carbone adamantin (DLC, Diamond-like carbon) est déposé par ablation laser pulsée (PLD). Le DLC présente une bonne transmission dans le domaine visible et constitue un parfait isolant électrique. Il est cependant opaque dans le domaine UV. Le traitement de la surface du DLC par laser UV permet la modification des liaisons atomiques des premières couches du substrat, permettant ainsi la synthèse de graphène en surface. Cette technique novatrice basée sur des procédés laser réalisés offre en outre, l'avantage d'une compatibilité totale avec les étapes technologiques de la microélectronique classique.*

**Mots-Clés** – *Ablation laser pulsée – Carbone – Traitement laser – Électrodes transparentes.*

## 1 Introduction

La recherche d'une alternative à l'indium utilisé dans les oxydes conducteurs transparents (ITO) est un des défis technologiques des prochaines années. Le Diamond-Like Carbon (DLC), une forme de carbone adamantin composée d'un mélange d'hybridations  $sp^2$  (graphitique) et  $sp^3$  (diamant) se présente comme une excellente alternative comme substrat transparent. Largement étudié dans la littérature [1-4], le DLC est un matériau amorphe dont les propriétés approchent celle du diamant en termes de transparence, mais également en tant qu'isolant électrique [4]. Il est donc tout indiqué pour les applications photovoltaïques et optoélectroniques. Le DLC peut être obtenu par ablation laser pulsée (PLD) [5], une technique de dépôt de couches minces offrant de très vastes possibilités grâce à un large panel de paramètres ajustables lors de la croissance.

Une modification structurale de la surface d'une couche de DLC permet alors de graphéniser la surface à l'aide d'un traitement laser. Cette modification de la structure de surface de la couche permet de rendre celle-ci conductrice. La structure formée serait alors comparable à une électrode transparente placée sur un substrat isolant.

## 2 Experimental

### 2.1 Croissance des couches de DLC

La PLD est une technique de dépôt de couches dans laquelle des espèces ablatées d'une cible par un tir laser de forte puissance sont collectées sur un substrat. En ablatant une cible de carbone, un plasma contenant des ensembles atomiques carbonés est formé. Collectés sur le substrat on obtient de DLC dont les propriétés vont dépendre du plasma et donc des conditions de dépôts [6-7].

Dans notre dispositif expérimental, un laser excimère permet d'irradier la cible placée dans une enceinte sous vide (environ  $10^{-8}$  mbar). La distance entre le substrat et la cible est fixée à 5 cm. L'étude réalisée conjugue deux longueurs d'onde liées au mélange gazeux présent dans le laser (248 nm pour un mélange KrF, 193 nm pour un mélange ArF). Le faisceau laser est focalisé sur la cible et les énergies surfaciques atteintes vont de 2.5 à 15 J/cm<sup>2</sup> [7 J/cm<sup>2</sup> en ArF]. L'épaisseur des couches déposées est directement contrôlée par la durée de croissance.

Plusieurs dépôts sont réalisés afin de caractériser les DLC en fonction de la longueur d'onde utilisée ainsi que différentes énergies surfaciques utilisées.

### 2.2 Traitement laser des surfaces

Les couches de DLC obtenues par PLD sont ensuite traitées par laser excimère. Le DLC est opaque dans le domaine ultra-violet, ainsi l'utilisation d'un laser à 248 nm permet d'apporter de l'énergie à la surface du DLC. Celle-ci va permettre aux atomes présents dans les

premières couches du DLC. L'objectif est d'obtenir un enrichissement en surface du taux de liaison  $sp^2$  (graphitique) synonyme de forte conductivité.

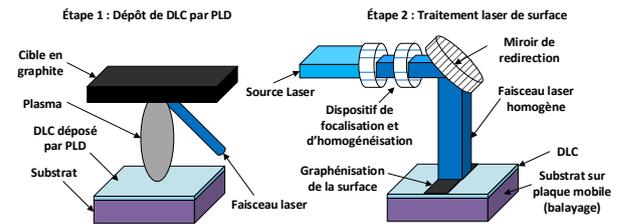


Figure 1 – Représentation schématique du processus d'élaboration des couches

Dans la première partie de cette étude, on se focalise sur la détermination des conditions expérimentales permettant d'obtenir des couches offrant de très bonnes performances. Il est en effet possible d'étudier les modifications de couches en fonction de l'énergie (de 0.1 à 0.4 J/cm<sup>2</sup>) du faisceau et du nombre de tirs effectués sur la surface. Sous air les tirs laser successives provoquent la détérioration de la surface par réaction entre le carbone et l'oxygène présent dans l'air et de nombreux défauts graphitiques (non transparents) se forme. Pour réduire ce phénomène, le traitement est réalisé dans une ambiance d'argon.

## 3 Caractérisation

### 3.1 Couches de DLC non traités

Afin de quantifier les modifications apportées par les post-traitements laser, il est nécessaire de caractériser préalablement le DLC en fonction des paramètres de dépôt. La densité des couches est déterminée à l'aide de l'analyse des réactions nucléaires (NRA) et les analyses de spectroscopie à rayon X (XPS) permettent de déterminer précisément le taux de liaisons  $sp^2$  et  $sp^3$  par déconvolution du pic C1s du carbone [8-9]. Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 2.

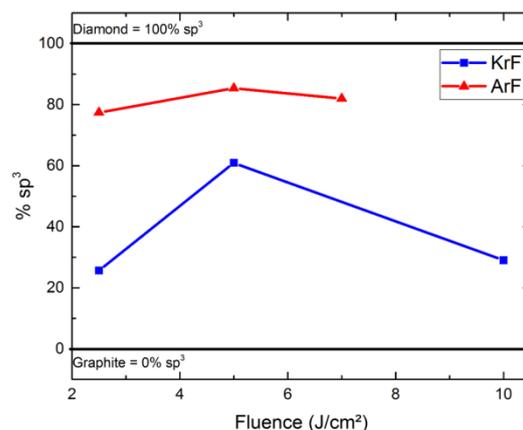


Figure 2 – Évolution des liaisons  $sp^3$  en fonction de la longueur d'onde et de l'énergie lors du dépôt

On observe un taux de liaison  $sp^3$  très élevé (plus de 80%) pour les DLC obtenus en ArF. Pour les couches déposées en KrF, ce taux est plus réduit. Dans les deux cas, on constate que pour une énergie surfacique de 5 J/cm<sup>2</sup> l'obtention d'un taux de  $sp^3$  plus important. Les résultats de densité (non présentés ici) sont en parfaite corrélation avec la figure 2. En effet, on obtient en ArF des densités très élevées (proche de celle de diamant) alors que pour les dépôts KrF la densité s'approche de celle du carbone amorphe.

### 3.2 Couches traitées en surface

Les échantillons de 5 x 5 mm de DLC (KrF – 5 J/cm<sup>2</sup> - 20 nm) traités par laser sont caractérisés par spectroscopie XPS et Raman. La spectroscopie Raman montre la présence d'îlots graphitiques en surface lorsque les traitements sont réalisés à haute énergie (supérieur à 0.3 J/cm<sup>2</sup>) avec grand nombre de tirs. Les spectres obtenus comportent un pic D (défaut) et un pic G (graphite) clairement dissociés ainsi qu'un pic 2D peu intense suggérant la présence de graphène multicouche. Ces îlots sont cependant indésirables car ils ne sont pas transparents. Les couches traitées à plus faible énergie (0,1 et 0,2 J/cm<sup>2</sup>) ne présentent pas de modifications à la spectroscopie Raman, ni d'îlots graphitiques. Les analyses par XPS permettent cependant de quantifier les changements structurels à la surface du DLC. Le table 1 présente un résumé de ces résultats.

Liaisons atomiques	Non traité	0,1 J/cm <sup>2</sup> 10000 tirs	0,2 J/cm <sup>2</sup> 10000 tirs
$sp^2$	39,1 %	45,3 %	54,3%
$sp^3$	60,9 %	39,7 %	29.9 %
Somme oxygène	négligé	14.7 %	12,0 %

Table 1 – Taux de liaison  $sp^2$  et  $sp^3$  en fonction des traitements de surface

On observe pour ces deux traitements de surface, une augmentation du taux de liaisons  $sp^2$  en surface de la couche de DLC. Cet enrichissement suggère donc que le traitement à modifier la surface la rapprochant d'une structure conductrice. Il est à noter qu'avec un traitement laser à plus haute énergie cette augmentation est plus marquée. On observe également une réduction des liaisons atomiques avec l'oxygène en surface lors des traitements à plus haute énergie. En effet, la présence d'oxygène à la surface des couches traitées est liée à de l'oxygène résiduel lors du traitement sous Argon.

Néanmoins, les mesures XPS sont limitées par le fait qu'il s'agisse d'une technique intégrant les spectres sur un volume assez important. Les échantillons de surface de 5 x 5 mm<sup>2</sup> sont donc de dimensions trop faibles pour

garantir une bonne mesure à l'XPS. Il faut alors mettre en œuvre des traitements laser sur des zones plus importantes. Ces échantillons pourront également permettre les mesures de conductivité électrique de surface.

## 4 Conclusion

Les résultats obtenus sur les zones de DLC traitées montrent bien que le procédé d'élaboration de couches transparentes de DLC suivi du post-traitement par laser UV de celle-ci permet de développer une alternative aux oxydes conducteurs transparents. On observe en effet un accroissement du taux de liaisons  $sp^2$  présentes à la surface de la zone traitée en fonction de l'énergie déposée par laser.

Des essais de balayage laser lors de traitement de surface sont en cours afin d'obtenir des zones traitées plus importantes permettant ainsi de meilleures caractérisations structurelles et optoélectroniques. Des traitements seront également réalisés sur d'autres DLC et notamment des couches produites par laser ArF pour étudier l'influence des propriétés initiales du substrat. Les études à venir porteront également sur l'optimisation des paramètres expérimentaux afin d'obtenir des couches uniformes au performances optimales.

## Références

- [1] "Touch Display Research", ITO-Replacement—Non-ITO Transparent Conductor Technologies, Supply Chain, and Market Forecast Report, May 2013.
- [2] J. Robertson, Materials Science and Engineering R37, 0927-796X/02/\$ 129-281 (2002).
- [3] H. O. Pierson, Handbook of carbon, graphite; diamond and fullerenes, ISBN 0-8155-1339-9.
- [4] K. Lee, H. Ki, Acta Materialia 111, 315-320 (2016).
- [5] A. A. Voevodin, M. S. Donley, Surface and Coatings Technologies 82, 119-213 (1996).
- [6] P. T. Muray and D. T. Peeler, Applied Surface Science 69, 225-230 (1993).
- [7] J. Gaumet, A. Wakisaka, Y. Shimizo and Y. Tamori, J. Chem. Soc. Faraday Trans. 89, 1667-1670 (1993).
- [8] H. Y. dai and all, Applied Surface Science 258, 5462-5466 (2012).
- [9] F. Stock, F. Antoni, F. Le Normand, D. Muller, M. Abdesselam, N. Boubiche and I. Komissarov, High performance Diamond-Like Carbon layers obtained by Pulsed Laser Deposition for conductive electrode applications, Appl. Phys. A (2017) 123.

## Ondes de choc en acoustique non linéaire dans l'air: méthodes de mesure optiques et applications

---

Sébastien Ollivier<sup>1</sup> Pierre Lecomte<sup>2</sup> Maria Karzova<sup>2,3</sup> Thomas Lechat<sup>4</sup>  
sebastien.ollivier@univ-lyon1.fr

<sup>1</sup> IUT Lyon 1, Université Lyon 1  
Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique, UMR 5509

<sup>2</sup> Centre Lyonnais d'Acoustique, Université de Lyon

<sup>3</sup> Department of Physics, Moscow State University, Moscow, 119991 Russia

<sup>4</sup> Ecole Centrale de Lyon  
Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique, UMR 5509

**THÈMES** – *Acoustique - Métrologie*

Contactez les auteurs pour plus d'information.

**MOTS-CLÉS** – *Acoustique, Métrologie, Ondes de choc, Optique*



## 1 Introduction

Ce travail s'inscrit dans le cadre général de la réduction des consommations énergétiques des bâtiments. En France, le secteur du bâtiment reste le plus énergivore : plus de 40% en 2012 [1]. Dans des pays où la croissance démographique est importante et l'amélioration du confort des bâtiments est nécessaire, les consommations de ce secteur sont en forte augmentation (par exemple pour la Tunisie : 22% en 2010 et une prévision de 35% en 2030[2]). La limitation des déperditions énergétiques de l'enveloppe des bâtiments passe par une augmentation de la quantité de matériaux isolants. Les isolants les plus utilisés actuellement peuvent être classés en plusieurs catégories [3] :

- Les isolants synthétiques sous forme de mousses expansées ou extrudées (polystyrène, polyuréthane) ;
- Les isolants fibreux d'origine minérale : laine de verre, laine de roche.
- Les isolants fibreux d'origine végétale : laine de chanvre-lin, ouate de cellulose...

Ces isolants sont utilisés en « isolation rapportée », c'est-à-dire qu'ils sont fixés sur une structure porteuse assurant la tenue mécanique du bâtiment. Leur rôle est uniquement de limiter le passage de la chaleur à travers la paroi. Afin de limiter l'impact environnemental lié à la fabrication de ces isolants, il est important de mettre au point de nouveaux matériaux d'isolation obtenus à partir de ressources renouvelables. La laine de coton est par exemple obtenue à partir du recyclage de textiles. Différentes ressources renouvelables ont été étudiées ces dernières années, par exemple le bois de palmier dattier [4]. Dans cette étude, nous souhaitons déterminer si les fibres de *Posidonia Oceanica*, qui est une plante d'origine marine très abondante en Méditerranée, pourraient être utilisées comme matériau d'isolation.

## 2 Préparation des échantillons

### 2.1 Obtention des fibres « brutes » (non traitées)

Les fibres brutes de *Posidonia Oceanica* se présentent sous la forme de « balles » qui peuvent être directement ramassées sur les plages du littoral (Cf. Figure 1-a). Actuellement, elles sont considérées comme des déchets et non valorisées. Ces balles sont constituées de fibres naturellement compactées. Cette forme n'est pas intéressante pour l'application visée car le matériau dans cet état est trop dense. Les fibres brutes ont été ramassées à Monastir (Tunisie). Une extraction mécanique permet d'isoler les fibres les unes des autres (Cf Figure 1-b). Ces fibres sont ensuite lavées et conservées à 20°C et 60% d'humidité relative. Les fibres ainsi obtenues serviront de référence (fibres non traitées : NT pour la nomenclature).



Figure 1 – fibres de *Posidonia Oceanica*

### 2.2 Traitement des fibres

L'utilisation de traitements chimiques des fibres permet dans la plupart des cas d'améliorer leurs propriétés isolantes et également de faciliter leur mise en œuvre, soit pour une mise en forme sous forme de laine soit pour un mélange avec des matériaux de construction (gypse, matrices cimentaires...). Le traitement le plus courant, issu de procédés de l'industrie textile est la mercerisation. Ce traitement consiste à immerger les fibres dans des solutions de soude (NaOH) à différentes concentrations, températures ou durées variables. Dans le cas présent, trois traitements (T1, T2, T3) ont été utilisés :

- T1 : solution NaOH 2% pendant 2h à 80°C ;
- T2 : solution NaOH 0.75% pendant 1h à 100°C ;
- T3 : Traitement T1 répété deux fois.

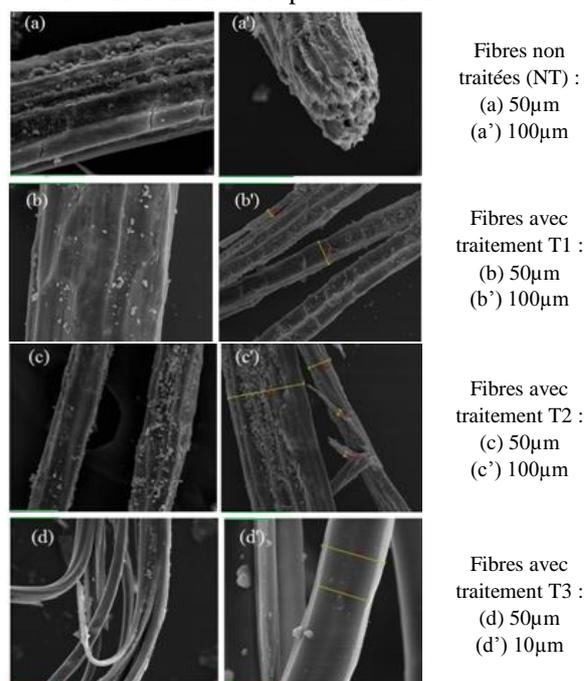


Figure 2 – Observations par microscopie électronique à balayage des fibres de *Posidonia Oceanica*

### 2.3 Effets du traitement sur la structure des fibres

L'effet du traitement chimique sur la structure des fibres a été étudié par microscopie électronique à balayage. Quelques images sont présentées sur la figure 2. L'aspect des fibres non traitées est classique pour des fibres ligno-cellulosiques. Chaque fibre (diamètre moyen de 80 µm) est constituée d'un assemblage de fibrilles liées par de

l'hémicellulose. Ces fibres sont creuses et ont une surface rugueuse due notamment à la présence de lignine, de pectine et de cire. Ces éléments sont éliminés lors des traitements chimiques (en particulier pour le T3). Par ailleurs, ces traitements ont pour effet de séparer les fibres en fibrilles individuelles de taille comprise entre 10 et 15  $\mu\text{m}$ . Le traitement T3 est celui qui conduit à la fibrillation la plus importante.

### 3 Caractérisation thermique

#### 3.1 Méthode de caractérisation utilisée

Les fibres de *Posidonia Oceanica* ont été caractérisées thermiquement à l'aide d'un appareil Hot-Disk TPS 2500. Cet appareil réalise une mesure en régime transitoire [5]. Une sonde chauffante, placée à l'intérieur des fibres à caractériser, est alimentée par une puissance constante (10mW pendant 10s dans le cas présent). La sonde sert également de capteur puisque la variation de résistance électrique de la sonde permet de déterminer sa température pendant son échauffement (variation d'environ 5°C). Le calage d'un modèle thermique sur les données expérimentales permet d'identifier la conductivité  $k$  et la diffusivité thermique  $a$  de l'échantillon [5]. Des essais de répétabilité ont permis de déterminer que la dispersion sur les valeurs de  $k$  et  $a$  étaient respectivement de 4% et de 9%.

#### 3.2 Influence de la masse volumique

Pour les isolants fibreux, la variation de la conductivité thermique  $k$  en fonction de la masse volumique  $\rho$  suit une loi générale [6] :

$$k = a + b\rho + \frac{c}{\rho} \quad (1)$$

Les constantes  $a$ ,  $b$  et  $c$  traduisent respectivement la conduction dans la phase gazeuse, dans la phase solide et les transferts par rayonnement. Un exemple de comparaison des valeurs mesurées de  $k$  en fonction de la masse volumique des fibres au modèle de l'équation (1) est présenté sur la figure 3. La masse volumique optimale, c'est-à-dire celle qui permet d'obtenir la conductivité thermique la plus faible est de 21  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

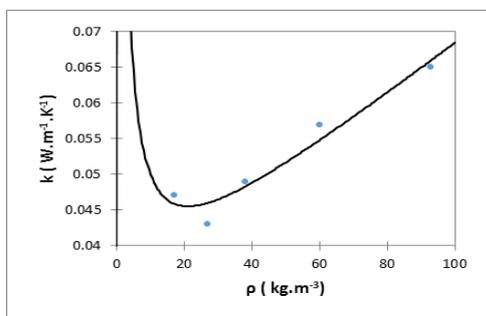


Figure 3 – Variation de la conductivité thermique de fibres de *Posidonia Oceanica* NT en fonction de la masse volumique

#### 3.3 Influence du traitement chimique

L'étude de l'influence du traitement chimique a permis de montrer que c'est le traitement T3 qui influe le plus sur les propriétés thermiques des fibres confirmant les observations effectuées par microscopie électronique. Les valeurs de  $k$  à masse volumique élevée sont plus abaissées et la capacité thermique des fibres est augmentée de 16%.

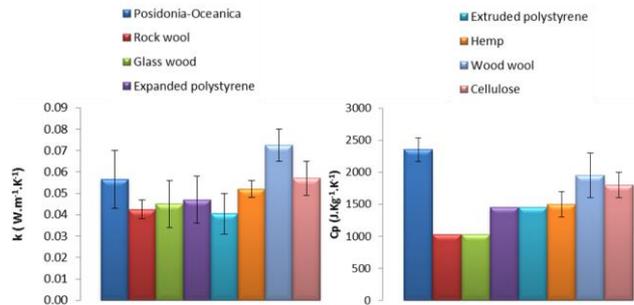


Figure 4 – Comparaison de la conductivité et de la capacité thermique de fibres de *Posidonia Oceanica* à d'autres isolants

### 4 Conclusion

La comparaison des propriétés thermiques des fibres de *Posidonia Oceanica* à celles d'isolants courants, présentée sur la figure 4, montre que ces fibres possèdent une conductivité thermique similaire aux autres isolants naturels, ce qui permet de garantir un niveau d'isolation important. Par ailleurs, ces fibres possèdent une capacité thermique supérieure à celle des autres isolants, ce qui correspond à une inertie plus importante, propriété recherchée pour les matériaux de construction.

### 5 Remerciements

Les auteurs remercient M. Patrick AUSSET (SCUMEA / LISA, UPEC) pour son aide concernant la caractérisation des fibres par microscopie électronique.

### Références

- [1] Energy efficiency action plan for France, Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2014
- [2] National Agency for energy conservation, NAMA for Renewable Energy and Energy Efficiency in the building sector in Tunisia, 2014
- [3] Réglementation thermique, Ed. CSTB, 2012
- [4] M. Tlijani, *Contribution à la caractérisation thermophysique de matériaux bio isolants : Valorisation des déchets de bois de palmier*, Thèse Université Paris-Est, 2016
- [5] S.E. Gustafsson, *Parameter estimation for measurements of thermal transport properties with the hot disk thermal constants analyzer*, Review of scientific instruments 71, 2000
- [6] F. Dominguez-Munoz, B. Anderson, J.M. Cejudo-Lopez, A. Carrilo-Andrés, *Uncertainty in the thermal conductivity of insulation materials*, Energy and Buildings 42, 2159–68, 2010

---

# Modèle théorique pour estimer les incertitudes de positionnement de l'effecteur d'un robot parallèle à câble plan

---

Mohamed Tazi<sup>1</sup>

[mtazidz@yahoo.fr](mailto:mtazidz@yahoo.fr)

François Hennebelle<sup>2</sup>

[francois.hennebelle@u-bourgogne.fr](mailto:francois.hennebelle@u-bourgogne.fr)

Jean-François FONTAINE<sup>2,3</sup>

[jffont@iut-dijon.u-bourgogne.fr](mailto:jffont@iut-dijon.u-bourgogne.fr)

<sup>1</sup> Ecole nationale Polytechnique, Département Génie Mécanique  
16200 El Harrach BP 182 Alger, Algérie UMR 7373

<sup>2</sup> Laboratoire LE2I, FRE CNRS 2005, UBFC CNRS Art et Métiers Paris-tech,  
Université de Bourgogne-France-Comté, site d'Auxerre, route des plaines de l'Yonne, 89 000 AUXERRE, France

<sup>3</sup> IUT DIJON-AUXERRE, département génie civil et construction durable,  
route des plaines de l'Yonne, 89 000 AUXERRE, France

**Thèmes** -- Robotique - - Mécanique -

**Résumé** – *Les robots parallèles à câbles se développent de plus en plus pour diverses applications. Leur principal avantage réside dans leur capacité de déplacement très rapide sur des distances qui peuvent être importantes. Les déplacements s'effectuent grâce à l'enroulement du câble sur un cabestan. La commande de ces robots est réalisée en pilotant le couple appliqué à chaque câble la position d'équilibre dynamique repose donc sur l'équilibre des efforts appliqués à l'effecteur. La mesure de la position se fait donc de manière indirecte et sans boucle de retour. Pour intégrer ces robots dans un dispositif métrologique, il est nécessaire d'estimer les incertitudes de positionnement de l'effecteur du robot. La méthode proposée basée sur la simulation de Monte Carlo est développée sur l'exemple simple d'un robot plan à 3 câbles.*

.

**Mots-Clés** – robotique, incertitude, méthode de Monte Carlo.

## 1 Introduction

Les robots parallèles à câbles (voir Fig.1) connaissent un développement important depuis quelques années. Les applications sont très diverses. On peut citer leur utilisation dans des applications d'entreposage, de chargement déchargement de ligne de production, de pilotage de télescope géant,... La commande de caméra mobile pour suivre notamment des épreuves sportives en est une des applications les plus connues.

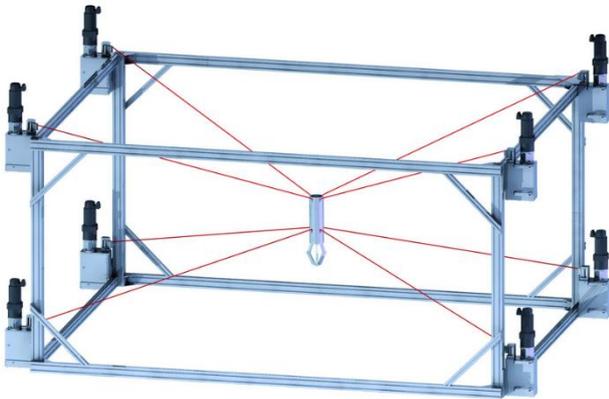


Figure 1 – exemple de robot parallèle à câble

Leurs caractéristiques donnent des avantages non négligeables dans ces applications. Leur faible poids ainsi que leurs faibles inerties permettent des accélérations, donc des déplacements, très rapides sur de grandes distances. Les actionneurs sont de faibles puissances, leur coût est donc réduit. Enfin leur mise en place est assez simple.

Ils ont aussi des faiblesses :

- les câbles ne peuvent agir qu'en tension seulement,
- ils peuvent posséder 6 degrés de liberté (3 déplacements et 3 rotations) mais les rotations restent de faible amplitude,
- l'espace de travail est limité par l'encombrement des câbles qui peuvent interférer les uns avec les autres,
- La flexibilité des câbles peut affecter l'exactitude et la précision du robot.

Ce dernier élément est sans doute la limite la plus importante pour utiliser ces robots dans des tâches pour lesquelles les positionnements doivent être précis et de suivre des trajectoires avec une incertitude réduite.

La plupart des travaux concernant les robots parallèles à câbles repose sur leurs conceptions et leur modèle de commande (géométrique et dynamique) qui permettent de définir des trajectoires données (déplacement linéaire ou circulaires entre deux points,...). Toutefois aucun travaux à notre connaissance n'a été entrepris pour prévoir avec quelle incertitude un positionnement pouvait être obtenu.

L'objet de cette étude est de présenter une approche pour estimer de manière théorique les incertitudes d'un robot parallèle à câble plan en fonction des paramètres qui

vont influencer la localisation de l'effecteur.

Dans un premier temps, la description d'un robot type et de ses paramètres d'influence est présentée, puis un modèle théorique est élaboré enfin la méthode de Monte Carlo est utilisée pour estimer, par simulation, les incertitudes théoriques de localisation de l'effecteur.

## 2 Facteurs influençant l'exactitude du positionnement de l'effecteur du robot.

### 2.1 Câble

Le câble est l'élément essentiel du robot, à ce titre ses propriétés vont contribuer de manière importante aux propriétés du robot :

- Elasticité ;
- Fléchissement dû au poids de l'effecteur (pour les robots plans) ainsi que le fléchissement dû au poids propre du câble ;
- Elongation du câble (diamètre et disposition des fils) ; dilatation thermique,...

### 2.2 Système d'entraînement

Le système d'entraînement n'est lui non plus pas parfaitement maîtrisé. Plusieurs éléments peuvent intervenir dans l'incertitude du positionnement.

- Incertitudes dimensionnelles des différents éléments
- Hystérésis dans le changement de direction du mouvement du câble ;
- Fluctuation du rendement des différents éléments: réducteur, tambour, poulies, ...

### 2.3 Structure externe

La structure externe (bâti) intervient car il existe des incertitudes dimensionnelles dues à la construction et aux assemblages, notamment au niveau des points de liaison des câbles avec la structure (voir Fig.2). La structure n'est pas parfaitement rigide et peut se déformer sous l'action des efforts dynamiques. A noter que, les poulies cabestans possèdent des empreintes pour bien guider le câble (voir Fig .2).

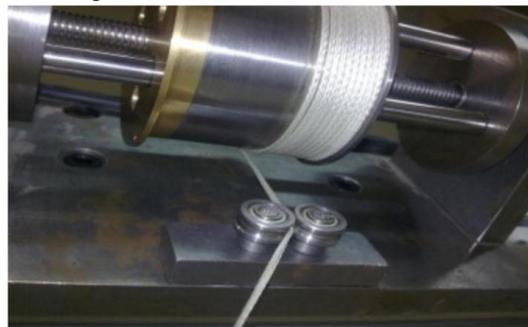


Figure 2 : tambour de cabestan et guide câble

Dans cette première approche, les facteurs d'influence pris en compte sont les suivants : l'incertitude sur les dimensions du bâti, la dilatation thermique, l'élasticité et

l'élongation du câble, la flèche due à l'effecteur, le poids propre du câble (effet caténaire) et la fluctuation des différents rendements.

### 3 Modélisation du robot

#### 3.1 Modèle cinématique et dynamique

Le modèle théorique du robot peut alors être construit en prenant en compte les variables qui permettent d'introduire les facteurs d'influence. La figure 3 représente le paramétrage du robot pour une structure à 3 ou 4 câbles.

Les angles  $\theta_i$  et les longueurs  $L_i$  définissent la position m de l'effecteur, c'est le modèle géométrique direct (1):

$$x = \frac{a^2 + L_1^2 - L_2^2}{2a} \text{ et } y = \sqrt{L_1^2 - x^2} \quad (1)$$

La dispersion des paramètre de position (x,y) dépendent des dispersions sur les longueurs et sur le côté a de la structure .

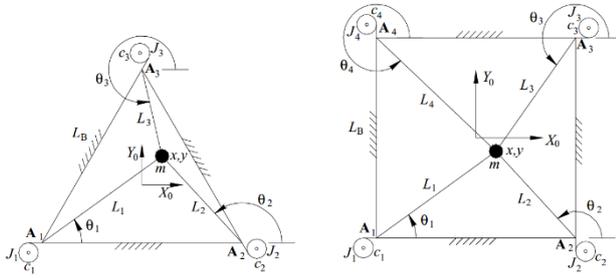


Figure 3 Paramétrage géométrique d'un robot plan à 3 ou 4 câbles

On établit le modèle cinématique direct (2) ou indirect (3) qui permet de définir la relation entre les vitesses  $(\dot{x}, \dot{y})$  et les variables du robot ( $L_i$ ) ou ( $\theta_i$ ) ou une combinaison des deux. Il permet de définir la trajectoire de l'effecteur.

$$\begin{bmatrix} \dot{L}_i \\ \dot{\theta}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c\theta_i & s\theta_i \\ -s\theta_i/L_i & c\theta_i/L_i \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} \quad i=1,n \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c\theta_i & -L_i s\theta_i \\ s\theta_i & L_i c\theta_i \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{L}_i \\ \dot{\theta}_i \end{bmatrix} \quad i=1,n \quad (3)$$

Le modèle dynamique permet de prendre en compte l'équilibre dynamique. Il est nécessaire ici car seuls les couples moteurs sont contrôlés. On aboutit à la relation (3) qui définit les tensions dans les câbles déduites des couples moteurs [1].

$$T_i = \frac{1}{r} (\tau_i - J \ddot{\beta}_i - C \dot{\beta}_i) \quad i=1,n-1 \quad (4)$$

On notera qu'un des câbles équilibre les 2 autres et son contrôle est légèrement différents des câbles dénommés actifs.

#### 3.2 Facteur pris en compte dans la variation de longueur des câbles

Parmi les facteurs induisant une variation de longueur, les plus influents ont été sélectionnés. Ainsi

l'élasticité du câble crée une variation que l'on peut exprimer par  $L_E(i) = \frac{4.T_i}{E.\pi.d^2}$ , la dilation thermique  $\delta L_{th}(i) = \lambda.L_i.\Delta T^\circ$ , le mouvement interne des torons peut être estimé par  $\delta L_i \approx 4\%$ . Enfin le fléchissement du au poids de l'effecteur et du poids propre du câble [2] peut être déterminé par  $\delta L_f(i) = s - L_i$ .

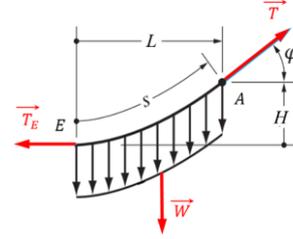


Figure 4 Principe de la chaînette

Avec  $s = 2H / sh\left(\frac{2H}{L_i}\right)$

H dépendant du poids de l'effecteur.

La détermination de  $\delta L_f(i)$  est donc non lineaire et se fait par résolution itérative

Les longueurs des côtés de la structure sont considérées comme maîtrisées à 0,5mm près et la variation des rendements des différents éléments peut être estimée :

- pour les tambours:  $\eta_t=0,95 \pm 0,02$
- pour les poulies de renvoi :  $\eta_p=0,93 \pm 0,05$

#### 3.3 Simulation par la méthode de Monte Carlo

La méthode de Monte Carlo permet en faisant des tirages sur la base de distribution intégrant les variations des facteurs d'influence d'estimer les variations de position [3]. Son intérêt par rapport à d'autre méthodes est d'une part, de ne pas être obligé de dériver formellement le modèle par rapport aux grandeurs d'influence et d'autre part de prendre en compte la dépendance de variables.

Le principe est donné par le schéma suivant

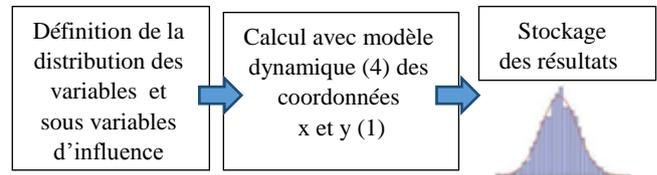


Figure 5 schéma de principe de la simulation de Monte Carlo

Dans le cas présent, les distributions sont choisies uniformes pour l'ensemble des éléments constituant les variables d'influence.

### 4 Conclusions

Utiliser des robots à câble comme dispositif de système de mesure nécessite de maîtriser les incertitudes de positionnement. La méthode proposée ici permet de prendre en compte de manière les multiple sources de variabilité qui peuvent intervenir dans un dispositif complexe

#### Références

- [1] L. Wang, G. Rega, *Modelling and transient planar dynamics of suspended cables with moving mass*, Int. J. of Sol. & Struc. 47 (2010) 2733–2744
- [2] N. Impollonia, G. Ricciardi, F. Saitta, *Statics of elastic*

*cables under 3D point forces*, Int. J. of Sol. & Struc. 48 (2011) 1268–1276

[3] M. Á. Herrador, A. G. González, *Evaluation of measurement uncertainty in analytical assays by means of Monte-Carlo simulation*, Talanta 64 (2004) 415–422.

# Méta-matériau parasismique : vers les cape d'invisibilité sismiques

---

Lucas Pomot<sup>1</sup>    Cédric Payan<sup>1</sup>    Stéphane Bourgeois<sup>1</sup>    Sébastien Guenneau<sup>3</sup>

lpomot@ec-m.fr    cedric.payan@univ-amu.fr    stephane.bourgeois@centrale-marseille.fr    sebastien.guenneau@fresnel.fr

<sup>1</sup> IUT, Aix-Marseille Université  
Laboratoire Mécanique et d'Acoustique, UMR 7031

<sup>3</sup> Aix-Marseille Université  
Institut Fresnel, UMR 7249

**THÈMES** – *Mathématiques - Matériaux - Mécanique*

**RÉSUMÉ** – *Un méta-matériau se définit comme un matériau artificiel ayant des propriétés physiques qu'on ne retrouve pas dans un matériau naturel. Si le concept théorique de ces méta-matériaux est connu depuis 1967 [1] ce n'est que dans les années 2000 que J. Pendry parvient à réaliser expérimentalement un méta-matériaux [2]. Les propriétés remarquables de ces matériaux permettent un contrôle extrêmement fin de la propagation des ondes ouvrant ainsi la voie à de nombreuses applications telles que la cape d'invisibilité [3]. Ces premiers travaux ont été effectués sur des ondes électromagnétiques mais il s'est ensuite avéré que de nombreux résultats étaient transposables à divers branches de la physique des ondes telles que les ondes acoustiques [4] ou bien les vagues [5]. Récemment la communauté scientifique s'est intéressée à l'utilisation de ces résultats dans le domaine des ondes sismiques. Les applications issues de ces recherches pourraient permettre la mise en place de structures parasismiques révolutionnaires pouvant protéger une ville entière.*

**MOTS-CLÉS** – *cape d'invisibilité, parasismique.*

## 1 Introduction

L'étude des méta-matériaux est un domaine actuellement très actif, de nombreuses applications ont vu le jour ces dernières années. Dans cet article nous nous restreignons à l'étude de la cape d'invisibilité, une des applications les plus spectaculaires. En premier lieu nous allons expliquer le principe mathématique de la cape d'invisibilité puis nous verrons comment réaliser expérimentalement cette structure grâce à la mise en place d'un algorithme génétique développé pendant mes travaux de thèse. La difficulté principale concernant les méta-matériaux sismique vient de la complexité intrinsèque des ondes sismiques par rapport à des ondes acoustiques ou électromagnétiques.

## 2 Concept théorique de la cape d'invisibilité

Nous définissons ici une cape d'invisibilité comme une structure permettant de rendre un objet ainsi que la cape qui l'entoure invisible pour un observateur. Cette structure va donc dans un premier temps déformer le champ électromagnétique afin de lui faire éviter l'objet puis lui redonner sa forme initiale, sans objet ni cape. A la sortie de cette structure le champ électromagnétique ne porterait plus aucune information ni sur l'objet ni sur la cape qui seraient alors invisible pour l'observateur. La figure 1 explique schématiquement cette déformation.

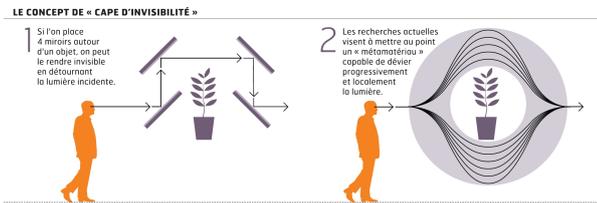


FIGURE 1 – Principe schématique de la cape d'invisibilité.

Afin d'obtenir une telle structure il faut dans un premier temps déterminer les caractéristiques du matériau composant la cape. Pour cela nous déformons l'espace de propagation à l'aide d'une transformation géométrique. Cette transformation géométrique introduit mathématiquement un nouveau matériau. Par exemple, si avant la transformation géométrique l'onde se propageait dans l'air, elle se propagera dans un autre matériau dans l'espace transformé. En résumé, la transformation géométrique nous donne les caractéristiques du méta-matériau nécessaire pour créer une cape d'invisibilité.

Ces résultats sont transposables dans de nombreux domaines de la physique dont les ondes sismiques. L'intérêt d'une cape d'invisibilité sismique est alors direct car elle permettrait d'isoler une région des tremblements de terre. Cependant les caractéristiques du matériau introduit

mathématiquement sont très particulières et n'existent pas dans la nature. Nous avons donc développé une méthode permettant d'approcher ces propriétés remarquables en combinant différents matériaux facilement accessibles.

## 3 Réalisation pratique d'une cape d'invisibilité sismique

### 3.1 Introduction à la théorie de l'homogénéisation

Afin d'imiter ces propriétés très particulières grâce à des matériaux très simples nous utilisons la théorie de l'homogénéisation. Cette théorie permet de prédire les propriétés effectives d'un milieu composé de plusieurs cellules élémentaires répétées périodiquement et très petites devant la longueur d'onde (qui représente la taille de l'onde). Étant donné la taille de ces cellules élémentaires une cellule seule ne va pas influencer la propagation de l'onde mais l'ensemble des cellules oui. Si on imaginait par exemple une île carrée de toute petite taille par rapport à la distance entre deux crêtes de vagues, disons un flotteur de  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  pour une distance entre deux crêtes de vagues de 1 m. Le flotteur seul ne va pas déformer la forme des vagues. Cependant, si on répète périodiquement la cellule élémentaire (le flotteur) suffisamment de fois la forme des vagues va être profondément modifiée. En utilisant la théorie de l'homogénéisation il est possible d'associer à l'ensemble flotteur + eau un milieu équivalent qui reproduit l'effet de toutes les flotteurs. Cette théorie étant applicable à différents domaines de la physique des ondes de nombreuses équipes ont créé des milieux aux propriétés très particulières pour les ondes sismiques. Nous pouvons notamment citer les travaux de Colombi et al. [6] qui ont étudié une structure faite d'arbres répétés périodiquement permettant de dévier les ondes sismiques de surface dans le sol (voir figure 2). Pour résumer

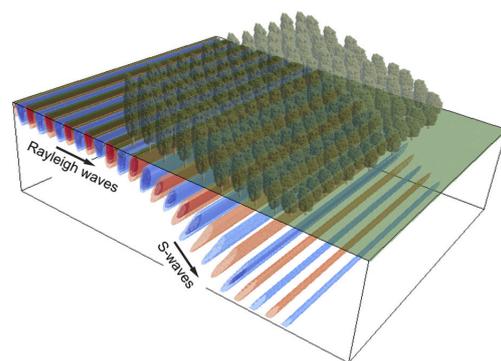


FIGURE 2 – Vue d'artiste basée sur des simulations numériques réalisées par A. Colombi, extrait de [6]. Le milieu effectif constitué des arbres impacte fortement la propagation de l'onde sismique.

il est donc possible de prédire les caractéristiques d'un mi-

lieu structuré à une échelle très petite devant la longueur d'onde. Nous allons utiliser ces caractéristiques très particulières afin de façonner une cape d'invisibilité.

### 3.2 Problème inverse et algorithme génétique

Compte tenu des observations faites jusque là la question est la suivante : quelle est la cellule élémentaire qui doit être répétée afin d'imiter correctement les propriétés du matériau introduit mathématiquement par la transformation géométrique ? Ce type de raisonnement est un problème inverse. On utilise normalement la théorie de l'homogénéisation afin de déterminer les propriétés effectives du matériaux structuré périodiquement. Dans notre cas nous connaissons les propriétés effectives du matériau (celles données par la transformation géométrique) et nous voulons déterminer la forme de la cellule élémentaire permettant d'obtenir ces propriétés effectives. Pour cela nous avons mis en place un algorithme d'optimisation appelé algorithme génétique. En résumé, cette algorithme va tester un grand nombre de cellules élémentaires générées aléatoirement. Les cellules élémentaires donnant un milieu effectif proche de celui désiré sont mises de côté et utilisé pour créer une nouvelle génération de cellule élémentaire. Après plusieurs itérations l'algorithme converge vers une cellule élémentaire optimale. La figure 3 est une vue d'artiste d'une cape d'invisibilité sismique où les cellules élémentaires sont des plots en béton enfoncés dans le sol.

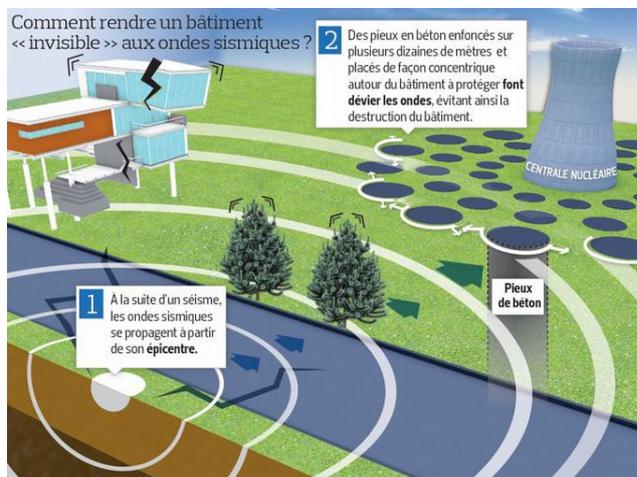


FIGURE 3 – Infographie extraite d'une interview du figaro auprès de S. Guenneau et S. Enoch [7]

## 4 Conclusions

En conclusion nous présentons ici une méthode permettant de designer une cape d'invisibilité sismique à partir d'une combinaison intelligente de plusieurs matériaux classiques agencés à une échelle très petite par rapport aux

dimensions de notre problème. Si ces résultats sont très encourageants de nombreuses difficultés théoriques et technique qui n'ont pas été exposées ici reste à surmonter. C'est pour cela que la plupart des résultats obtenus sur les méta-matériaux sismiques sont uniquement numérique. Cependant divers expériences à taille réelle commencent à voir le jour ([8], [9]).

## Références

- [1] Viktor G Veselago, *The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of  $\epsilon$  and  $\mu$* , American Institute of Physics, 1968
- [2] John Pendry, *Negative refraction makes a perfect lens*, Physical review letters, 2000
- [3] John Pendry, David Schurig, David R Smith, *Controlling electromagnetic fields*, Science, 2006
- [4] Jensen Li and C. T. Chan, *Double-negative acoustic metamaterial*, Physical Review, 2004
- [5] G. Dupont, S. Guenneau, O. Kimmoun, B. Molin and S. Enoch, *Cloaking a vertical cylinder via homogenization in the mild-slope equation*, Journal of Fluid Mechanics, 2016
- [6] Andrea Colombi, Daniel Colquitt, Philippe Roux, Sebastien Guenneau, Richard V. Craster, *A seismic metamaterial : The resonant metawedge*, Scientific Reports, 2016
- [7] *Une expérience prometteuse d'«invisibilité sismique»*, Le figaro, 2014
- [8] Stéphane Brûlé, EH Javelaud, Stefan Enoch, Sébastien Guenneau, *Experiments on seismic metamaterials : Molding surface waves*, Physical review letters, 2014
- [9] Roux et al., *Toward Seismic Metamaterials : The METAFORET Project*, Seismological Research Letters, 2018

---

## Utilisation de matériaux bois intelligents pour la gestion durable des infrastructures

---

Marianne Perrin<sup>1</sup>Florent Eyma<sup>1</sup>Xavier Jacob<sup>2</sup>Hang Li<sup>1</sup>Vincent Gibiat<sup>3</sup>

[Marianne.perrin@iut-tarbes.fr](mailto:Marianne.perrin@iut-tarbes.fr) [florent.eyma@iut-tarbes.fr](mailto:florent.eyma@iut-tarbes.fr) [xavier.jacob@univ-tlse3.fr](mailto:xavier.jacob@univ-tlse3.fr)  
[hang.li@iut-tarbes.fr](mailto:hang.li@iut-tarbes.fr) [vincent.gibiat@univ-tlse3.fr](mailto:vincent.gibiat@univ-tlse3.fr)

<sup>1</sup> IUT, Tarbes Université Paul Sabatier  
Institut Clément Ader, UMR CNRS 5312

<sup>2</sup> Université Paul Sabatier

<sup>3</sup> Université Paul Sabatier  
Institut Clément Ader, UMR CNRS 5312

### Thèmes –Matériaux

**Résumé** – Depuis quinze ans, on recommence à construire en bois, et notamment en bois lamellé-collé (LC), pour répondre aux nouveaux challenges imposés par les problématiques de développement durable. Néanmoins, des problèmes de dégradations liés à l'humidité ou aux cycles d'humidification/séchage limitent le développement des ouvrages en bois. De ce fait, le suivi de l'humidité des ouvrages d'art en bois devient un enjeu crucial. Aujourd'hui, certaines solutions existent mais ne permettent pas un suivi local au niveau des lamelles du bois LC. Une telle solution permettrait d'améliorer la prédiction de la durée de vie des ouvrages. Suite à ce constat, nous avons proposé de transformer le bois LC en « structure intelligente » par intégration d'un système de suivi de l'humidité au niveau des lamelles, et ce, en tenant compte des principales contraintes de fabrication de ce matériau (faible épaisseur du joint collé, pression de collage importante, etc.).

Pour ce faire, nous avons effectué une recherche bibliographique afin de sélectionner les méthodes de suivi pouvant répondre à ces contraintes. A l'issue de cette recherche, une technologie s'est révélée particulièrement intéressante : les mesures électriques. Plusieurs configurations de mesures ont été proposées et testées pendant ce travail. Par la suite, nous avons effectué des essais préliminaires pour s'assurer du bon fonctionnement de ces configurations de mesures, et ainsi vérifier le comportement des capteurs lors de la fabrication du bois LC. Puis, nous avons humidifié les échantillons en utilisant deux protocoles d'humidification différents afin de vérifier la faisabilité du suivi de l'humidité avec les capteurs intégrés.

Les résultats montrent que l'ensemble des configurations de mesures sont opérationnelles pour suivre la variation de l'humidité dans les échantillons LC. De plus, nos résultats montrent que l'on peut adopter quasiment les mêmes modèles d'étalonnage pour le suivi de l'humidité par mesures résistives, quel que soit le type de capteurs utilisé. Qui plus est, il est possible de récupérer des informations complémentaires par la réalisation simultanée des mesures résistives et des mesures capacitives en utilisant les électrodes surfaciques. De futures études consisteront à utiliser ces configurations de mesures pour le suivi in situ dans les ouvrages, ainsi qu'à établir un lien entre la durabilité des structures LC et les cycles d'humidification/séchage afin de prédire la durée de vie résiduelle des ouvrages d'art en bois.

**Mots-Clés** – Ouvrages d'art en bois, suivi de l'humidité, intégration de capteurs, mesures électriques

## 1 Introduction

Aujourd'hui, de plus en plus de structures en bois sont utilisées dans le bâtiment et le génie civil en raison des nouveaux défis imposés par les problèmes de développement durable et grâce à leurs coûts compétitifs. Au cours de ces dernières années, le bois lamellé-collé a gagné en popularité dans la construction en raison non seulement de sa résistance mécanique supérieure par rapport au bois massif, mais aussi grâce à la possibilité qu'il offre de construire des structures de grande envergure [1]. Cependant, le problème de leur durabilité est un facteur limitant le développement de ces structures. Des pathologies telles que les fissures, les délaminations ou les fentes, ainsi que les attaques fongiques ou les attaques d'insectes, ont été observées sur des infrastructures en bois. La majorité d'entre elles peut être attribuée soit à une humidité excessive ( $> 22\%$ ) ou aux cycles d'humidification/séchage subis par le matériau [1].

Afin de promouvoir l'utilisation du bois dans la construction, les gestionnaires d'ouvrages ont exprimé leur besoin en techniques de surveillance continue.

A la lumière de ces observations, il est proposé dans ce travail de transformer le bois lamellé-collé en "Matériau intelligent" en intégrant les systèmes de mesure et de surveillance afin d'effectuer des mesures internes et locales à l'intérieur ou entre les lamelles du bois lamellé-collé. Pour ce faire, 4 configurations de mesure ont été identifiées. Elles sont basées sur l'utilisation d'électrodes pointes ou d'électrodes surfaciques pour effectuer des mesures électriques (résistivité / capacité). Les objectifs de cette étude sont:

- (1) s'assurer de la bonne fonctionnalité des 4 configurations de mesure;
- (2) vérifier la possibilité pour les 4 configurations de mesurer les variations d'humidité dans les structures Lamellées-collées.

## 2 Matériels et méthodes

Quatre configurations de mesure utilisant différentes configurations d'électrodes ont été identifiées dans cette étude (figure 1). Cinq éprouvettes identiques ont été préparées pour chaque configuration testée. Les éprouvettes ont été préparées à partir de Douglas (*Pseudotsuga menziesii*), puisque cette espèce est largement utilisée dans la construction [1]. En premier lieu, les configurations 1, 2 et 3 ont été proposées pour permettre des mesures de résistivité. Elles sont basées sur l'utilisation de vis ou de câbles métalliques revêtus. D'autre part, la configuration 4 a été proposée pour sa polyvalence puisqu'elle permet à la fois des mesures

capacitives et des mesures résistives. Afin d'étudier l'influence de la pression de collage sur la performance des capteurs, des éprouvettes en bois massif et en bois lamellé-collé ont été préparées pour chaque configuration. L'épaisseur des lamelles est de 33 mm, ce qui est recommandé pour la construction de structures de grande envergure (SETRA 2006). Afin de faciliter l'absorption de l'eau, la largeur des éprouvettes est fixée à 90 mm car il s'agit de la plus petite largeur produite dans l'industrie.

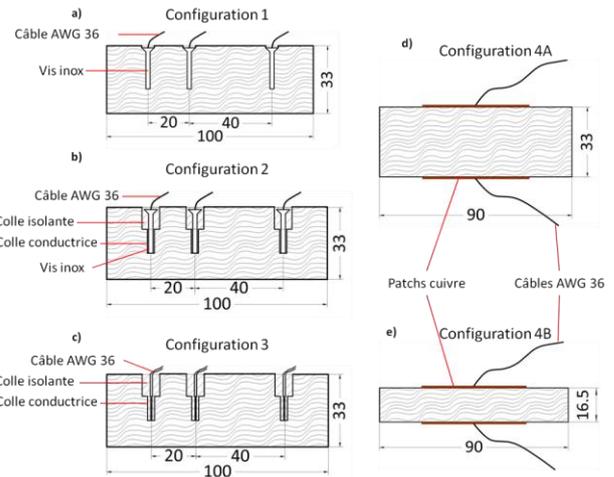


Figure 1 – Configurations de mesures (dimensions en mm).

## 3 Résultats

### 3.1 Etude de faisabilité

Les résultats à l'état initial (environ 10% d'humidité) sur ces échantillons montrent que l'on est capable d'effectuer les mesures électriques dans le bois (Figure 2). Concernant les mesures résistives, on a trouvé des valeurs de résistance électrique de l'ordre de  $10^9 \Omega$  pour les configurations 1, 2 et 3 ( $1,04-1,72 \times 10^9$ ), et des valeurs de l'ordre de  $10^{10} \Omega$  pour la configuration 4 ( $1,07 \times 10^{10}$ ). Ces valeurs sont dans les mêmes ordres de grandeur que les informations disponibles dans la littérature [2]. Les différences peuvent être attribuées aux différentes configurations d'électrodes (forme, longueur, espacement etc.). Concernant les mesures capacitives, les valeurs de capacité trouvées sont aussi dans le même ordre de grandeur que les informations disponibles dans la littérature [3]. Dans notre étude, la moyenne de capacité obtenue sur les échantillons de 33 mm d'épaisseur est de 2,3 pF alors que l'on a obtenu 5,0 pF par extrapolation (à la même humidité et épaisseur) des résultats de James [3] obtenus à 1 kHz. Cette différence peut être expliquée par les différentes fréquences utilisées, les mesures ayant été réalisées à 2 kHz.

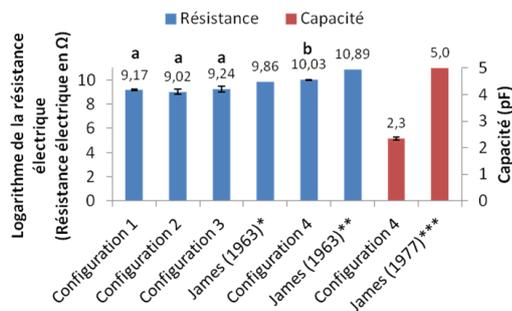
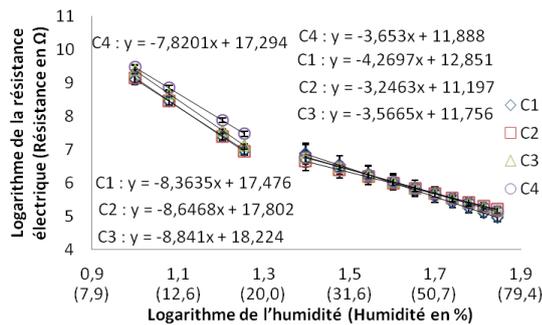


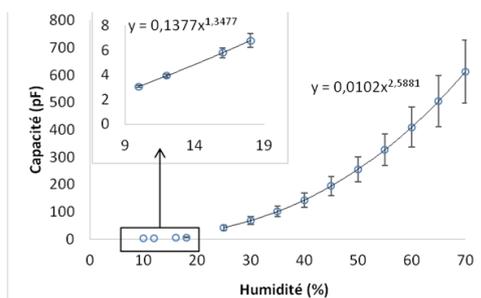
Figure 2 – Résultats des mesures résistives et capacitives lors de l'étude de faisabilité.

### 3.2 Suivi de l'humidité

Les résultats obtenus avec les mesures résistives sont présentés sur la figure 3. Nous pouvons observer qu'il est possible de suivre la variation d'humidité avec l'ensemble des 4 configurations de mesures sur les échantillons LC dans la gamme d'humidité étudiée (10%-70%). Les résultats sur les mesures capacitives sont également présentés sur la figure 3. Nous pouvons observer sur ces figures qu'il est possible de suivre la variation d'humidité avec les mesures capacitives sur les échantillons LC dans la gamme d'humidité étudiée (10%-70%).



a)



b)

Figure 3 – Evolution des mesures de résistivité (a) et de capacité (b) en fonction de l'humidité sur échantillons lamellés-collés

## 4 Conclusions

Dans le cadre du développement de systèmes de surveillance embarqués dans les lamelles des structures

LC, ceci afin d'améliorer la durabilité des infrastructures, 4 configurations de mesures ont été proposées et testées dans cette étude. Les résultats ont montré qu'il est possible de surveiller des taux d'humidité compris entre 10 et 70%.

Parmi les 4 configurations testées, la configuration 4 présente le meilleur potentiel pour être appliquée dans les structures LC pour les raisons suivantes:

1. Les électrodes peuvent être facilement implantées dans la ligne de production du LC, puisqu' aucun usinage supplémentaire n'est nécessaire.
2. Cette configuration est plus polyvalente car elle permet à la fois de faire des mesures résistives et des mesures capacitives, qui peuvent fournir des informations complémentaires.
3. Son coût est inférieur à celui des autres configurations.

## 5 Remerciements

Les auteurs aimeraient remercier Frédéric Leroy (IUT Tarbes, GMP) et Emmanuel Laügt (IUT Tarbes, GEII) pour leur contribution.

## Références

- [1] SETRA, *Les ponts en bois : comment assurer leur durabilité*, 2006, ISBN : 9782110946553
- [2] WL James, *Electric moisture meters for wood*, Department of Agriculture, Forest service, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, 1963
- [3] WL James, *Dielectric behavior of Douglas-fir at various combinations of temperature, frequency, and moisture-content*, Prod J, 27:44-48, 1977

## Les imprimantes 3D participent à la créativité des étudiants

Jean Vareille<sup>1</sup> Jean-Paul Bécar<sup>2</sup> Vincent Cayez<sup>2</sup> Yoann Notteau<sup>2</sup>

jean.vareille@univ-brest.fr {jean-paul.becar,vincent.cayez,yoann.notteau}@univ-valenciennes.fr

<sup>1</sup> IUT de Brest-Morlaix, Université de Bretagne Occidentale,

<sup>2</sup> IUT, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, LAMAV.

**Thèmes** – Mathématiques-Mécanique

**Résumé** – *L'impression 3D étend son domaine d'applications à toute l'industrie, à la recherche et au secteur éducatif. Le papier décrit au travers d'expériences réalisées, comment la créativité des étudiants peut être stimulée par l'usage de cette technologie récente, attractive et accessible. Un survol de l'impression 3D est proposé au lecteur en gardant à l'esprit l'objectif pédagogique. Les auteurs sont issus des départements Génie électrique et Informatique Industrielle, Génie Mécanique et Productique, Génie Industriel et Maintenance des Instituts Universitaires de Technologie. Le papier s'intéresse aux réalisations effectuées dans le cadre éducatif en liaison avec le milieu industriel mais aussi au rapprochement des entreprises, du système éducatif et de la société civile au travers des Fab Lab, véritables interfaces novatrices. La première section traite des projets accompagnés. Elle montre comment les étudiants se sont impliqués en mécanique pour concevoir un produit, en électronique pour l'assemblage des composants et des mesures associées et en informatique pour la programmation des fonctions. Le premier projet est un lecteur d'empreintes. Deux étudiants du GEII ont planché six mois sur ce thème, supervisés par un ingénieur dans le cadre de leur projet accompagné. Il s'agit de réaliser un composant autonome certifiant l'accès à la salle de classe. Le projet a pu se dérouler et être mené à terme grâce à la disponibilité de leur superviseur. Le second projet concerne deux étudiants japonais qui ont effectué un stage industriel d'un mois à l'IUT afin de découvrir la culture, le système éducatif de l'IUT, dont la structure est proche de leur Kosen. Relayés par leurs camarades français le projet a pu avancer dans un temps aussi court. Une boîte de médicaments intelligente a été le thème retenu. Le troisième projet concerne une application ergonomique. Douze étudiants en Génie Industriel et Maintenance initiés à la CAO en 3D se sont penchés sur l'étude et la réalisation d'un exosquelette d'une main gauche en vue de l'exploiter comme dispositif de récupération de mobilité perdue suite à un traumatisme. Cela a conduit leur superviseur à déposer un brevet, donnant ainsi un effet accélérateur à la motivation. Le partage de connaissances et de savoir-faire différents, la stimulation par l'enseignant manager, y compris la facilité d'accès aux équipements, ont contribué au succès des projets. A ce titre les Fab Lab évoqués dans la suite recouvrent d'un point de vue méthodologique une partie de ces items. La génération Fab Lab s'inscrit dans la dynamique du partage des connaissances et du savoir-faire, aussi bien localement comme c'est le cas de l'Open Factory de l'Université de Bretagne Occidentale, que globalement par l'usage du réseau mondial de communication. Apprendre, créer et partager forment le socle des Fab Lab. Ces items figurent également dans tous les projets évoqués. La disponibilité des accompagnants, leur polyvalence et les initiatives d'étudiants ont contribué au succès des projets, les préparant ainsi à rejoindre La French Fab.*

**Mots-Clés** – pluridisciplinarité, partage, travail de groupe, management.

## 1 Introduction

Bien qu'existant depuis plus de quinze ans, l'impression 3D est devenue un phénomène de mode. Le réseau mondial permet de réduire les durées de conception, d'innovation, de développement et de maintenance pour tout type de logiciel et de matériel. La démocratisation dégage des opportunités d'équipement à moindre coût aussi bien pour les particuliers que pour les associations et les institutions. La seconde section donne une description générale de l'impression 3D et de son large domaine d'application au travers de quelques exemples significatifs [1,2]. Le papier s'intéresse aux applications pédagogiques s'appuyant sur cette technologie qui relance l'approche pluridisciplinaire des formations. C'est l'objet de la section trois. Celle-ci décrit une série d'études et de réalisations effectuées dans un Institut Universitaire de Technologie. Le fil conducteur est la motivation de l'étudiant. La particularité ici est d'avoir pu obtenir et entretenir la coopération des étudiants par un choix fortuit et heureux d'une technique similaire à celle de la décision d'achat mentionné par John Dewey [3] et du procédé de prise de décision [4].

Les Instituts Universitaires de Technologie dispensent des qualifications professionnelles aux niveaux 2 et 3. En leur sein les auteurs issus des départements Génie Mécanique et Productique, Génie Electrique et Informatique Industrielle et Génie Industriel et Maintenance partagent leur expérience et savoir-faire lors des projets accompagnés. Le management des projets accompagnés, s'il entretient la motivation des étudiants, favorise leur créativité, dans un cadre moins académique mais en gardant l'esprit du partage des savoirs et des savoir-faire. Cette dynamique particulière se retrouve dans la génération Fab Lab décrite dans la section 4. Apprendre, Créer et Partager animent les générations Fab Lab du monde entier [5]. L'enseignement du futur devra intégrer ces éléments où l'imagination et les initiatives des étudiants garantiront leur succès [6,7,8].

## 2 La fabrication additive.

L'impression 3D ouvre la porte du rêve social. Ceci est dû vraisemblablement à l'importance grandissante de la sensibilité environnementale dans notre société mais aussi à l'introduction de l'analyse du cycle de vie -ACV- du produit dans le programme des formations technologiques [6]. La fabrication additive [2] ou impression 3D est un procédé d'élaboration d'un objet par superposition de couches. L'impression 3D s'effectue selon 3 étapes. La première est la conception virtuelle de l'objet, la seconde la mise au format de l'imprimante 3D et enfin, la dernière, la fabrication de l'objet physique final. Tous les logiciels de conception fournissent un même type de données exploitables sur des imprimantes 3D. C'est l'adjectif stéréolithographique qui qualifie ces données particulières. L'aspect final dépend de la technologie employée. Le dépôt de fil extrudé à chaud, la

stéréolithographie et le frittage représentent les trois technologies majeures de l'impression 3D. A titre d'exemples, l'objet final peut être du tissu humain ([www.organovo.com](http://www.organovo.com)), une clé à cliquet ([www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)), une prothèse de reconstruction mammaire (projet MAT(T)ISSE) des gâteaux ([www.3Dsystems.com](http://www.3Dsystems.com)), des répliques à l'original ([www.maaikeroozenburg.nl](http://www.maaikeroozenburg.nl)), des moules d'injection et leurs inserts éventuels ou des gabarits en plastiques pour de l'outillage rapide ([www.factoryoffactories.com](http://www.factoryoffactories.com)) des pièces d'avion ([www.lockheedmartin.com](http://www.lockheedmartin.com)), des outils ([www.sciaky.com](http://www.sciaky.com)) des habitations ([www.markuskayser.com](http://www.markuskayser.com), [www.fbr.com.au](http://www.fbr.com.au)), de la fabrication Eco-digitale ([design2edfab.wordpress.com](http://design2edfab.wordpress.com)) et même des crêpes (Magicrêpe SEB 1970). Le coût des imprimantes 3D allant en diminuant, cela entraîne une augmentation des applications personnelles partagées. Il existe des sites offrant au partage plus de 400 000 objets ([www.thingiverse.com](http://www.thingiverse.com)). Même si c'est déjà le cas dans les quelques expériences relatées plus bas, ce phénomène invite le système éducatif à rejoindre cette dynamique.

## 3 Trois expériences d'enseignement

*Le lecteur d'empreintes autonome* : le programme académique des étudiants du DUT Génie Electrique et Informatique Industrielle donne une large place aux projets accompagnés. Il s'agit de mettre en œuvre les notions techniques et savoir-faire acquis durant le cycle, à savoir une étude et une réalisation orientées dans la spécialité mentionnée. Un enseignant chercheur encadre un groupe de deux à dix étudiants durant un semestre sur un thème donné, proposé ou choisi. Les objectifs sont de deux types, technique et pédagogique. Deux étudiants en première année du DUT GEII sont encadrés par le chef ingénieur du département. Le projet est la réalisation d'un lecteur d'empreintes. Le point essentiel du projet est le choix par les étudiants eux-mêmes du projet. Leur comportement se retrouve dans la démarche d'achat d'un produit.

*Un projet international* : 2 étudiants de première année de licence professionnelle au collège d'Oyama au Japon ont choisi le département GEII de L'IUT pour y effectuer un stage d'un mois. Leur emploi du temps a été adapté à celui pratiqué localement. Une rencontre hebdomadaire valide le travail effectué et dégage de nouvelles pistes d'investigation. Cette rencontre a pu se faire avec d'autres étudiants du département effectuant également des projets sur une thématique et une organisation similaires. Le projet est de concevoir, de représenter un objet en 3D qui supportera un équipement électronique à base de microcontrôleur et de programmer les fonctionnalités utiles. Une boîte à stylo intelligente et une boîte de médicaments connectée ont été proposées et retenues pour un travail intensif d'un mois. La boîte de médicaments est connectable à un téléphone mobile et avertit son propriétaire de la prise de médicaments. La bonne habitude qu'ont les étudiants japonais de consigner des

notes, des dessins, des idées dans un cahier de suivi (cahier de laboratoire) a fait tache d'huile chez les étudiants français.

*Le projet d'exosquelette robotisé* : Le projet est ici la réhabilitation de la main gauche avec sa fonction de pince au moyen d'un exosquelette. L'utilisation de la technologie au service de l'être humain, la participation à la rédaction d'un brevet de propriété intellectuelle ont constitué des éléments majeurs de la participation et motivation renouvelée des étudiants. Le groupe est constitué de huit étudiants de seconde année du cycle Génie Industriel et Maintenance. Leur superviseur est un ingénieur chef d'entreprise, spécialiste de la fabrication additive dont en particulier la conception et la réalisation d'appareillages médicaux sur mesure. Gérant d'une startup, il a pu rendre les étudiants sensibles à la connexion entre le monde industriel et celui de l'éducation. Le partage des connaissances et des expériences atteint son apogée avec l'application associée à l'entreprise ([www.additive.com](http://www.additive.com)) et la rédaction d'un brevet (FR3042968A1).

Se rencontrer, apprendre, partager représentent les grandes lignes des projets précédemment décrits. Ces idées générales se retrouvent dans le monde du logiciel libre et celui des Fab Lab dont les logos montrent une inspiration voisine.

#### 4 Le monde des Fab Lab

Le terme Fab Lab est un raccourci pour Fabrication Laboratory. La majeure partie des relations humaines au sein du Fab Lab est très proche de celles rencontrées dans les enseignements. Une première expérience s'est déroulée en 2014 à l'UBO. Elle a été suivie de la création de l'UBO Open Factory ([ubopenfactory.univ-brest.fr](http://ubopenfactory.univ-brest.fr)) qui est un service général de l'université comportant un directeur membre d'un laboratoire de recherche, des Fab managers permanents et des ateliers spécifiques. Elle accueille des étudiants d'horizons divers, des personnes extérieures à l'université et propose des sessions de formation aux logiciels techniques. De plus, une unité d'enseignement « libre » est ouverte aux étudiants volontaires, provenant de n'importe quel cursus de licence. Ses dirigeants contribuent à entretenir une synergie avec les Fab Lab du secteur.

#### 5 Conclusion

Le papier montre à travers d'expériences réalisées comment la technologie 3D peut encourager la création et entretenir la motivation chez les étudiants. La diminution

du coût des imprimantes 3D voit leur usage croître dans le monde éducatif mais pas seulement. Nécessitant plusieurs compétences technologiques différentes, l'impression 3D rend essentielle l'approche pluridisciplinaire. Les expériences présentées et abouties ici au travers des projets accompagnés figurant dans le programme des IUT mettent l'accent sur les liens entre société civile, les entreprises et le monde éducatif. Les auteurs suggèrent de placer dès le collège une nouvelle matière dont l'objectif majeur serait la création ou l'innovation avec comme support éducatif la pluridisciplinarité. Le monde éducatif doit désormais s'adapter très vite aux évolutions brusques de la technologie.

#### 6 Remerciements

Les auteurs remercient leurs instituts respectifs et l'organisation pédagogique indissociable pour ce type d'activités. Leur gratitude s'adressent aussi à leurs collègues souvent sollicités car disponibles, et aux équipes techniques. Un grand merci à l'équipe de l'UBO Open Factory, et à l'IUT de Brest-Morlaix, spécialement pour la MUP [9].

#### Références

- [1] C.Anderson, Makers. *The new industrial revolution*, New-York, Crown Business, 2012.
- [2] C.Barlier, A. Bernard, *Fabrication additive*, Paris, Dunod, 2015.
- [3] J.Dewey, *How we think*, D.C, Heath and CO. Publishers, 1910.
- [4] T. N. Martin, *Smart Decisions: The Art of Strategic Thinking for the Decision-Making Process*, New York, Palgrave Macmillan US, 2016.
- [5] J.Rifkin, *The Zero Marginal Cost Society: The Internet of Things, the Collaborative Commons, and the Eclipse of Capitalism*, New York City, St. Martin's Press, 2014.
- [6] J. Vareille, J.-P. Bécar, *Dans la future société du coût marginal zéro, les imprimantes 3D rendront-elles serviles ?*, proceedings of CNRIUT'2017, Auxerre, 2017.
- [7] J. Vareille, *Creativity and innovation processes*, Crecos, Helsinki, 2008.
- [8] Y. N. Harari, *Homo Deus: a brief history of tomorrow*, New York, Vintage Publishing, 2017.
- [9] J. de Rosnay, *Comment imprimer des objets chez soi. Après les TIC, voici les MUP !*, journal Le Monde, 2006.

# Reproduction de microstructures de soudage de type bainite/martensite sur des éprouvettes massives en acier S355

---

C. Pouvreau<sup>1</sup> F. Josse<sup>2</sup> L. Giraud<sup>2</sup> <sup>3</sup> W. Berckmans<sup>1</sup> É. Feulvarch<sup>2</sup>

cedric.pouvreau@univ-ubs.fr

eric.feulvarch@enise.fr

<sup>1</sup> Université de Bretagne Sud, IUT de Lorient-Pontivy  
IRDL, UMR CNRS 6027  
Centre de recherche Christiaan Huygens, 56100 Lorient

<sup>2</sup> Univ. Lyon, ENISE  
LTDS, UMR CNRS 5513  
58 rue Jean Parot, 42023 St Étienne cedex 2, France

<sup>3</sup> TRA-C industries, ZAC des Olmes, 69490 Les Olmes, France

**THÈMES** – *Matériaux - Mécanique*

**RÉSUMÉ** – *Les aciers structuraux sont largement utilisés dans la fabrication de structures métalliques soudées. La présente étude vise à reproduire différents types de microstructures caractéristiques des zones soudées sur des éprouvettes massives qui seront ensuite testées en fatigue. À terme, il est envisagé de proposer une loi de comportement en fatigue pour chacune des microstructures étudiées afin d'améliorer les modèles de prédiction de durée de vie. Les résultats présentés ici concernent la première étape de reproduction et de validation de microstructures caractéristiques: martensitique, ferrito-perlitique ou bainitique.*

**MOTS-CLÉS** – *Fatigue, traitement thermique, microstructure*

## 1 Introduction

Les aciers structuraux sont largement utilisés dans la construction mécanique notamment pour la conception de structures comportant des joints soudés et soumises à des sollicitations de fatigue (mâts d'éoliennes, etc...). Sur ces structures, un des défis actuels consiste à améliorer la prédiction de la durée de vie en fatigue notamment au niveau des joints soudés. En effet, en proximité de soudure, le cycle thermique vu par le matériau génère des microstructures complexes mêlant martensite et bainite pour lesquelles les outils de prédiction de durée de vie en fatigue actuels montrent leur limites.

La tenue en fatigue cyclique d'aciers S355 et S690 non traités thermiquement a été étudiée par De Jesus *et al.* [1]. Ces auteurs mettent en évidence la différence de comportement entre les deux grades d'aciers pour différents régimes de fatigue. Cependant, dans cette étude aucun lien n'est fait avec la microstructure des deux grades présentés.

Dans le cas des aciers structuraux soumis à un cycle de soudage, les microstructures obtenues sont un mélange de bainite et de martensite. Sur des aciers traités thermiquement, Zhao *et al.* [2] ont montré que les microstructures mixtes de type bainite/martensite jouent un rôle dans le mode d'initiation et de propagation des fissures de fatigue dans le cas d'essais de fatigue à grand nombre de cycles. En revanche, l'influence du taux de martensite sur le comportement en fatigue n'a pas été étudié.

Dans notre étude, nous souhaitons évaluer le comportement en fatigue à faible nombre de cycles d'un acier S355, en faisant varier le taux de martensite. Pour cela, nous cherchons à reproduire des microstructures d'intérêt sur des éprouvettes massives à l'aide d'une machine Gleeble 3500. Dans cet article, nous présentons la première partie de l'étude qui consiste à reproduire des cycles thermiques établis à partir de courbes TRC issues de la littérature pour obtenir des états limites : martensitique, bainitique et ferrito-perlitique. Ces trois états limites, relativement faciles à caractériser, servent de référence que ce soit pour les méthodes de validation de l'état microstructural ou pour les comportements en fatigue.

## 2 Matériau et méthodes

L'acier étudié est un acier structural S355 provenant de différents lots. Les éprouvettes de diamètre 12 mm sont usinées à partir de barres étirées. La composition chimique de l'acier est donnée dans la Table 1.

TABLE 1 – Composition chimique de l'acier S355

élément	C	Mn	P	S	Si
% massique	0,23	1,6	0,05	0,05	0,05

Les essais sont réalisés sur une machine d'essai Gleeble 3500 avec un contrôle sur la température. Trois thermocouples sont implantés sur l'éprouvette : le premier (TC1) au centre de la zone de jauge sert de référence pour la régulation tandis que les thermocouples TC2 et TC3 sont situés à 10 mm de part et d'autre de TC1 servent à vérifier l'homogénéité du traitement thermique sur la zone de jauge de l'éprouvette et à contrôler le gradient thermique.

Les cycles thermiques sont programmés à partir de courbes extraites des diagrammes pour un acier S355 J2G3 [3]. Afin d'obtenir des éprouvettes martensitiques, la vitesse de trempe limite est d'environ  $100\text{ }^{\circ}\text{C}\text{s}^{-1}$  pour éviter le nez de transformation bainitique. Les éprouvettes bainitiques subissent une trempe jusqu'à  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  puis un maintien en température pendant 1200 s. On réalise une seconde trempe de  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  jusqu'à l'ambiante. Les éprouvettes à microstructure ferrito-perlitique sont obtenues à l'aide d'un refroidissement contrôlé à  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}\text{s}^{-1}$ .

Le contrôle de microstructure (type de microstructure et homogénéité) est réalisé à partir de micrographies (microscope Olympus AX70-Provis) après attaque chimique à l'aide d'une solution de Nital à 4% et mesures de dureté (duromètre Mitutoyo AVK-C2).

## 3 Résultats

Dans cet article, nous présenterons les résultats pour les trois microstructure types : martensitique, bainitique et ferrito perlitique.

### 3.1 Microstructure martensitique

La configuration retenue pour obtenir une microstructure martensitique permet d'atteindre une vitesse de trempe moyenne de l'ordre de  $300\text{ }^{\circ}\text{C}\text{s}^{-1}$  en surface d'éprouvette. Cette vitesse est suffisamment élevée pour permettre la formation d'une microstructure martensitique à coeur et ce sur une zone de jauge d'environ 20 mm. La micrographie de la Figure 1 est caractéristique des microstructures martensitiques. Le profil de dureté transverse présenté sur la Figure 4 confirme le caractère martensitique (dureté moyenne 420HV) et montre que le traitement thermique est homogène entre la périphérie et le coeur de l'éprouvette (écart relatif <10%).

### 3.2 Microstructure bainitique

La Figure 2 présente une microstructure qui ressemble à de la bainite granulaire [4] avec des îlots de perlite. La dureté moyenne de 223 HV, légèrement inférieure aux valeurs de dureté attendues (243 HV) pour des échantillons bainitiques, semble confirmer cette présence de perlite. Le long temps de maintien (1200 s à  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) est vraisemblablement à l'origine de ce passage dans le nez perlitique. Le profil de dureté est homogène entre le coeur de l'éprouvette et sa périphérie.

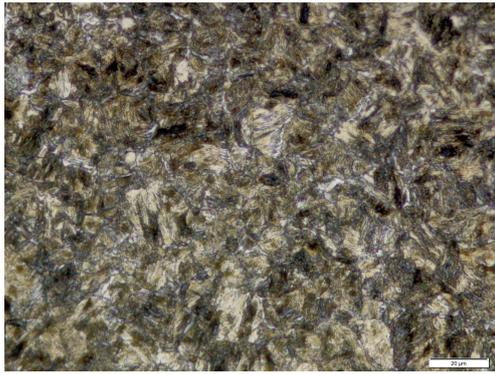


FIGURE 1 – Microstructure des éprouvettes martensitique

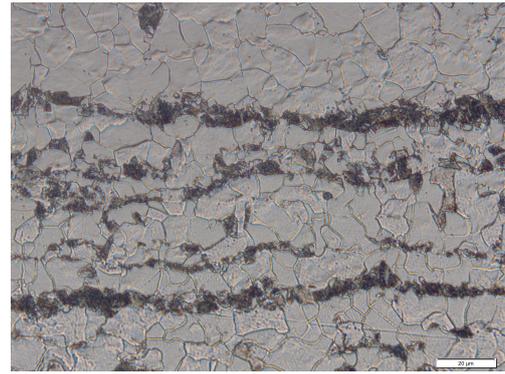


FIGURE 3 – Microstructure des éprouvettes ferrito-perlitique

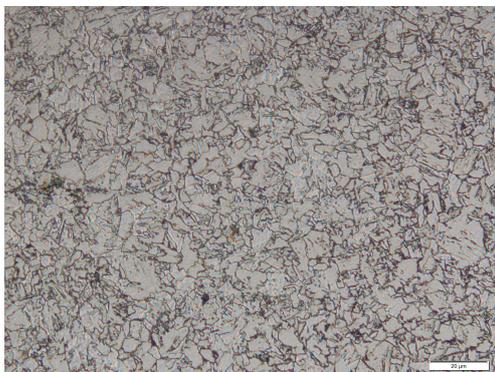


FIGURE 2 – Microstructure des éprouvettes bainitique

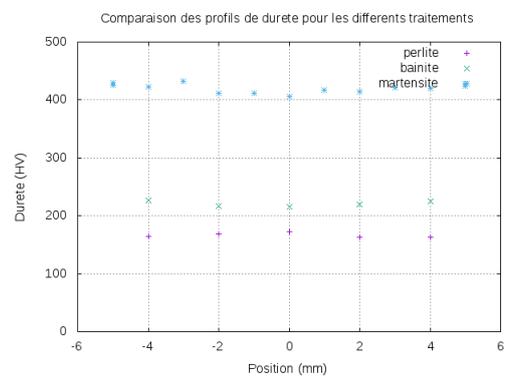


FIGURE 4 – Comparaison des profils de dureté

### 3.3 Microstructure ferrito-perlitique

La microstructure des éprouvettes ferrito-perlitiques est présentée sur la Figure 3. Elle présente principalement des grains de ferrite avec des îlots de perlite alignés dans la direction d'étirage. L'analyse d'image donne une fraction surfacique de perlite d'environ 25%. La dureté moyenne est de 164 HV, ce qui correspond aux valeurs de dureté attendues pour ce type de microstructure.

## 4 Conclusions et perspectives

La mise au point et la validation d'essais visant à reproduire des microstructure types sur éprouvette massives à l'aide d'essais Gleeble a été présentée. Dans cette première phase, trois types de microstructures ont été obtenues et validées : martensite, bainite et ferrito-perlitique. L'analyse au microscope optique et les profils de dureté obtenus montrent que, dans les trois cas présentés, le traitement thermique est relativement homogène entre la périphérie et le cœur de l'éprouvette. Le traitement thermique des éprouvettes bainitique doit être amélioré afin de supprimer les îlots de perlite qui se sont formés suite à un temps de maintien trop long. La prochaine phase de l'étude consiste à ob-

tenir de manière reproductible des éprouvettes comportant des microstructure de type bainite/martensite avec des taux de martensite variables afin de pouvoir tester leur comportement en fatigue.

## Références

- [1] Abílio M.P. de Jesus, Rui Matos, Bruno F.C. Fontoura, Carlos Rebelo, Luis Simões da Silva, and Milan Veljkovic. A comparison of the fatigue behavior between S355 and S690 steel grades. *Journal of Constructional Steel Research*, 79 :140–150, dec 2012.
- [2] Ping Zhao, Guhui Gao, R. D.K. Misra, and Bingzhe Bai. Effect of microstructure on the very high cycle fatigue behavior of a bainite/martensite multiphase steel. *Materials Science and Engineering A*, 630 :1–7, 2015.
- [3] Welding Technology II. chapter 2 TTA/TTT, pages 10–20. ISF Aachen.
- [4] George F. Vander Voort, editor. *Metallography and Microstructure*, volume 9 of *ASM Handbook*. ASM International, 2004.

# Characterization of a flow using low-cost temperature sensors

## Introduction

Fluid mechanics is the branch of engineering that studies the behavior of fluids in all their states, whether they are simple or complex fluids. With the aim of understanding the behavior of fluids by applying tools that facilitate their study. Characterizing a fluid in motion and determining its behavior is a complex process, and in many cases ideal models are used to represent fluid dynamics. The use of modern low-cost techniques, such as temperature sensors to effectively characterize the fluid and its thermodynamic properties, is a step forward in understanding fluid dynamics.



Fig. 1: Channel characterization



Fig. 2: Arduino Nano



Fig. 1: Adaptation stage with two ADS1115 converters



Fig. 3: Thermistor NTC

## Objective

The goal to be achieved with the present work is the characterization of a fluid in the change of its thermodynamic properties, performing the measurements with equipment that captures the change of the thermal properties during the test process. These teams are experienced with low cost compared to the traditionally used, based on the use of thermistors. It is intended to make use of low cost sensors as integral elements of an active system in the control.

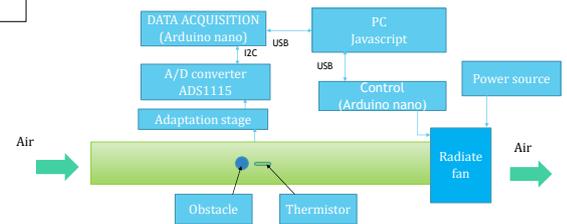


Fig. 4: System schematic

The system consists of:

- Wind channel (2.2 m)
- NTC thermistors
- Radiating fan
- Obstacle
- Control and data acquisition system (Arduino board)
- Communication interface developed in Javascript (Processing).
- Data processing (Scilab).
- Switched voltage source 12V.

## System description

An air channel 220 cm long, 12.5 cm high and 12.5 cm wide is constructed, in which the obstacle is placed at more than 4x12.5 cm to avoid the turbulence generated in the section air inlet. Behind it, the temperature sensor is installed to measure the disturbances of the obstacle.

The thermistors are of the NTC (Negative Temperature Coefficient) type, the resistance of the sensor decreases when the temperature of the fluid increases, that is to say that they have a negative temperature coefficient.

$$R_T = R_N \exp\left(B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_N}\right)\right) \quad (\text{Ec. 1})$$

$R_T$  is the resistance of the thermistor to the temperature  $T$ ,  $R_N$  is the resistance to the reference temperature  $T_N$ , and  $B$  is a specific constant of the thermistor.

$$V_0 = R_0 \left( \frac{V_{CC}}{R_{NTC} + R_0} \right) \quad (\text{Ec. 2})$$

$$T = 0,5507 V^2 + 17,69 V - 22,65 \quad (\text{Ec. 3})$$

The computer transfers the orders to the system through the ARDUINO, the latter is also responsible for transmitting the data obtained to the computer.

Using another ARDUINO, the fan is controlled by building the logical algorithm for it. The fan is installed at the end of the channel in such a way that air suction occurs. The velocity measurements are made, and the thermistor signal is adapted to the equations of the temperature indicated above.

The software for communication interface that has been used is Processing, is free license. The data obtained has been treated through Scilab, it is also free license

The fluid velocity is obtained by:

$$v = \sqrt{2 * c_p \Delta T} \quad (\text{Ec. 4})$$

Data processing according to Reynolds theory

$$U_i = \bar{U}_m + u_i \quad (\text{Ec. 5})$$

$U_i$  = instant velocity  
 $\bar{U}_m$  = average velocity  
 $u_i$  = fluctuating compound of velocity

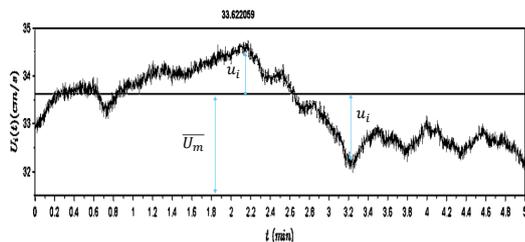


Fig. 8: Mean Velocity

## Results

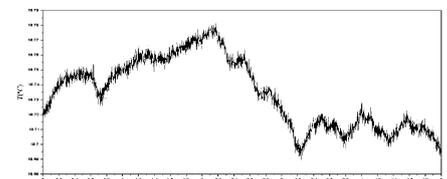


Fig. 5: Temperature

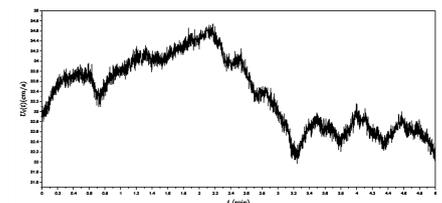


Fig. 6: Velocity

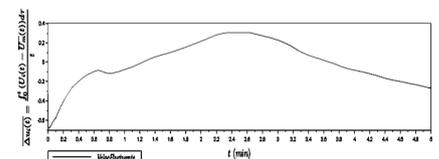


Fig. 7: Fluctuation

## Conclusion

As can be seen from the results obtained from the velocity by applying the Reynolds theory to the data, it is consistent with the velocity measured analogically, 33.63 cm/sec. It can be concluded that the technique for measuring fluid velocity by means of thermodynamic variations is effective. It can capture the disturbances that occur during the measurement process.

Also by using this type of thermistor, the behavior of a fluid with varying density can be analyzed, such as the presence of bubbles in biphasic fluids. As a result of this is the characterization of the thermodynamic properties of the flow.



## Mesure par voie optique des fluctuations de densité dans un écoulement compressible

---

Thomas Castelain<sup>1</sup>, Bertrand Mercier<sup>2</sup>,  
Emmanuel Jondeau<sup>3</sup>, Romain Blanc<sup>1</sup>, & Christophe Bailly<sup>2</sup>

thomas.castelain@univ-lyon1.fr

<sup>1</sup> IUT Lyon1, Département Génie Mécanique & Productique  
Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique, UMR 5509

<sup>2</sup> Ecole Centrale de Lyon  
Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique, UMR 5509

<sup>3</sup> Centre National de la Recherche Scientifique  
Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique, UMR 5509

**THÈMES** – *Mécanique des Fluides - Acoustique*

**Contactez les auteurs pour plus d'information.**

**MOTS-CLÉS** – *Aéroacoustique, mesure, optique, masse volumique, écoulements compressibles*

SHS / Lettres / Langues /  
Communication

---

# Règlement de compte par Twitter interposé : les 30 ans du festival Chalon

## Dans La Rue

---

Magali Bigey<sup>1</sup>

Justine Simon<sup>2</sup>

magali.bigey@univ-fcomte.fr justine.simon@univ-lorraine.fr

<sup>1</sup> IUT, Université de Franche-Comté  
ELLIADD-CCM, EA 4661

<sup>2</sup> IUT, Université de Lorraine  
CREM, 3476

**Thèmes** – Communication - Réseaux Sociaux

**Résumé** – Dans cet article, nous avons pour objectif d'analyser les formes et les usages de communication via le dispositif socionumérique Twitter, notamment à travers l'utilisation des mentions et des hashtags produits lors la trentième édition du festival Chalon dans la rue, festival transnational des artistes de rue situé dans la région de Bourgogne. Cette édition a été placée sous le signe particulier d'une réduction drastique des financements de la part de la mairie de la ville, alors que le festival attire chaque année plus de 220 000 spectateurs, donc autant de consommateurs. Ces réductions alliées à la nouvelle politique de la ville ont généré de nombreux débats, des prises de position et des postures. Nous avons analysé, dans ce contexte, les réactions du spectateur connecté, et les interactions impliquant les instances médiatiques, publiques et politiques. Nous verrons de quelle manière l'usage du réseau de microblogging Twitter permet à chacun de s'exprimer sur ces sujets, de donner son avis mais aussi de régler ses comptes, tout en mettant en scène, de manière bien souvent non consciente, un ethos, une représentation de soi.

**Mots-Clés** – Réseaux socionumériques, Interactions, Hashtags, Arts de la Rue

## 1 Introduction

Dans cette communication, nous avons pour objectif d'analyser les formes et les usages de communication via le dispositif socionumérique Twitter, notamment à travers l'utilisation des mentions et des hashtags produits lors la trentième édition du festival *Chalon dans la rue*, festival transnational des artistes de rue situé dans la région de Bourgogne.

Dans un premier temps, nous analyserons la circulation de l'information et étudierons la réception du festival sur Twitter, le premier enjeu étant de comprendre le comportement du spectateur connecté qui va au-delà de son activité de simple observateur/auditeur, quand il devient producteur de contenus durant le festival, allant parfois jusqu'à une mise en scène de ce qu'il voit, par bribes ou extraits choisis, sorte de mise en abyme numérique-artistique qu'il donne à voir à d'autres.

Ensuite, dans une problématique de communication organisationnelle et stratégique, nous analyserons la place des partenaires institutionnels et médiatiques ainsi que celle des mécènes qui ont contribué au financement et à la publicité de l'événement dans sa communication numérique.

<http://www.chalondanslarue.com/partenaires-mecenes/partenaires-mecenes/>

Nous verrons, par l'intermédiaire des méthodologies de l'analyse de discours et de l'analyse des apparitions d'un ethos dans les messages produits, quel impact communicationnel peuvent avoir ces différents acteurs, d'un côté et de l'autre de la plateforme socionumérique ; nous verrons également de quelle manière, par leur soutien, les réseaux sociaux ont contribué à la pérennité du festival, parfois mis à mal par les institutions locales.

## 2 Le contexte géopolitique

En 2015, apparaissent plusieurs rumeurs de suppression de budget pour le festival :

- Rumeurs fondées : suppression de 27% du budget du CNAR de la ville (Centre National des Arts de la Rue)
- La 29<sup>e</sup> édition commence sans inauguration
- L'atmosphère est tendue entre le maire et les organisateurs du festival

En 2016, on comptabilise de nouvelles suppressions de budget.

Pour les 30 ans de ce Festival né en 1987, de nouveaux moyens étaient nécessaires : la mairie retire à nouveau une enveloppe de 100 000 euros, et les organisateurs du festival se retournent contre le maire, Gilles Platret. De son côté, le maire incrimine l'Etat français.

En 2017, les rumeurs se vérifient et les choses commencent à beaucoup circuler sur les réseaux sociaux dont Twitter. En réalité, de nombreux enjeux se jouent de manière sous-jacente dans les réseaux socio-numériques.

- Sous des dehors de problèmes budgétaires, c'est un problème politique sous-jacent qui émerge
- Les règlements de comptes, y compris après les réunions de conseils, se transposent sur les réseaux sociaux

## 3 Le corpus, méthodes d'analyses

Notre corpus d'étude est constitué de toutes les publications contenant l'un des deux hashtags #30CDLR et #chalondanslarue et les mentions des comptes du festival, ainsi que de ceux des partenaires et mécènes. Nous avons également collecté les publications contenant les hashtags de thématisation #festival, #spectacles, #sécurité associés au festival ou même les hashtags déictiques (représentant des indications de lieux) tels que par exemple #Bourgogne, #Chalon...

Compte Twitter [@LabattoirCNAR](https://twitter.com/LabattoirCNAR) et Compte Facebook <https://www.facebook.com/labattoir/?fref=nf> @labattoir

Le corpus d'étude représente ici 208 tweets de la sphère des publics, 73% (anonymes, artistes, compagnies théâtrales, organismes d'arts de la rue, autres collectifs culturels), 150 tweets de twittos anonymes, soit 53%.

Dans ce corpus, nous avons non seulement relevé l'apparition d'un ethos (l'inscription de soi, la prise de position) dans les discours, mais également la mise au jour des représentations de différentes instances : critiques ouvertes des politiques de la ville, critique de la posture de la ministre Audrey Azoulay, à l'époque ministre de la culture et de la communication. C'est donc avec les méthodologies de l'analyse de discours, de l'approche sémantique et de l'énonciation que nous avons analysé ce corpus.

## 4 Les usages du spectateur connecté

Sur Twitter, le grand public peut prendre la parole au même titre qu'une personnalité publique, politique ou qu'un organisme. Généralement, il s'exprime avec une inscription de soi évidente dans le discours qu'il produit (un marqueur de l'ethos, de l'énonciation personnelle) :



Figure 1 : Marqueurs de l'ethos

#### 4.1 Interactions avec l'instance médiatique

On remercie, déclare, émet des critiques... tout cela en mentionnant les noms de comptes impliqués, ce qui permet à tout utilisateur du réseau social d'identifier les différents partenaires en présence, de cliquer sur leurs comptes, de se faire une opinion. On mentionne des comptes de journalistes également, dans un but critique ou de promotion, voire d'autopromotion.



Figure 2 : Exemples d'interactions avec les médias

#### 4.2 Interactions avec l'instance publique

Souvent, cela intervient sous forme de mise en abyme, de twitto *lambda* ou de compagnies qui publient des tweets en renvoyant à leurs comptes Facebook ou Instagram, qui mentionnent le festival et se mettent en scène en train de remercier diverses instances. On parle du festival, des artistes, on prend parti ou on défend, jusqu'à la revendication :



Figure 3 : Revendication contre la fermeture du centre

La figure ci-dessus dénonce les projets de fermeture du Centre national des arts de la rue et de l'espace public situé à Chalon. Ce sont des partis pris parfois très forts, ayant pour but de faire circuler l'information de la fermeture tout autant que l'indignation du twitto.

#### 4.3 Interactions avec l'instance politique

C'est peut-être, dans les divers types d'interactions, celles qui contiennent les tweets les plus virulents. En effet, on critique les pouvoirs publics sur leurs décisions (ici, principalement la coupe budgétaire drastique dans le budget habituellement alloué au festival), et on constate régulièrement que les noms d'oiseaux ne sont pas exclus

de la situation de communication :



Figure 4 : Exemple d'interactions avec les politiques

Ce dernier type d'interactions permet de mettre sur la place publique, par l'intermédiaire de Twitter, ses propres ressentis, ses propres opinions, tout en mentionnant parfois les personnes mises en cause, afin qu'elles soient informées que l'on parle d'elles en ces termes, dans le but d'amener le débat, voire de faire évoluer les choses.

### 5 Conclusions

Le fait que le festival *Chalon dans la rue* soit relayé sur les réseaux sociaux lui apporte une visibilité importante, mais également met en scène tout ce qui intervient autour, que ce soit du domaine public, médiatique ou politique. Chacun peut être à même d'intervenir, de commenter les événements, mais aussi et surtout de s'exprimer, de donner son avis, en se mettant en scène avec d'autres acteurs, dans des buts différents qui vont du soutien à la dénonciation virulente.

Le spectateur connecté a bien compris l'importance des réseaux pour son expression personnelle, et quand il peut intervenir, se faire entendre, même dans des sphères qui lui sont habituellement peu accessibles, il va le faire, Twitter permettant à chaque twitto *lambda* de s'exprimer sur un pied d'égalité avec les autres twittos par l'intermédiaire de leurs comptes. Cela rebat donc les cartes de l'expression, où tout le monde peut être entendu, vu, et peut-être même, cela peut orienter certaines décisions de politique publique.

### Références

[1] Magali Bigey, Justine Simon, *De l'usage des mentions par les journalistes sur le réseau socionumérique Twitter*. Actes du 4<sup>ème</sup> Colloque International Médias Numériques & Communication Electronique, 1-3 juin 2016. Mont Saint-Aignan : Éditions Klog, 2016, p. 517-528.

[2] Magali Bigey, Justine Simon, « Analyse des discours d'escorte de communication sur Twitter : proposition d'une typologie d'accroches et d'une typologie de mentions » In : MERCIER, Arnaud et PIGNARD-CHEYNEL, Nathalie (éd.), *Commentaires et partages d'informations sur les réseaux socionumériques*. Paris : Éditions de la MSH, 2018, p. 55-86

---

## Dyscommunication et langage outillé : Le projet COMM'HANDI

---

Karine Bartalucci<sup>1</sup>      Patrick Abellard<sup>2</sup>

k.bartalucci@adapei83.fr    patrick.abellard@univ-tln.fr

<sup>1</sup> Pôle Enfance, ADAPEI Var Méditerranée  
Laboratoire Babel, Université de Toulon

<sup>2</sup> IUT GEII  
Laboratoire IMSIC, Université de Toulon

**Thème** – *Communication*

**Résumé** – *La pathologie du langage constitue un des domaines d'application de la linguistique et illustre les interactions possibles entre celle-ci et d'autres disciplines s'intéressant au langage. Dans un premier temps, les termes langage, langue et parole sont définis comme apport indispensable aux cliniciens. Puis, nous exposons l'intérêt à faire appel aux nouvelles technologies pour développer une « parole » (en termes de communication) chez des enfants et adolescents polyhandicapés. Enfin, quelques exemples d'interfaces en tant que « langage outillé » sont présentés. Ces interfaces sont réalisées par des étudiants du Département GEII de l'IUT de Toulon en projets tutorés depuis 4 ans.*

**Mots-Clés** – *Linguistique, nouvelles technologies, pathologies du langage, polyhandicap.*

## 1 Introduction

La pathologie du langage constitue un des domaines d'application de la linguistique et illustre les interactions possibles entre celle-ci et d'autres disciplines s'intéressant au langage [1]. Le langage est un instrument de pensée qui se développe au cours de l'enfance par différents stades. La langue est aussi acquise progressivement et elle est liée aux conventions sociales d'une communauté linguistique. La parole est quant à elle, un produit individuel extériorisé à travers des organes vocaux. Le linguiste peut faire appel aux NTIC afin de développer « la parole » chez des enfants polyhandicapés après avoir identifié les possibilités de communication [1].

## 2 Communication : vouloir, pouvoir, savoir

Sous le terme « communication » il s'agit de retenir la définition princeps « d'entrer en relation » et ainsi d'analyser les termes vouloir, pouvoir et savoir [1]. Le terme *vouloir* sous-entend que la communication doit prendre en compte l'envie de communiquer. Le terme *pouvoir* exprime le fait d'être en capacité (motrice et cérébrale) d'entrer en relation. Le terme *savoir* vient démontrer que communiquer c'est apprendre à utiliser les possibilités qui s'offrent à nous.

## 3 Polyhandicap et projet personnalisé

Le polyhandicap équivaut à « un handicap grave à expression multiple, associant déficiences motrice et mentale, sévères ou profondes, entraînant une restriction extrême de l'autonomie, des possibilités de perception, d'expression et de relation » [2]. A cette définition correspondent de nombreuses expressions cliniques, en fonction de la prédominance de l'atteinte motrice ou mentale. Ce polyhandicap éventuellement aggravé d'autres déficiences ou troubles, nécessite le recours à des techniques spécialisées pour le suivi médical, l'apprentissage des moyens de relation et de communication, le développement des capacités d'éveil sensori-moteur et intellectuelles concourant à l'exercice d'une autonomie optimale [2]. Dans cette définition, on retiendra les éléments suivants : une dépendance importante à l'égard d'une aide humaine et technique permanente, proche et individualisée, un handicap grave à expression multiple et une restriction extrême de l'autonomie, des possibilités de perception, d'expression et de relation.

La loi de 2005 qui préconise l'intégration de toutes les personnes handicapées à l'école induit donc qu'elles peuvent apprendre. Toute personne polyhandicapée doit donc pouvoir bénéficier d'un accès à une éducation cognitive [3].

Le polyhandicap se manifeste sous différentes formes et peut être d'intensité très variable. Les différentes

formes de handicap qui touchent les enfants classifiés sous le terme *polyhandicap* se regroupent sur un continuum allant de l'enfant sans production orale et sans possibilités de se mouvoir à celui qui est en capacité de produire des sons et de se déplacer. Sur ce continuum viennent s'ajouter les troubles autistiques dont sont atteints certains enfants polyhandicapés.

De la même manière, nous retrouvons sur ce continuum les troubles langagiers avec des déficits de production orale, de perception et de compréhension très divers.

Pour obtenir une autonomie de communication, la prise en charge doit permettre le développement des compétences en ne s'attachant pas au manque [4].

Pour les personnes polyhandicapées, la parole est souvent absente sous sa forme articulée. Toutefois, ces personnes communiquent (si l'on retient la théorie de Palo-Alto) mais différemment et il s'agit alors de recenser les moyens dont elles disposent pour « entrer en relation » [5]. L'observation du comportement constitue un moyen efficace pour établir un bilan de communication qu'il faut compléter par la prise en compte préalable des troubles sensoriels et le recoupement des observations familiales et transdisciplinaires [6]. Par exemple, l'analyse des mouvements, du regard, des vocalises... peut permettre de définir des matériels spécifiques pour faciliter l'expression des besoins, des choix, des sentiments [7]. La difficulté principale dans l'élaboration d'un projet personnalisé de communication réside dans le fait d'élaborer un matériel spécifiquement adapté aux capacités et aux difficultés du jeune polyhandicapé. C'est pourquoi un partenariat a été mis en place depuis 2014 entre l'Université de Toulon (IMSIC – IUT) et l'ADAPEI du Var (l'Université de Toulon possédant les compétences techniques à la réalisation des projets imaginés). Cette collaboration débouche sur de nombreuses interfaces de communication réalisées par des étudiants de 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> année du département GEII de l'IUT de Toulon.

## 4 Exemples de réalisation d'interfaces

Parmi la douzaine d'interfaces réalisées par les étudiants du Département GEII de l'IUT durant les quatre dernières années, nous en avons retenus 3 dans le cadre de cette communication. Ils sont tous basés sur une co-conception centrée utilisateur car c'est le matériel qui doit s'adapter à l'enfant polyhandicapé et non pas le contraire.

La première réalisation concerne un clavier ergonomique réalisé à partir d'un jouet fourni par la thérapeute. A l'origine, ce jouet est destiné à favoriser l'éveil des enfants (formes, couleurs, sons). Il a été transformé par l'adjonction d'une interface de liaison

avec un ordinateur portable pour devenir en plus un outil de communication (Figure 1). Un appui sur chaque touche actionne un contact relié à une carte Arduino qui permet via le port USB d'activer des sons, des images ou des pictogrammes à l'écran choisis par la thérapeute (Figure 2).



Figure 1 – Clavier-jouet



Figure 2 – Constitution

La deuxième réalisation concerne une tablette ergonomique destinée à une enfant qui ne peut actionner des touches qu'avec une très faible pression exercée par le dos de sa main droite déformée (Figure 3). Après que la thérapeute ait repéré toutes les positions atteignables par la main de l'enfant, la tablette a été réalisée en fabriquant 7 touches affleurantes par découpe dans un panneau de multiplis sur lesquelles sont fixées des pièces d'adaptation réalisées avec une imprimante 3D pour venir actionner des contacteurs sonores du commerce (Figure 4).



Figure 3 – Tablette



Figure 4 – Constitution

La troisième réalisation concerne un désignateur utilisant un pointeur laser fixé sur des lunettes pour les utilisateurs privés de l'usage de leurs mains. En déplaçant la tête, l'enfant vient désigner une image ou un pictogramme affiché sur l'écran d'un ordinateur portable choisi par la thérapeute pour exprimer une réponse Oui/Non, un besoin, une envie, une douleur, etc. (Figure 5). La position choisie est déterminée par un inclinomètre fixé sur la deuxième branche des lunettes, relié à une carte Arduino connectée à l'ordinateur via le port USB. La figure 6 donne un exemple de choix d'un légume pour accompagner une viande au repas de midi. Un dépôt de brevet IUT-ADAPEI est en cours et ne permet pas de montrer tous les détails de la réalisation.



Figure 5 – Désignateur



Figure 6 – Exemple de choix

## 5 Conclusion

Nous avons pu montrer les liens existant entre linguistique et pathologies du langage et comment l'utilisation des nouvelles technologies peut aider à la mise en place d'un moyen de communication efficace et spécifique. Le matériel existant doit être adapté ou bien créé afin que l'enfant polyhandicapé, en fonction de ses capacités, puisse se l'approprier et l'utiliser. La méthode de communication choisie se doit d'être relayée de manière pluridisciplinaire afin d'en assurer la pérennité (et donner des pistes sur l'évolution possible de celle-ci et son utilisation). Plusieurs étapes sont nécessaires à la mise en place d'un moyen de communication efficace, à commencer par l'évaluation des capacités et aptitudes à entrer en relation. Le temps de réponse spécifique à cette population doit être pris en compte car celui-ci est rarement identique au nôtre. Les nouvelles technologies peuvent apporter des solutions efficaces pour faire avancer les techniques de communication. La sollicitation de différents secteurs d'activités permet de faire progresser le questionnement linguistique dans le champ des pathologies du langage à partir de l'éclairage de chacun.

## Références

- [1] Rondal J.A. & Seron X., *Troubles du langage : bases théoriques, diagnostic et rééducation*, Editions. Mardaga, 1999.
- [2] Annexes XXIV ter au décret n°89-798 du 27 octobre 1989 relatives aux conditions de prise en charge des enfants ou adolescents polyhandicapés par les établissements et services d'éducation spécialisée.
- [3] Loi n°2005-102 du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées.
- [4] Mucchielli A., *La nouvelle communication : épistémologie des sciences de l'information-communication*, Editions Armand Colin, 2000.
- [5] Picard D. & Edmond M., *L'école de Palo-Alto*, PUF, 2013.
- [6] Crunelle D., *Le polyhandicap. Aider la personne polyhandicapée à se construire et à mieux vieillir*, Ortho Edition, 2009.
- [7] Cataix-Negre E., *Communiquer autrement. Accompagner les personnes avec des troubles de la parole ou du langage : les communications alternatives*, Editions Solal, 2011.

# Industrie 4.0, 3<sup>ème</sup> révolution industrielle, transition énergétique, etc.

## l'accélération des mutations technologiques induira-t-elle une métamorphose de la pédagogie ?

Jean Vareille <sup>1</sup>

Jean.vareille@univ-brest.fr

Jean-Paul Bécar <sup>2</sup>

jean-paul.becar@univ-valenciennes.fr

<sup>1</sup> UBO, Lab-STICC UMR 6285 - Université de Brest, IUT de Brest-Morlaix, département GMP,  
CS 93837 29238 BREST CEDEX 3

<sup>2</sup> UVHC, LAMAV, CNRS 2956, IUT de Valenciennes, UVHC - Campus du Mont Houy - 59313 VALENCIENNES

**Thèmes** – Pédagogie et Technologie

**Résumé** – *Le présent article s'intéresse aux liens qui existent entre les pédagogies pratiquées dans les formations technologiques qualifiantes et diplômantes et le rythme des mutations technologiques. Tout un chacun constate dans sa vie quotidienne les effets de l'accélération des technologies de l'information et de la communication, ne serait-ce que par le fait qu'à chaque génération de système d'exploitation d'ordinateur, de téléphone portable, de téléviseur, de véhicule, de four, etc. il faut à la fois apprendre à mettre en œuvre les nouvelles fonctions des produits récents, mais aussi réapprendre à faire autrement ce que l'on savait faire auparavant. À chaque changement de téléphone portable, il faut réapprendre à téléphoner. Désormais cette accélération touche tous les domaines de la vie. Elle bouleverse non seulement les contenus des enseignements, mais aussi les outils pédagogiques comme le tableau, la table, le projecteur, les maquettes virtuelles, etc. Au-delà de ces modifications, les notions de salle de classe, de groupe de niveau, de programme, de progression, les modalités d'évaluation des connaissances peuvent être bousculées. Les mutations technologiques rapides nivellent la hiérarchie présumée des niveaux de compétences, les jeunes étudiants étant parfois plus expérimentés que les enseignants, du fait de leurs capacités d'acquisition plus vives. L'enseignant peut se trouver continuellement replacé à un niveau comparable à celui de ses étudiants !*

*Notre démarche consiste à rechercher dans l'histoire une période de mutation rapide ayant des similitudes avec la période actuelle. Celle retenue est la première révolution industrielle, lors de l'introduction à grande échelle de la vapeur et du charbon pour la puissance motrice et de la production de fer. Elle coïncide avec la révolution française, de 1789 et d'autres qui ont suivi en 1830 et 1848. Dans les domaines scientifiques et techniques le système métrique fut défini puis adopté par la majorité des scientifiques européens, les ingénieurs et les entreprises, les bases de la chimie moderne furent posées, l'électromagnétisme fut découvert, les premiers réseaux de télégraphie furent inventés et déployés, et le premier processeur de calcul fut imaginé, etc.*

*Nous regardons quelles ont été pendant cette période les mutations pédagogiques qui ont accompagné ces transformations économiques et sociales radicales. La lecture des ouvrages de cette époque fait découvrir des méthodes pédagogiques qui ont réussi extraordinairement bien, mais qui ont été délaissées plus tard sous la pression de lobbies. Pendant la seconde moitié du XIX<sup>ème</sup> siècle les accroissements de productivité obtenus par la première révolution industrielle avaient permis, de consacrer une plus grande part des ressources humaines et financières à la mise en place d'un enseignement public généralisé, gratuit et obligatoire. Le rythme d'apparition des évolutions techniques était devenu plus régulier. Ces ouvrages historiques pourraient être une source d'inspiration pour composer un modèle pédagogique nouveau, plus agile que le modèle simultané et unidirectionnel actuel, plus rapide dans la diffusion des savoir et des savoir-faire et plus résilient. Nous invitons les personnes intéressées par cette question à lire les ouvrages cités en bibliographie pour échanger, si ce n'est participer à l'élaboration du modèle.*

**Mots-Clés** – enseignement mutuel, Fab Lab, TEAL, Scale-Up.

## 1 Introduction

La période actuelle est celle de mutations considérables dans tous les domaines : Industrie 4.0, 3ème révolution industrielle, transition énergétique, etc...

Le récent sommet de Davos a rassemblé au début de cette année l'élite mondiale politique et économique [1]. Les grands de ce monde ont réfléchi aux stratégies à adopter dans un monde en mutation fulgurante [2]. Si l'humain reste au centre de toutes les préoccupations [3], l'éducation des jeunes en constitue un thème majeur. Enseignants d'IUT, les auteurs traitent ici de l'évolution des enseignements technologiques professionnalisants. Avec les objets connectés, l'intelligence artificielle, les téléphones mobiles sont devenus des compagnons de vie. La société numérique galopante induit de nouveaux comportements pédagogiques motivants et éprouvants à la fois. Le changement va jusqu'au rapport avec l'approche scientifique expérimentale. Jusqu'à présent la modélisation était considérée comme le fruit d'une réflexion humaine, or aujourd'hui des algorithmes produisent des modèles reposant sur l'apprentissage automatique. Si la collecte, l'analyse et l'interprétation de données caractérisent la statistique humaine, la technique du Big-Data reprend ce principe mais à une échelle jamais imaginée jusqu'à présent. Elle permet en outre soit de définir de nouveaux modèles, soit de pouvoir les valider comme ce fut le cas du boson de Higgs. Ces modifications entraînent pour le monde éducatif une remise à plat au quotidien des manières d'enseigner et d'innover. L'IUT est entré dans cette mouvance avec le passage du DUT au niveau licence par le PTGL (Parcours Technologique de Grade Licence) ou le DUT 180 (DUT en 180 ECTS) et ses effets sur les Programmes Pédagogiques Nationaux. La suite de l'article traite du renouveau de l'enseignement technologique. L'objectif de cet enseignement est l'acquisition de nouvelles compétences techniques par l'exercice. Nous partons de l'idée qu'il pourrait avoir lieu sans document pédagogique existant, ni enseignant formé spécifiquement pour.

## 2 État de l'art actuel

Les hypothèses précédentes écartent d'emblée la pédagogie simultanée car elle implique que l'enseignant soit la source de ce qui sera enseigné, et la classe inversée car elle présuppose l'existence de documents spécifiques pouvant être lus par les étudiants avant les cours.

Les pédagogies compatibles avec ces hypothèses coïncident avec le modèle TEAL (Technology Enabled Active Learning) appliqué au MIT et la pédagogie Scale-Up [4]. Un grand nombre d'étudiants sont rassemblés dans une vaste salle d'application pratique permettant de faire des TP autant que de travailler sur des projets. La

disposition de la salle et son mobilier facilitent les liens d'entraide entre les équipes ; l'enseignant y joue le rôle de facilitateur. Les résultats atteints par ce système pédagogique sont supérieurs à ceux de la méthode simultanée.

Les transmissions des savoir-faire par apprentissage sont assimilables à des cours particuliers. D'autres formes existent, comme le réseau associatif l'Outil en Main, dont les activités ont lieu en groupes inter-générationnels.

La grande école du numérique [5] lancée en 2015 n'a pas encore de modèle pédagogique propre.

Les Fab Lab [6] pourraient être aussi un creuset idéal pour l'innovation pédagogique.

Le rapport de Cédric Villani sur l'enseignement des mathématiques en collège, propose la création de tiers lieux propices à l'innovation pédagogique, qui ressembleraient à des laboratoires de recherche.

Actuellement une expérience de classe mutuelle, qui ressemble au TEAL, est menée au lycée Dorian par Vincent Faillet, qui y enseigne la SVT [7].

## 3 Recherche dans le passé

L'organisation actuelle des enseignements en cours magistraux, travaux dirigés et travaux pratiques est issue de la méthode pédagogique associée à la scolastique d'Abélard, qui la divisait en 3 phases : *lectio, questio* et *disputatio*. Au XVIIème siècle Jean-Baptiste de La Salle et Adrien Nyel ont créé pour les enfants pauvres une organisation pédagogique efficace, qui inspire encore les institutions actuelles. Au XVIIIème siècle Louis Gaultier introduisit une pédagogie utilisant les jeux de société. Avant la Révolution le chevalier Pawlet fonda une école pour les orphelins militaires pauvres. Il inventa une méthode d'enseignement mutuel, les enfants s'apprenant les uns aux autres, avec une participation de chacun à tous les aspects de la vie de l'institution. Pendant la période napoléonienne, Andrew Bell, et Joseph Lancaster, mirent au point en Grande-Bretagne deux méthodes d'enseignement mutuel, concurrentes l'une de l'autre, mais très proches dans leur fonctionnement. Alexandre de Laborde chargé d'une mission diplomatique en 1815 visita ces écoles. Il en rédigea une synthèse assortie d'un plan visant leur application à l'échelle de l'Europe [8]. Simultanément Charles de Lasteyrie du Saillant écrivit un ouvrage similaire [9], et s'occupa du développement de ce type d'enseignement en France sous l'impulsion de Société pour l'instruction élémentaire qu'il présida. De nombreux jeunes polytechniciens participèrent à ce mouvement [10]. Ces écoles furent d'une efficacité considérable, elles permirent d'accompagner efficacement la première révolution industrielle. Les entreprises avaient alors besoin de personnels sachant lire, écrire, compter, travailler en groupe et aptes à s'adapter aux nouveautés.

L'enseignement mutuel déclina en France après la loi

Guizot sur l'enseignement primaire de 1833 [11] [12]. Un déclin lent s'amorça aussi dans les autres pays [13]. Cependant il reste des traces de l'enseignement mutuel dans les classes rurales uniques, dans les pédagogies Montessori, Freinet, les écoles Diwan, les réunions de pairs comme les ACD, les CPN, la CCN, l'organisation de la recherche. Il est possible que l'organisation des Fab Lab avec leurs Fab Managers et leur charte, s'en inspire.

#### 4 Les qualités visées d'un modèle futur

Le modèle pédagogique proposé devrait avoir les qualités suivantes :

- l'agilité, pour produire le contenu à enseigner au fur et à mesure de l'arrivée des nouveautés,
- l'utilisation de supports plus variés favorisant la compréhension immédiate : vidéos, tutoriaux illustrés, réalité virtuelle, réalité augmentée, réalité prolongée,
- l'apprentissage mutuel par l'utilisation des moyens de communication habituels en présence, ainsi que par ceux utilisables en mode asynchrone (ENT),
- des mises en pratique synchrones, depuis n'importe où, et asynchrones, à tout moment,
- des mises en pratique interdisciplinaires, sous forme de TP ou de projets, initiant des collaborations,
- une rénovation des notions de classe, de groupe de niveau et de spécialité, favorisant le partage : apprendre des uns, apprendre aux autres, apprendre tous ensemble, les uns avec les autres,
- l'apprentissage par le faire,
- toute nouvelle notion ou nouvelle compétence doit être exercée et répétée jusqu'à atteindre une maîtrise suffisante pour aborder la suivante, la répétition se fait sous le contrôle des étudiants les plus rapides,
- chaque nouvelle compétence acquise est consignée dans un cahier de laboratoire personnel et sur un outil de suivi partagé,
- le rôle de l'enseignant n'est plus de transmettre mais de faciliter l'acquisition, et d'en gérer la progression,
- les modalités d'évaluation doivent être révisées. Elles pourraient être effectuées par une moyenne de scores ; un score serait attribué par des personnes extérieures qui reflètent la société (ou le marché), un autre attribué par le(s) facilitateur(s), un dernier attribué par les étudiants eux-mêmes,
- la méthode doit être résiliente : l'absence d'une personne doit être compensée, toute absence doit pouvoir être rattrapée, l'absence d'une connaissance doit être identifiée, mise en évidence et remédiée,
- développement durable : l'évaluation des impacts environnementaux, humains, et sociaux-économiques, doit être systématique.

Une fois ces qualités listées, il devient possible d'entreprendre une expérimentation pédagogique à laquelle peuvent être associés des spécialistes des

sciences de l'éducation.

#### 5 Expérimentation pédagogique

À Brest des étudiants en sciences de l'éducation accompagnent les groupes d'étudiants qui suivent une UE libre, qui se déroule à l'UBO Open Factory, le Fab Lab de l'université. Les résultats sont encourageants.

#### 6 Conclusion

Les bonnes idées n'ont pas d'âge, elles traversent l'histoire en demeurant d'actualité, sans vieillir. Certains des principes de l'école mutuelle du début du XIXème siècle pourraient être mis en œuvre à la fois dans les Fab Lab des Universités, ainsi que dans les autres Fab Lab, et introduits partout où ils sont pertinents.

#### Remerciements

à l'équipe de l'UBO Open Factory, Catherine Archieri, Eléonore Duhennois pour les discussions utiles, aux collègues de l'IUT de Valenciennes qui s'intéressent à ces questions, au Fab Lab 19, le plus proche du lieu de naissance de Charles de Lasteyrie du Saillant, aux collègues de l'IUT de Brest qui ont mis en place la MUP, aux collègues de l'Université d'Auckland qui s'occupent d'EdFab.

#### Références

- [1] Klaus Schwab, *The Fourth Industrial Revolution*, World Economic Forum, Davos, 2016.
- [2] Pierre Giorgini, *La transition fulgurante*, Bayard, Paris, 18 Septembre 2014, EAN 9782227487604.
- [3] Jeremy Rifkin *La nouvelle société du coût marginal zéro*, Les liens qui libèrent, Paris, 2014.
- [4] Raymond Cantin, *La salle de classe du 21e siècle*, CLIC, Numéro 73, Montréal, Avril 2010.
- [5] Le réseau « La Grande École du Numérique », <https://www.grandeecolenumerique.fr/>, depuis 2015.
- [6] Réseau Français des Fab Labs, <http://www.fablab.fr/>, depuis 2014.
- [7] Vincent Faillet, <http://www.vincentfaillet.fr/>, depuis 2015.
- [8] Alexandre de Laborde, *Plan d'éducation pour les enfants pauvres*, Nicolle, Paris, 1815.
- [9] Charles de Lasteyrie du Saillant, *Nouveau système d'éducation pour les écoles primaires*, Déterville, Paris, 1815.
- [10] Renaud d'Enfert, Jomard, *Françœur et les autres... Des polytechniciens engagés dans le développement de l'instruction élémentaire (1815-1850)*, Bulletin de la Sabix, n°54, 2014.
- [11] Michel Chalopin, *L'enseignement mutuel en Bretagne de 1815 à 1850*, PhD, Rennes, 2008.
- [12] Anne Querrien, *L'école mutuelle. Une pédagogie trop efficace ?*, Seuil, Paris, 2005.
- [13] John F. Reigart, *The lancasterian system of instruction in the schools of New York City*, PhD, New-York, 1916.

## **Le corps dans la littérature post-féministe et « post-libération sexuelle » : un baromètre des normes et idéaux contemporains**

---

Régine Atzenhoffer<sup>1</sup>

r.atzenhoffer@unistra.fr

<sup>1</sup> IUT Robert Schuman - Illkirch, Université de Strasbourg  
Département Techniques de Commercialisation, EA 3224

**Thèmes** – *Lettres - Langues*

**Résumé** – *Le roman post-féministe construit de nouvelles subjectivités à partir de la mise en pratique d'une d'écriture du moi, de l'intime et de la marginalité. A l'aube du XXI<sup>e</sup> siècle, la littérature féminine transgressive, trash, populaire et érotique, distribuée longtemps sous le manteau, s'est démocratisée et évolue à l'avenant, en évidence sur les étalages et dans les vitrines. Des œuvres post-féministes et « post-libération sexuelle » renvoient au lectorat des énoncés intimistes qui transgressent des tabous auparavant circonscrits à l'espace privé. On peut considérer le roman post-féministe comme l'expression d'une certaine vision du monde et des rapports entre les sexes. Moyen d'appréhension des imaginaires genrés et sexuels, matériau investi dans des actes militants, le corps est y devenu « un langage de l'émancipation », partie prenante du fantasme et de l'image, au cœur des débats sur sexe et genre, « une matière qui parle », « un langage de l'émancipation ». Nos travaux s'intéressent notamment au(x) corps décomplexé(s), polémique(s) et subversif(s) représenté(s) dans un contexte post-féministe.*

**Mots-Clés** – *Littérature post-féministe, trash, gender studies, corps.*

Le corps est une thématique majeure de la littérature et, de la panoplie du corps externe (du vêtement à l'écriture de la peau, aux organes) à l'imaginaire du corps interne, on pourrait dresser le panorama des dé/re/configurations, partielles ou globales du corps fictionnel dans ses avatars. Cette question du corps se pose de manière aiguë dans les fictions féminines contemporaines. Lieu de jouissance et de souffrance, le corps féminin s'y instaure non seulement comme un objet de désir, mais aussi comme un sujet désirant, sujet qui se réjouit à s'assumer dans un contact charnel. Conquis et exploré dans presque tous ses plis et replis morphologiques extrêmes, le corps féminin montre ce que jusque-là la plume des femmes-écrivains taisait. La dimension sensuelle du corps devient un choix dans la construction de l'identité du sujet féminin et l'exhibition de la nudité constitue une forme de dissidence. A présent, le corps sensuel doit être tactile, odorant et sonore.

### **Une vision stéréotypée et réifiée du corps féminin**

Dans les écrits de Charlotte Roche, Nelly Arcan, Catherine Millet, Marie Darrieussecq, Virginie Despentes, Marie L., Lorette Nobécourt, Christine Angot, Chloé Delaume et Marie-Sissi Labrèche, la représentation du corps peut être jugée dévalorisante pour la femme parce qu'elle fait du sujet féminin un Autre, un objet, et même un «abje(c)t» [1]. Cette abjection peut être comprise comme une entrée dans le trash, le dégoûtant, et l'écriture féminine contemporaine du corps évoque dès lors une atmosphère nauséuse et horrifiante. Ces auteures ont fait scandale pour l'impudeur qui les caractérise. Elles témoignent de changements profonds au sein de la société et révèlent que les récits féminins contemporains expriment la nécessité de réinventer les identités sexuées et l'écriture du corps. Leurs œuvres participent d'une «fascination, à laquelle notre société laisse une large place, pour la régression et la transparence, pour la régression en toute transparence», d'une aspiration «à montrer la simple mécanique du corps, comme si on ne la montrait pas» conjuguée à «une marchandisation de soi» dans la «vaste entreprise du spectacle» [2]. La visibilité médiatique qui leur est accordée s'expliquerait notamment «par une disposition créée par le champ littéraire et, plus largement, par la société dans son ensemble, qui délègue à ces femmes le soin de révolutionner les mœurs, et, du même coup, limitent la reconnaissance dont elles peuvent jouir, en les cantonnant dans un domaine de l'intime, certes nouvellement marqué par la sexualité au dépens des sentiments, mais qui demeure traditionnellement le leur» [3].

L'objectivation du corps féminin est au premier plan par le biais de la thématique du travail du sexe et à travers celle de la pornographie. Les héroïnes de Nelly Arcan, par

exemple, sont aliénées par des stéréotypes féminins intimement liés à la tyrannie de la jeunesse et au culte de la beauté, alimentés par la société de consommation et largement diffusés par les magazines féminins et la pornographie. Elles tentent de se conformer à tout prix aux aspects prescriptifs et uniformisants des stéréotypes de la féminité qui constituent leur seul référent identitaire. Elles rêvent de correspondre à cette image de la femme idéale, jeune, belle et hypersexualisée promulguée par la publicité. Cette image stéréotypée s'inscrit dans «une matrice d'intelligibilité» [4] : pour être reconnaissable pour les autres et pour soi-même, il faut être conforme aux normes d'intelligibilité de son genre, socialement établies et perpétuées. Or, ces critères sont produits indépendamment de la subjectivité de la jeune prostituée de luxe qui incarne la femme-objet concentrée sur sa seule apparence corporelle et son image [5]. Les héroïnes participent au «fashion-beauty complex» en s'entraînant inlassablement dans des centres de conditionnement physique et en se transformant en chair à bistouri. La féminité devient une mise en scène trompeuse du corps : les cosmétiques, la lingerie, les implants mammaires font partie, dans ces récits, des attributs d'une féminité factice. Les auteures dénoncent des idéologies incitant les femmes à être un corps à perfectionner, le formatage de ce même corps, le stéréotype de beauté de la Barbie valorisé socialement, le culte des «nymphettes». Elles développent une théorie de l'acharnement esthétique : le corps féminin, modifié afin de concorder avec une féminité centrée sur l'attrait sexuel, devient un objet modifiable d'après des normes et des standards socioculturels. En dehors de ce corps sur lequel se pose le regard, le sujet-femme n'a plus de valeur.

### **Impudeur, obscénité et excès de tout poil**

Certains éléments et matières (sécrétions vaginales et anales, sang, poils pubiens, excréments, fluides, émanations, ...) du corps qui trouvent leur place dans les œuvres post-féministes sont encore considérés, dans notre société du XXI<sup>e</sup> siècle, comme abjects. L'exposition publique textuelle de l'intimité corporelle oscille entre provocation et quête d'authenticité. La sodomie notamment est détaillée jusqu'à indisposer les lecteurs. Dévergondée, provocante, cette littérature post-féministe et «post-libération sexuelle» a perdu toute décence, toute retenue, toute pudeur comme en témoigne une certaine radicalité dans la description des pratiques sexuelles des héroïnes. Les différents thèmes abordés (masturbation compulsive, sodomie, etc.) surprennent. L'hygrophylie et la rhinotillexophagie côtoient l'ingestion de leucorrhées et du sperme des partenaires sexuels ; les pratiques sexuelles des héroïnes sont décortiquées avec une précision d'horloger. Les romans prônent la vertu des odeurs, laideurs et autres disgrâces, sur fond de fluides et de

sécrétions diverses, dénoncent l'emprise pudique, hygiénique et avilissante de la société sur les fondamentaux de l'être humain [6]. Les ouvertures du corps et ses indésirables manifestations (rot, pet, ...), ainsi que l'utilisation de celles-ci, situent les textes dans la dimension plus apparente de l'obscénité. Un certain lectorat, lassé par la fadeur des romans d'amour, se tourne vers ces lectures plus polémiques, plus dérangeantes dans lesquelles le cru, le brut et l'obscène s'imposent. Si la scène littéraire française, avec Catherine Millet, Christine Angot ou Marcela Iacub, est habituée à des romans à la crudité dérangeante et d'une liberté de ton souvent décapante, véritable défi à la société bien-pensante, cela est bien plus rare ailleurs et en Allemagne notamment, où le genre du déballage trivial et intime, *scriptura non grata* de la prose légitime, est encore confiné à une zone d'incertitude aux marges du littéraire. Les romans post-féministes trash sont loin des scènes érotico-polissonnes de E. L. James [7] : ils n'affichent pas d'intérêt pour le «BDSM» et ne surfent pas sur la vague des jeux érotiques de domination/soumission et du «conte de fesses». Cette littérature n'est pas faite pour élever les esprits vers des hauteurs irisées, vers des cimes de pensées, vers des éblouissements esthétiques de haut vol. On peut porter des appréciations contrastées sur les œuvres post-féministes et trash, dont l'insistance scatologique et les obsessions sexuelles entrent certes en résonance avec les mutations de leur temps, mais livrent aussi des configurations qui restent autant de provocations et d'interrogations.

### **Modernité du texte obscène ou obscène banalisation de l'obscène ?**

Le corps possède, dans la littérature post-féministe et « post-libération sexuelle », une importance capitale. Cinglant à contre-courant du politiquement correct, cette littérature provoque par des notations d'une extrême crudité, un florilège de jeux de mots et une large palette de vocabulaire pour désigner les parties intimes. Une nouvelle génération d'auteurs de tendance à l'exhibitionnisme radical, à la description de pratiques sexuelles extrêmes et à l'eldorado orgasmique, parle d'un corps qui sent et coule, s'oppose à sa déréalisation, à sa sanctification et, surtout, à l'hygiénisme et à l'image véhiculée par les magazines et la publicité. Assez de ces corps de femmes aseptisés, il faut du poil, tel est leur credo. Leurs œuvres soulèvent de nombreuses interrogations : doit-on les lire comme des pamphlets dénonçant le culte forcé de la beauté et de l'hygiène au féminin dans une société où le rappel omniprésent à l'image de soi est devenu tyrannique ?

La stratégie littéraire des auteurs consiste à utiliser une forme de mauvais goût agressif, l'exhibition du corporel, des pulsions sexuelles, des paraphilies et autres

alternatives aux conventions amoureuses, mais surtout une écriture d'où sont absentes les métaphores délicates et les comparaisons raffinées. Toute cette part de l'intimité, jadis tue, est évoquée comme n'importe quelle autre question de la sphère publique. D'où vient ce désir de communiquer l'obscène et que veulent dire ces auteures ? Souhaitent-elles seulement dire quelque chose ou leur but n'est-il que de choquer pour choquer, sans apparente raison si ce n'est la facilité du scandale ? L'intentionnalité des œuvres post-féministes et «post-libération sexuelle» pose un problème qu'il conviendrait d'élucider.

Suffit-il de transgresser les interdits, d'être obscène, de publier une œuvre subversive pour s'ériger en grand écrivain ? Faut-il soupçonner derrière le succès de ces romans, où la description coquine fusionne avec le propos rustre, où le bon mot polisson voisine avec le souci gynécologique, l'aboutissement d'une stratégie marketing ? Comment expliquer l'ambivalente attraction-répulsion du lectorat et sa fascination pour de telles œuvres ?

### **Références**

- [1] Hanjo Berressem, *On the Matter of Abjection, The Abject of Desire : The Aestheticization of the Unaesthetic in Contemporary Literature and Culture*, K. Kutzbach, M. Mueller, Amsterdam, Rodopi, 2007, p. 19 – 48
- [2] Guillaume Bridet, *Le corps à l'œuvre des femmes écrivains : autour de Marie Darrieussecq, Virginie Despentes et Catherine Millet, Le roman français au tournant du XXIe siècle*, B. Blanckeman, A. Mura-Brunel, M. Dambre, Paris, Presses Sorbonne Nouvelle, 2004, p. 445 – 446
- [3] *Ibid*
- [4] Butler, Judith, *Trouble dans le genre. Pour un féminisme de la subversion*, Paris, La Découverte, 2005, p. 85
- [5] Nelly Arcan, *Putain*, Paris, Seuil, 2001, p. 21
- [6] Charlotte Roche, *Zones Humides*, Paris, Annabest, 2009
- [7] E.L. James, *Fifty Shades of Grey*, New York, Vintage Books, 2012

---

## Exploration de profils types d'étudiants de DUT en vue de la personnalisation d'une application d'apprentissage en ligne

---

Karim Chibout<sup>1</sup>  
karim.chibout@unistra.fr

Antoine Moulin<sup>2</sup>  
antoine.moulin@unistra.fr

Antonio Capobianco<sup>1</sup>  
antonio.capobianco@unistra.fr

<sup>1</sup> IUT de Haguenau, Université de Strasbourg  
Icube, Université de Strasbourg / CNRS (UMR 7357)

<sup>2</sup> IUT de Haguenau, Université de Strasbourg  
Département Métiers du Multimédia et de l'Internet - MMI

### Thèmes –

- **Informatique** - Robotique - Imagerie - Électronique - Mathématiques - Matériaux - Mécanique –
- **SHS** - Lettres - Langues - **Communication**

**Résumé –** *L'article présente une recherche à visée pédagogique qui implique des enseignants de communication et d'informatique intervenant en premier cycle multimédia (DUT Métiers du Multimédia et de l'Internet à IUT de Haguenau). L'objectif principal est l'amélioration des contenus et des fonctionnalités de Colibri, une plateforme de e-learning dédiée à l'apprentissage des langages informatiques du Web, principalement au moyen d'exercices auto-corrigés. Cet outil logiciel est utilisé en complément des modules d'informatique délivrés en présentiel. Figé et uniforme dans sa version actuelle, Colibri ne répond pas aux attentes et besoins de tous les apprenants compte tenu de leur diversité d'origine (le DUT MMI accueille presque toutes les filières de bac) et d'intérêts (informatique, communication, audiovisuel, versant créatif, ...). Aussi, avons-nous jugé pertinent de préciser les profils des étudiants (i.e. centres d'intérêt académiques, styles d'apprentissage, ...), de dégager une typologie des erreurs les plus fréquentes rencontrées sur la plateforme et de coupler ces données afin d'envisager des contenus personnalisés (consignes, indices d'aide, compléments de cours, etc.) en fonction des difficultés et des préférences identifiées. Le présent travail rend plus précisément compte du premier volet de l'étude. Nous avons établi les profils de personnalité d'un grand nombre d'étudiants du DUT selon leurs intérêts professionnels. A l'issue des analyses, les profils types observés se sont révélés en adéquation avec l'orientation de spécialisation du Semestre 4 d'une part, et avec la réussite dans les modules d'informatique d'autre part.*

**Mots-Clés –** Profils-types ; personnalisation ; e-learning ; informatique

## 1 Introduction

Cette contribution est le fruit d'une collaboration inter-enseignements dans le cadre du DUT Métiers du Multimédia et de l'Internet (MMI) à l'IUT de Haguenau. Elle implique principalement un enseignant en charge du module de Projet Personnel et Professionnel et deux autres, intervenant dans le pôle scientifique de la formation en programmation Web.

Les enseignements d'informatique en présentiel sont complétés par une application d'auto-apprentissage en ligne dénommée *Colibri* (pour *Cours libres interactifs*). Cette plateforme ouverte - colibri.unistra.fr - propose des exercices autocorrigés pour se former aux langages Web : les étudiants saisissent du code qui est interprété puis comparé à un corrigé. *Colibri* a été pensée pour être utilisée en autonomie par toute personne souhaitant s'initier aux langages du Web et également comme outil d'aide à l'enseignant. Celui-ci peut créer des classes virtuelles, proposer des TP tests aux étudiants, concevoir des exercices ou utiliser ceux partagés par d'autres enseignants. Pour l'heure, des cours et exercices de SQL et PHP ont été mis à disposition par les enseignants en charge des modules correspondants. Toutefois les contenus de cours, les séquences d'exercices et les corrigés proposés par le dispositif de e-learning sont figés et ne répondent pas nécessairement aux besoins et au niveau des apprenants, en raison de la forte hétérogénéité qui caractérise la population étudiante inscrite dans la formation MMI. Le DUT est ouvert à tous les types de bac et couvre des domaines très larges – programmation informatique, infographie, communication, audiovisuel, ou encore réseaux – pour lesquels le degré d'intérêt varie grandement d'un étudiant à l'autre.

Le présent travail ambitionne de caractériser plus avant les profils étudiants et les difficultés d'apprentissage qu'ils rencontrent sur *Colibri*, avec pour objectif final de personnaliser les contenus offerts par l'outil et d'améliorer plus globalement la qualité de la formation.

## 2 Démarche générale

Notre recherche s'organise en quatre grandes étapes :

1. Le recueil et l'analyse des résultats individuels des tests de personnalité et de style d'apprentissage dans le cadre du PPP.
2. L'analyse des traces d'activité des apprenants à l'issue des sessions sur *Colibri* : nombre d'erreurs, types d'erreurs, nombre de tentatives, ...
3. La mise en correspondance des profils types et des erreurs types (pour discerner les concepts informatiques non acquis ou qui posent problème) suivie d'une enquête qualitative post-sessions dans le but de préciser les manques ou les difficultés (cours et exercices) sur la plateforme.

4. Pour finir, la conception et la mise en œuvre de contenus différenciés ; par exemple : consignes, indications / indices, rappels de cours, ...

La figure 1 récapitule le cheminement suivi pour aboutir à l'objectif de l'équipe pédagogique.

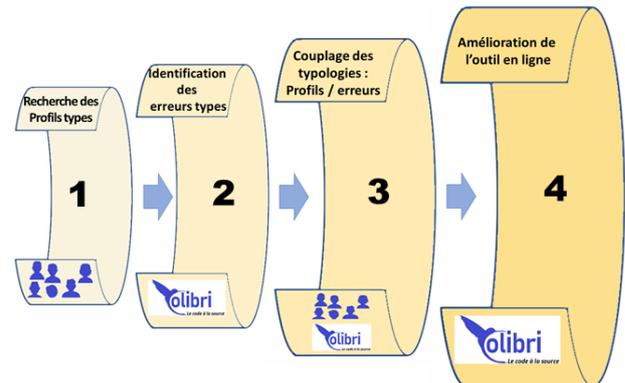


Figure 1 – vue synthétique de la démarche générale de l'étude

Nous présentons dans la suite le premier volet de cette recherche qui s'appuie pour l'essentiel sur l'inventaire des intérêts professionnels de Holland appelé RIASEC [1].

## 3 L'analyse des profils types

La première partie du module Projet Personnel et Professionnel (fin du S1) concerne la connaissance de soi : au travers de questionnaires de personnalité, chaque étudiant va expliciter ses qualités, centres d'intérêt, compétences. Il amorce ainsi une réflexion sur ses futurs choix d'études et de carrière. Dès cette période, la majorité des étudiants ont une idée assez précise de leur orientation : ils ont d'ores et déjà des centres d'intérêt académiques marqués avec une motivation et des performances (notes) tout aussi marquées dans les modules d'enseignement associés. De même, la pré-spécialisation offerte au S4 (option *informatique*, *art-infographie*, *audiovisuel*, *3D* ou *communication*) est le plus souvent décidée très tôt en première année.

### 3.1 Le modèle RIASEC en quelques mots

Parmi les tests utilisés en PPP, le modèle RIASEC permet de déterminer la personnalité d'un individu relativement à ses intérêts professionnels, ses activités préférentielles et ses compétences. Il distingue six types : *Réaliste* (R), *Investigateur* (I), *Artistique* (A), *Social* (S), *Entrepreneur* (E) et *Conventionnel* (C).

- Le type R est pratique, centré sur les aspects techniques (objets, machines).
- Les types I et A sont centrés sur les idées : l'un est analytique, autonome et rationnel ; l'autre imaginatif et intuitif.
- Les types S et E sont centrés sur les personnes : le premier est coopératif, dans une relation d'aide ; le second davantage compétitif et ambitieux.

- Le type C enfin est précis, méthodique, centré sur les données.

Communément, un profil (professionnel) est défini par la combinaison du type principal et de deux sous-types (par exemple : "AIS"); nous nous limiterons dans cet exposé à la dominante de premier niveau.

### 3.2 Méthode

Le recueil des données a demandé plusieurs années (5 promotions) afin de disposer d'un nombre suffisant de sujets d'étude. Quant à la passation du test RIASEC, elle s'est déroulée sur machine durant les TDs de PPP au moyen d'un questionnaire (composé de 60 questions) présenté dans un fichier de tableur. Au total, 254 étudiants ont répondu à tout ou partie des tests proposés.

### 3.3 Résultats

La première statistique digne d'intérêt concerne la répartition des profils RIASEC pour l'ensemble des répondants. La figure 2 montre que le profil le plus fréquent des étudiants en multimédia s'apparente à la personnalité de type *Artistique* (A). Il représente 40,5 % du total, suivi (de loin) par le type S avec seulement 14,6%.

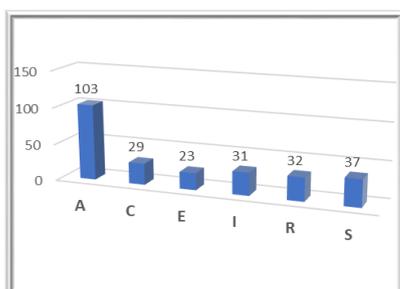


Figure 2 – répartition des étudiants selon leur dominante principale RIASEC.

Au premier abord surprenant, le caractère dystrophique du type A éclaire sur la spécificité de l'informatique multimédia par rapport à d'autres formations du domaine, résolument plus techniques (DUT Informatique ou R&T par exemple). Ainsi, l'infographie, qui fait partie du cœur de métier, requiert créativité et sensibilité esthétique. Et, de façon plus générale, il apparaît que l'aspect esthétique d'un site Internet ou d'une application multimédia se révèle, aux yeux des étudiants, au moins aussi important que ses qualités ergonomiques ou ses fonctionnalités techniques.

Dans un second temps, nous avons formulé l'hypothèse d'un lien entre le profil de l'étudiant et son choix de spécialisation S4 (déclaré pour l'actuelle promotion en 1ère année ou avéré pour les promotions antérieures). A l'issue de l'analyse des données, nous constatons une congruence forte entre profil RIASEC et choix de parcours (test d'indépendance : Khi-deux=113,7 ; p<.001) comme indiqué dans le tableau ci-après.

Table 1 – tableau de contingence (choix S4 / type RIASEC)

		RIASEC – dominante principale					
		A	C	E	I	R	S
Option S4 Souhaitée ou effective	3D	13	6	<b>11</b>	7	6	12
	ART	<b>58</b>	3	1	5	5	2
	AV	12	5	6	4	<b>14</b>	10
	COM	1	1	0	1	0	<b>7</b>
	INFO	19	<b>14</b>	5	<b>14</b>	7	6

Dans le détail, les comparaisons multiples font apparaître des effectifs significativement supérieurs (en gras et rouge dans la table 1) pour des choix d'orientation caractéristiques en fonction du profil établi : les types C et I présentent des affinités avec l'informatique, les types R tendent à s'orienter vers l'audiovisuel (AV), les A font davantage le choix de l'option art, les E montrent un attrait pour la 3D et, pour finir, les S se tournent principalement vers la communication.

Par ailleurs, les notes obtenues sur trois semestres dans les modules d'informatique (programmation Web, programmation avancée, bases de données, ...) sont meilleures (ANOVA) pour le profil type INFO (i.e. C&I réunis). De façon inattendue, les types ART(A) réussissent généralement mieux que les profils E, R et S ; les deux derniers étant les plus en difficulté.

Le couplage de ces différents résultats nous conforte dans notre idée de catégorisation focalisée sur les intérêts. Elle manifeste en effet une faculté prédictive sur les choix d'orientation des étudiants mais également sur la performance académique dans des disciplines particulières.

## 4 Conclusion

La typologie de profils proposée constitue un point d'entrée intéressant pour identifier les variables individuelles susceptibles d'expliquer les difficultés (vs facilités) repérées dans la compréhension des concepts propres à la programmation. Bien que les caractéristiques cognitives d'un individu soient multiples et complexes, nous pensons que l'appariement des données présentées ici avec celles issues d'autres tests comme le style d'apprentissage [2] et, conjointement, avec l'analyse des erreurs récurrentes sorties de *Colibri* contribuera grandement à notre objectif final : personnaliser la plateforme d'apprentissage.

## Références

- [1] John L. Holland, *Making vocational choices: A theory of vocational personalities and work environments*. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources, 1997.
- [2] David A. Kolb, *Experiential Learning: experience as the source of learning and development* NJ: Prentice-Hall, 1984.

## Vers une synergie recherche, formation et monde du travail en langue vivante étrangère

---

Nicole Lancereau-Forster<sup>1</sup>

nicole.forster@iut-tlse3.fr

Josiane Martinez<sup>2</sup>

josiane3.martinez@gmail.com

<sup>1</sup> Département de Génie Chimique Génie des Procédés, IUT A, Université Paul Sabatier, Toulouse  
Laboratoire Inter-universitaire de Recherche en Didactique LANSAD (LAIRDIL), EA 7415

<sup>2</sup> Laboratoire Inter-universitaire de Recherche en Didactique LANSAD (LAIRDIL), EA 7415

**Thèmes** –SHS - Lettres - Langues - Communication -

**Résumé** – *Le présent exposé détaille les 2 premières études effectuées au sein d'un programme de recherche intitulé Observatoire de l'Usage des Langues en entreprise (OULis) qui se veut interface entre le monde du travail et l'enseignement-apprentissage des langues vivantes étrangères à l'université. Après une présentation du cadre théorique, nous nous intéressons à une première recherche concernant la gestion linguistique dans les entreprises et à l'importance des langues pour le recrutement et l'employabilité. Puis une seconde recherche est évoquée, celle-ci traitant plus directement des tâches effectuées dans la LVE sur le lieu du travail et effectuée auprès d'employés des entreprises et plus particulièrement des anciens étudiants du Département GCGP de l'IUT A de Toulouse. Cette présentation insiste sur la nécessaire synergie que propose l'Observatoire entre recherche, formation et monde du travail, afin de permettre aux enseignants de langue, comme cela est déjà le cas dans les matières techniques et scientifiques, d'être en lien continu et durable avec le monde du travail et de pouvoir ainsi mieux connaître l'usage des LVE dans ce contexte.*

**Mots-Clés** – *Langue de formation, Langue de travail, Anglais de spécialité, Didactique de l'anglais*

## 1 Introduction

Un écart entre l'anglais comme langue de formation à l'université et l'anglais comme langue de travail dans les entreprises est souvent reconnu (Lancereau-Forster 2013). Généralement dû à la méconnaissance du milieu professionnel ou à la difficulté d'accès à ce milieu, cet écart peut être également lié à un manque d'articulation entre les résultats de la recherche et l'aspect didactique. Ainsi, une double problématique s'ouvre. Du côté des professionnels : comment connaître et faire connaître les besoins et les attentes en langue de travail? Du côté des enseignants de langue : comment connaître et répercuter ces besoins et ces attentes dans la formation aux langues à l'université?

Pour y répondre, un programme de recherche a été ouvert au LAIRDIL avec la création de l'Observatoire de l'Usage des Langues en entreprise (OULis).

## 2 Présentation de OULis

Ce dispositif vise à servir de lieu d'information, d'interface, de coopération entre l'université et les différents domaines industriels et économiques pour l'apprentissage et l'utilisation des langues. Il a pour principale mission de contribuer à la recherche et à l'enseignement concernant les langues de formation à l'université et les langues de travail en entreprise. Il est appelé à participer à des études prospectives.

Notre cadre théorique se situe au carrefour de la didactique de l'anglais, de l'ergonomie cognitive, analyse du travail (Leplat 1997, (de) Montmollin 2007) et de la didactique professionnelle, analyse du travail pour la formation des adultes (Pastré 2011).

Pour mettre en perspective notre problématique, nous avons recours à une visualisation que nous nommons le Triangle d'Usage Professionnel (TUP) de la langue vivante étrangère (LVE). Ce triangle a été élaboré par projection du triangle didactique de base (apprenant, enseignant, savoir) de Jean Houssaye dans le domaine professionnel.

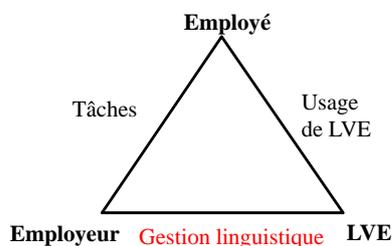


Figure 1 - Triangle d'Usage Professionnel de LVE (TUP)

Nous avons donc retenu pour l'Observatoire les 3 pôles que sont Employeur, Employé et Langue Vivante Etrangère ainsi que 3 axes de recherche à savoir : gestion linguistique, tâches dans l'entreprise et usage de la LVE.

A ce jour, 2 recherches ont été menées sur le terrain et vont être évoquées ci-après.

## 3 Gestion linguistique dans les entreprises

La question étant : comment se joue la gestion linguistique dans les entreprises ? Celle-ci concerne l'axe employeur-LVE (TUP) et en particulier le rôle et l'usage des LVE dans les entreprises au niveau de l'employabilité et du recrutement ainsi que de l'évolution professionnelle et de la promotion.

Cette recherche a été menée auprès de DRH et directeurs d'entreprises. 3 points ont retenu notre attention pour les IUT.

### 3.1 L'anglais comme critère de recrutement et d'employabilité

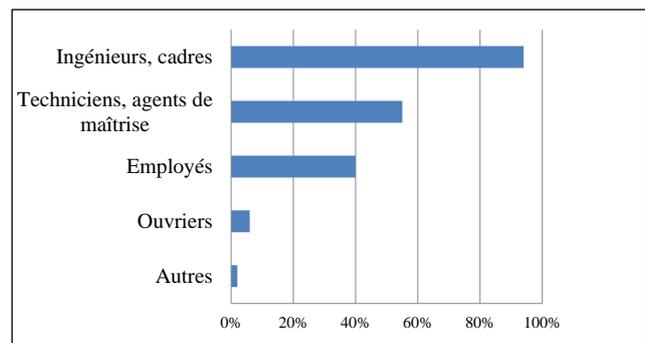


Figure 2 – Anglais comme critère de recrutement

### 3.2 Critères liés aux langues dans le CV

De même, il est important d'étudier les critères souvent les plus déterminants liés aux langues dans le CV, afin de préparer nos étudiants à ces attentes.

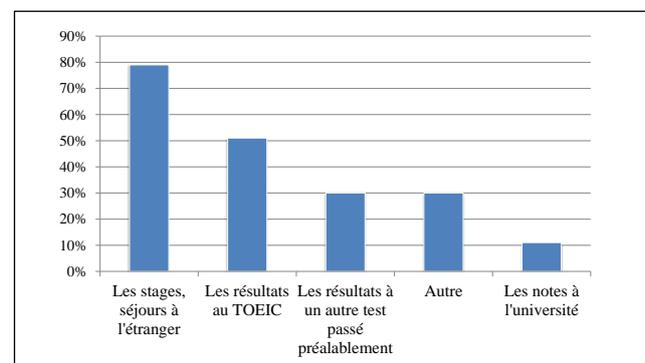


Figure 3 – Critères liés aux langues dans le CV

### 3.3 Anglais et promotion

Il se révèle également utile de connaître l'importance de l'anglais pour la promotion des employés ; d'une part comme favorisant la promotion ou la participation à des projets à l'étranger, mais d'autre part pouvant freiner cette promotion.

### 4 Données concernant des anciens étudiants de GCGP, IUT « A », Toulouse

Une seconde recherche a concerné les employés des entreprises et les axes « Tâches » et « Usages » - du Triangle d'Usage Professionnel de LVE (TUP). Parmi eux, nos recherches ont porté sur d'anciens étudiants du département GCGP de Toulouse et leur propre utilisation de l'anglais sur le lieu de travail, soit en tant que techniciens (Bac+2, +3), soit en tant qu'ingénieurs ou cadres (Bac > 3).

Nous avons examiné la fréquence de leur utilisation de la langue étrangère, variable selon les entreprises mais très rarement inexistante.

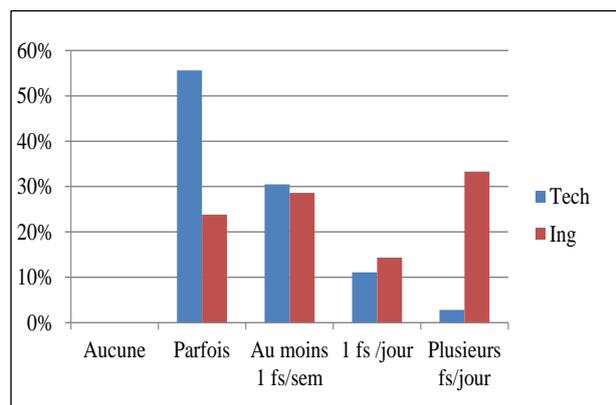


Figure 4 – Fréquence d'utilisation de l'anglais

Ensuite, nous avons pu établir un classement des compétences langagières les plus souvent utilisées par ces employés.

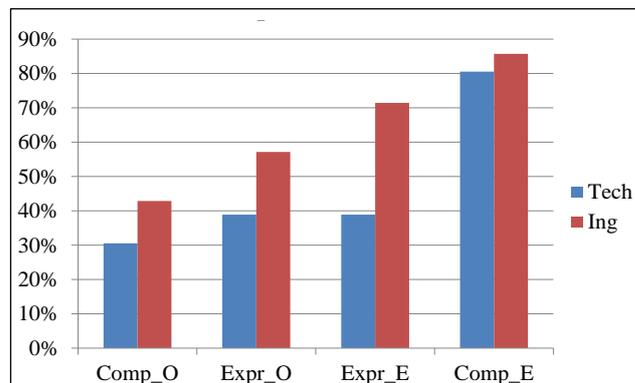


Figure 5 – Compétences en LVE utilisées au travail

Enfin, les tâches orales ainsi que les tâches écrites ont été explorées et classées selon le degré de difficulté qu'elles représentaient pour les employés.

### 5 Conclusion

Nous avons souhaité montrer que ces données particulières et les données d'OULis en général sont à prendre en compte pour l'enseignement des langues dans le supérieur. Elles le sont notamment pour les IUT et leur mission de pré-professionnalisation, grâce à la passerelle offerte avec les entreprises. Elles devraient aider les enseignants de langue dans leur choix d'activités pour la classe et dans les perspectives de remédiation que nous aborderons lors d'une prochaine recherche, afin qu'ils soient en prise directe et durable avec le monde du travail.

L'Observatoire et des programmes similaires de recherche devraient permettre de rendre effective dans le domaine des langues, la synergie entre l'université et les entreprises qui existe déjà dans les domaines scientifiques et techniques.

### Références

- [1] Lancereau-Forster Nicole, *L'anglais comme langue de formation en IUT et langue de travail dans le domaine aéronautique industriel*, Thèse de doctorat, Toulouse : Université de Toulouse 3, 2013
- [2] Leplat Jacques, *Regards sur l'activité en situation de travail. Contribution à la psychologie ergonomique*, PUF : Paris, 1997
- [3] (de) Montmollin Maurice (Ed.) (2e ed), *Vocabulaire de l'ergonomie*, Toulouse, Octarès, 2007
- [4] Pastré Pierre, *La didactique professionnelle*, Paris : Presses Universitaires de France, 2011

## « Les filles naissent dans les romans, les garçons dans les calculettes » : Impact des stéréotypes de genre sur les performances scolaires

---

Florence Loose<sup>1</sup>

Florence.loose@umontpellier.fr

<sup>1</sup> IUT, Université de Montpellier  
Laboratoire MRM, EA4557

**Thème** – SHS

**Résumé** – *A l'école, un stéréotype de genre véhicule l'idée que les garçons sont plus doués que les filles en maths. De nombreuses recherches ont montré que cette croyance aurait un impact négatif sur les auto-évaluations et les performances des filles en maths. En effet, selon la théorie de la Menace du Stéréotype, le fait d'être la cible d'un stéréotype négatif lié aux compétences induit une pression psychologique lors d'une évaluation qui interfère alors avec les performances. L'administration de tests standardisés comprenant des épreuves verbales et mathématiques est une pratique courante en contexte académique. Deux études de terrain menées auprès de collégien(ne)s ont révélé que l'ordre de passation des deux tests (« verbal-maths » vs « maths-verbal ») a une influence significative sur les performances et auto-évaluations des filles en maths. Celles qui passent d'abord le test verbal réussissent ensuite aussi bien que les garçons le test de maths et s'évaluent comme aussi compétentes qu'eux dans ce domaine, alors que celles qui débütent par le test de maths ont des scores inférieurs aux garçons à ce test et s'estiment moins douées qu'eux en maths. Les implications de ces résultats pour les pratiques éducatives seront discutées.*

**Mots-Clés** – *Stéréotypes de genre, Menace du stéréotype, Performances en mathématiques, Ordre des tests*

## Introduction

Dans nos sociétés occidentales, les inégalités entre garçons et filles à l'école se sont considérablement réduites ces dernières décennies. Les enquêtes PISA menées périodiquement par l'OCDE indiquent même que les filles réussissent globalement mieux que les garçons à l'école.

Pourtant, en mathématiques, une moindre performance des filles par rapport aux garçons est encore souvent relevée (Stoet et Geary, 2013) [1]. Et à performances égales avec les garçons, les filles se déclarent malgré tout plus anxieuses qu'eux vis-à-vis de leurs notes dans ce domaine (Enquête PISA, 2012).

Pour expliquer cet état de fait, la psychologie sociale s'est intéressée à différents facteurs parmi lesquels les stéréotypes de genre.

Quelle peut être l'influence des stéréotypes de genre en contexte scolaire ? Comment agissent-ils ? Comment en limiter les effets négatifs pour ceux qui en sont victimes ? C'est à ces questions que la présente communication tentera de répondre.

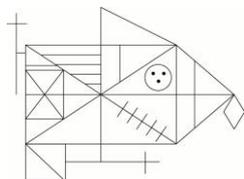
## Les stéréotypes de genre dans le domaine scolaire, et leur impact sur les performances

Les stéréotypes de genre sont des croyances partagées concernant l'ensemble des caractéristiques (traits, émotions, comportements) que les femmes et les hommes sont censés posséder du seul fait de leur sexe.

A l'école, un stéréotype de genre largement mis en évidence concerne les compétences scientifiques : « *les garçons seraient plus doués que les filles en mathématiques et en sciences de manière générale* ».

Ce type de croyance aurait un impact puissant sur les performances des filles en mathématiques. A titre d'illustration, Huguet et Régner en 2007 [2] ont demandé à des élèves de 11 à 13 ans de reproduire de mémoire, à main levée, une figure géométrique complexe (cf. figure 1 de Rey-Osterrieth).

Figure 1 – Figure complexe de Rey-Osterrieth



Lorsqu'il est dit aux élèves qu'il s'agit d'un exercice de géométrie, les filles réussissent moins bien que les garçons. Mais lorsqu'on leur dit qu'il s'agit d'un exercice de dessin, les filles obtiennent des résultats meilleurs que les garçons, alors que le test est rigoureusement le même dans les deux cas. Ainsi, la seule évocation de la géométrie (référence directe aux mathématiques)

constituerait ici un obstacle pour les filles. Tout se passe comme si très tôt elles intégraient l'idée reçue selon laquelle elles seraient moins aptes en mathématiques, au point de perdre leurs moyens devant une épreuve de ce type.

Autrement dit, ce stéréotype pourrait être si bien ancré dans le cerveau des filles qu'il en viendrait à altérer leur perception de leurs compétences en mathématiques, leurs performances réelles, et par voie de conséquence, très certainement leurs comportements (par exemple: leurs choix d'orientation, avec une sous-représentation des femmes dans les filières scientifiques, techniques et informatiques).

## Comment agissent les stéréotypes de genre sur les performances en mathématiques des filles ?

La théorie de la Menace du Stéréotype (Steele et Aronson, 1995) [3] permet d'expliquer ce phénomène. Le fait d'être la cible d'un stéréotype négatif, et de pouvoir potentiellement être jugé en fonction de ce stéréotype induirait chez la cible une pression psychologique supplémentaire (en plus de l'anxiété déjà induite par le fait d'être évalué). C'est cette pression (créant une distraction qui diminue les ressources cognitives) qui viendrait interférer avec les performances. Les résultats obtenus dans de nombreuses études sont cohérents avec ces hypothèses.

## Comment limiter les effets négatifs des stéréotypes de genre sur les performances en mathématiques des filles ?

Des travaux menés jusqu'à présent en laboratoire ont montré que la Menace du Stéréotype en mathématiques chez les filles peut être atténuée quand, avant de passer une épreuve de maths, des stéréotypes positifs concernant les filles sont activés (Ambady et al., 2001) [4].

L'administration de tests standardisés comprenant des épreuves verbales et mathématiques est une pratique fréquente en contexte scolaire (évaluation des acquis en primaire et au Collège, OECD-PISA,...). Il est alors essentiel que leur administration soit aussi équitable que possible pour l'ensemble des élèves.

Dans deux études de terrain (Smeding, Dumas, Loose, & Régner, 2013) [5], nous nous sommes demandé si l'ordre de passation des tests (verbal et maths) pouvait avoir un impact sur les performances en maths des filles. En effet, si elles sont stéréotypées négativement dans le domaine des mathématiques, elles le sont en revanche positivement dans le domaine verbal (Skaalvik & Rankin, 1990) [6].

L'hypothèse était la suivante : passer le test verbal en premier devrait activer chez les filles le stéréotype positif (« *les filles sont meilleures que les garçons* »; augmentant alors leur confiance en soi), et les protéger de la menace

du stéréotype sur le test de maths subséquent.

Dans une première étude, 1127 collégiens (586 filles et 541 garçons;  $M = 14$  ans) en classes de 4<sup>ème</sup> ont passé des tests standardisés, adaptés à leur niveau scolaire, en mathématiques et en français.

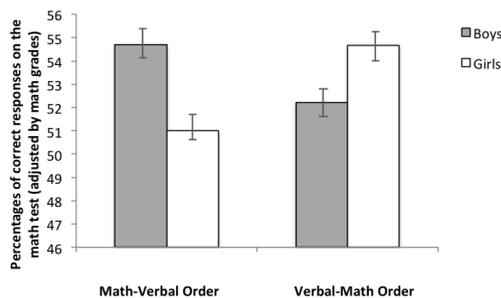
La moitié d'entre eux répondait d'abord au test de français puis au test de maths, tandis que l'autre moitié commençait par le test de maths et terminait par le test de français.

La mesure recueillie était le pourcentage de réponses correctes obtenues à chacun des deux tests.

Les analyses statistiques (ANCOVA) ont révélé que lorsque le test de maths est passé en premier, les filles obtiennent de moins bonnes performances à ce test que les garçons ( $F(1, 1121) = 5.16, p < .03$ ).

En revanche, quand le test verbal est effectué en premier, elles obtiennent d'aussi bons scores en maths que les garçons ( $F(1, 1121) = 2.43, ns$ ), et de meilleurs scores en maths que les filles de l'autre condition qui avaient débuté par le test de maths ( $F(1, 1121) = 5.46, p < .03$ ).

Table 1 – Pourcentages de réponses correctes des filles et des garçons au test de maths, en fonction de l'ordre de passation des tests



En ce qui concerne les performances au test verbal, elles ne sont pas affectées par l'ordre de passation des tests; d'une manière générale, les filles réussissent un peu mieux ( $M = 56.56$ ) que les garçons ( $M = 54.77$ ;  $F(1, 1121) = 5.35, p < .03$ ).

Une seconde étude menée auprès de 498 élèves de classes de 5<sup>ème</sup> (267 filles et 231 garçons,  $M = 13$  ans) a permis de répliquer ces résultats.

En outre, ici, nous avons cherché à savoir si des variables autres que la performance pouvaient également être affectées par l'ordre de passation des tests (variables liées à la perception et à l'auto-évaluation des élèves dans les deux domaines : verbal et mathématiques). Après avoir complété les deux tests, tous devaient indiquer: 1) à quel point il était important pour eux d'être bons dans les domaines mathématiques et verbal, 2) à quel point ils estimaient que travailler sur un exercice de maths et un exercice verbal était intéressant, et 3) comment ils

s'évaluaient eux-mêmes dans ces deux domaines.

Les analyses indiquent que garçons et filles jugent important d'être bons dans les deux domaines, quel que soit l'ordre de passation des tests. En revanche, tous reportent plus d'intérêt pour les maths quand ils ont passé le test verbal en premier ( $F(1, 488) = 12.95, p < .001$ ). Enfin, les filles s'évaluent comme moins douées en maths que les garçons quand elles ont effectué le test de maths en premier, mais aussi douées qu'eux quand elles ont d'abord répondu au test verbal.

En résumé, l'ordre de passation « maths-verbal » aurait un impact négatif pour les filles uniquement, et pour les performances en maths uniquement. L'ordre de passation « verbal-maths » est d'autant plus intéressant qu'il bénéficie aux filles sans nuire significativement aux garçons.

## Conclusion

Ces résultats sont encourageants: une méthode simple consistant à fixer l'ordre des tests dans les épreuves standardisées pourrait permettre de diminuer la menace du stéréotype en maths chez les filles (i.e., d'optimiser leurs performances dans ce domaine), sans désavantager pour autant les garçons.

Agir sur la situation permettrait donc de contrecarrer les effets délétères des stéréotypes sur les performances, et par là même de faire en sorte que l'environnement scolaire devienne un lieu plus équitable.

## Références

- [1] Stoet, G., & Geary, D. C., (2013). Sex differences in mathematics and reading achievement are inversely related: within- and across-nation assessment of 10 years of PISA data, *PLoS ONE* 8, e57988.
- [2] Huguet, P., & Régner, I. (2007). Stereotype threat among schoolgirls in quasi-ordinary classroom circumstances. *Journal of Educational Psychology*, 99, 545-560.
- [3] Steele, C. M., & Aronson, J. (1995). Stereotype threat and the intellectual test performance of African Americans. *Journal of Personality and Social Psychology*, 69, 797-811.
- [4] Ambady, N., Shih, M., Kim, A., & Pittinsky, T.L. (2001). Stereotype susceptibility in children: Effects of identity activation on quantitative performance. *Psychological Science*, 12, 385-390.
- [5] Smeding, A., Dumas, F., Loose, F., & Régner, I. (2013). Order of Test Administration: An Ecological Intervention to Reduce Stereotype Threat on Girls' Math Performance. *Journal of Educational Psychology*, 105, 3, 850-860.
- [6] Skaalvik, E. M., & Rankin, R. J. (1990). Math, verbal, and general academic self-concept: The internal/external frame of reference model and gender differences in self-concept structure. *Journal of Educational Psychology*, 82, 546-554.

---

## Lire, écrire, écouter : les étudiants en Métiers du Livre et la musique

---

Florence Lethurgez<sup>1</sup>

Florence.lethurgez@univ-amu.fr

<sup>1</sup> IUT d'Aix-Marseille

Institut Méditerranéen des Sciences de l'Information et de la Communication, AMU-UTLN

**Thèmes** – SHS - Communication

**Résumé** – *Notre situation d'enseignante-chercheuse dans un département Information-Communication option Métiers du Livre nous permet de collecter un matériau empirique constitué de copies d'étudiants ainsi que de nombreuses données les concernant (socio-démographiques et universitaires). Un enseignement de commentaire d'écoute d'un extrait de musique classique donne lieu chaque année à une épreuve normalisée que nous soumettons à analyse de données discursives. Les catégories mobilisées par les étudiants pour rendre compte de leur écoute sont identifiées et décomptées (en nombre de mots) et croisées, principalement dans cette communication, avec la variable de la spécialité professionnelle choisie pour le stage de fin de DUT (bibliothèque, édition, librairie). Compétences et appétences manifestées pour cet exercice qui consiste à communiquer une expérience esthétique dans un cadre universitaire, apparaissent clairement nuancées en fonction des profils professionnels, à ce stade de leur formation (fin de deuxième année de DUT).*

**Mots-Clés** – *Commentaire d'écoute, analyse de données discursives, métiers du livre, expérience esthétique*

## 1 Introduction

Notre situation d'enseignante-chercheuse dans un département Information-Communication option Métiers du Livre nous donne l'opportunité de délivrer un enseignement de *module complémentaire* de commentaire d'écoute de musique classique. Ce module s'achève par une épreuve écrite, cadrée par un même protocole d'une année à l'autre (durée, nombre d'écoutes, consignes), qui en garantit l'homogénéité et permet l'analyse conjointe de promotions successives. Un corpus de quatre promotions est structuré par des données concernant les étudiants, auxquelles le système d'information du département nous donne facilement accès (âge, sexe, baccalauréat, notes, spécialisation professionnelle, etc.).

Cet exercice met le sujet face à la difficulté de trouver des mots pour parler de l'expérience concrète d'écoute de la musique, art non verbal. Il le fait, d'une manière à la fois cadrée et informelle. En effet, les étudiants sont invités par la consigne à exprimer leur *ressenti*, s'ils le souhaitent ou le peuvent, plus particulièrement en conclusion.

## 2 Problématique et méthodologie

L'analyse des épreuves permet d'identifier les catégories avec lesquelles les étudiants cernent le cœur et le sens de leur expérience d'écoute, définie à la fois comme universitaire, esthétique et professionnelle (en termes de communication). Elle permet non seulement d'identifier les principes didactiques et docimologiques de l'enseignement dispensé et d'évaluer les transferts de compétences et d'appétences de ces étudiants en Métiers du Livre, depuis la littérature et la communication jusqu'à une discipline spécifique et aussi nouvelle pour la majeure partie d'entre eux que la musique classique.

Le traitement des données fait appel à la fois à des méthodes qualitatives et quantitatives : analyse de discours et analyse statistique bi-variée (étant donné la taille de l'échantillon). Sont ainsi croisées trois types de variables : socio-démographiques, évaluatives et discursives. Les données évaluatives concernent divers marqueurs de compétences : note, longueur de la réponse, qualité d'expression, précision lexicale, etc. tandis que les données discursives correspondent à la nature des verbalisations mobilisées par les étudiants : historiques, descriptives, solfégiques, métaphoriques, etc. L'ensemble caractérise les comportements d'écriture de la population enquêtée.

## 3 Quelques résultats

### 3.1 L'analyse par interquartiles du nombre de mots

Nous retenons tout d'abord dans le cadre de cette communication le critère du nombre global de mots contenus dans la copie. Il autorise une analyse de la population en deux groupes répartis de part et d'autre de la médiane, et plus finement, en quatre interquartiles.

Sur le plan des « compétences » (notes et scores), par exemple, on observe que le nombre de mots de la copie croît avec la note, de même que le score linguistique (compétences littéraires). En revanche, le score lexical (vocabulaire musical spécifique) fait se rejoindre paradoxalement les deux classes extrêmes.

Scores	Note	Score linguistique	Score lexical
Interquartile 1	11,3	26%	55%
Interquartile 2	13,8	53%	72%
Interquartile 3	14,7	72,2%	85,5%
Interquartile 4	15	71,8%	59,4%
Moyenne générale	13,7	56%	66%

Tableau 1 – Les scores selon les interquartiles du nombre de mots

La longueur de la réponse est caractéristique d'une population d'étudiants engagés de manière nuancée dans cet exercice de verbalisation de leur expérience concrète d'écoute. Une analyse docimologique fine, notamment par interquartiles de notes, devra permettre de poursuivre l'analyse.

### 3.2 L'analyse par métiers

L'analyse selon les spécialisations professionnelles (notons que la particularité du département Métiers du Livre d'Aix-en-Provence est d'être interprofessionnel, les étudiants ne se spécialisant que lors du long stage de fin de DUT) révèle, quant à elle, que les comportements de réponse sont également clairement nuancés, en fonction des métiers souhaités.

Si nous reprenons les variables de compétences précédentes, nous observons que les bibliothécaires et les éditeurs témoignent de leur sur-correction universitaire, en étant au-dessus de la moyenne pour toutes les variables évaluatives, alors que les libraires sont systématiquement en dessous.

Scores	Note	Struct.	Expression	Score linguistique	Score lexical	Mots
Bib.	14,2	62	70	65	68	474
Ed.	14,2	56	71	62	72	468
Lib.	13	40	53	46	61	388
Moy.	13,7	51	64	56	66	436

Tableau 2 – Les scores selon les MDL

L'analyse des catégories de verbalisations (mesurées selon le pourcentage du nombre de mots relatif à chaque copie) permet de distinguer, plus qualitativement, les bibliothécaires et éditeurs. En effet, les éditeurs se montrent, dans le maniement des catégories de verbalisation, beaucoup plus proches des libraires que des bibliothécaires.

Verb.	Hist.	Descr.	Lexique	Paroles
Bib.	17,3	20,2	<b>1,83</b>	<b>9,81</b>
Ed.	18	24,3	0,26	7,87
Lib.	17,7	<b>24,5</b>	1,31	7,76
Moy.	17,7	23,2	1,14	8,38

Tableau 3 – Les verbalisations selon les MDL

Ces derniers, relativement moins descriptifs (de la matière sonore), mobilisent des savoirs plus savants sur le plan musical (lexique spécifique) et littéraire (paroles mises en musique) que les deux autres groupes. La contextualisation historique de l'oeuvre réunit l'ensemble des étudiants dans un même effort.

#### 4 Conclusion

Cette population d'étudiants, qui présente des spécificités en termes de compétences et d'appétences, va trouver à les mobiliser sous des formes nuancées, qualitativement et quantitativement, pour répondre à cet exercice. Son analyse, en scores et catégories, nous donne des pistes pour mieux cerner les ressorts sur lesquels repose l'exercice du commentaire d'écoute. Dans cette situation d'évaluation ambivalente, entre expérience esthétique et universitaire, universitaire et professionnelle, l'indicateur du projet professionnel de l'étudiant, s'avère être un levier significatif, aussi bien pour le didacticien que pour le sociologue ou le chercheur en Sciences de l'Information et de la Communication.

#### 5 Remerciements

L'auteure remercie les étudiants qui ont accepté le principe de l'enquête et qui ont répondu à des questions au sujet de leurs pratiques musicales.

#### Références

- [1] Anne-Claire Desquelles, *Quel discours aujourd'hui pour analyser des œuvres musicales?*, séminaire de la revue *Analyse Musicale*, Paris, 1999.
- [2] Laurent Guirard, A quoi servent les mots en éducation musicale ? *Recherches en éducation musicale*, 27, 17-42, 2009.
- [3] Michel Imberty, *De l'écoute à l'œuvre*, ouvrage collectif, Paris, L'Harmattan, 2001.
- [4] Pascal Terrien, *L'écoute musicale : de l'émotion à la construction de savoirs dans l'activité d'écoute d'oeuvre au collège*, Thèse de doctorat (Musicologie), Paris 4-Sorbonne, 2004.

---

## Apprendre de l'expérience des professionnels, un dispositif de partage au service des étudiants

---

Laurence Durat<sup>1</sup>

laurence.durat@uha.fr

<sup>1</sup> IUT de Mulhouse, Université de Haute-Alsace  
Laboratoire Interuniversitaire en Sciences de l'Éducation et Communication, EA 2310

**Thèmes** – SHS : sciences de l'éducation, communication

**Résumé** – *La constitution et l'enrichissement de « bibliothèque de situations » (Daniellou, [1]) présentant des cas pratiques ne saurait suffire à éclairer les futurs professionnels que nous formons, encore faut-il la mettre en dialogue. Nous avons pu constater la difficulté pour les étudiants à mobiliser des connaissances acquises durant leur formation (DUT et Licence professionnelle en gestion logistique et transport) aussi bien lors du travail sur des cas pratiques que lorsqu'ils sont en stage ou même en apprentissage dans une entreprise. L'alternance entre cours théoriques et mises en application en situation ne suffit pas à elle seule à opérer cette mobilisation attendue. Nous avons alors mis au point un dispositif pour rendre présents et incarnés des dilemmes professionnels réels et travailler avec les étudiants sur les représentations de l'action des professionnels et l'organisation de leur action. Notre objectif est de mieux les préparer à agir en situation en repérant les différentes dimensions en acte, les indices significatifs et les options qui s'offrent à eux.*

**Mots-Clés** – *apprentissage expérientiel, analyse de l'activité.*

## 1 Introduction

Dans cette communication, nous souhaitons mettre en discussion l'éducabilité par la prise en compte de toutes les dimensions de l'apprentissage : cognitive, conative, affective et sociale.

Bien souvent la dimension cognitive est prioritaire dans les préoccupations des institutions de formation, alors même qu'il s'agit de former à des compétences qui consistent à agir sur autrui dans des collectifs de travail dont la dimension relationnelle est cruciale. On suppose que les mises en situation proposées seront d'emblée des sources d'inspiration.

Nous souhaitons montrer ici la portée apprenante pour les étudiants de l'expérience de professionnels confirmés lorsqu'elle est prise dans un dispositif d'élucidation et de conceptualisation de l'activité menée collectivement.

Qu'il s'agisse de conduire un projet, de proposer une méthode, de négocier une solution, de dénouer un conflit ou de faire collaborer des services distincts en vue d'un objectif commun, les classes de problèmes et les situations rencontrées en entreprise présentent au mieux des analogies, mais rarement des répétitions, ce qui est pourtant une source primordiale d'apprentissage dans la pratique. La constitution et l'enrichissement de « *bibliothèque de situations* » (Daniellou, [1]) présentant des cas pratiques ne saurait suffire à éclairer les futurs praticiens, encore faut-il la mettre en dialogue.

La mobilisation des connaissances acquises durant la formation (DUT et Licence professionnelle en gestion logistique et transport) n'est pas spontanée lorsque l'on confronte les étudiants à des cas pratiques, il en va de même en stage ou en alternance. Notamment pour les activités complexes, par exemple s'il s'agit d'une activité de diagnostic et d'intervention sur un processus (Leplat, [2]) et sur autrui, en grande partie fondée sur la singularité des cas et des personnes, cela nourrit la difficulté à repérer les modèles d'action pour un apprenant. Les situations apparaissent incertaines, instables, peu répétitives, difficiles à catégoriser et la capacité à mobiliser des ressources théoriques ou praxéologiques des apprenants est mise à l'épreuve.

Permettre aux étudiants d'accéder aux expériences vécues de professionnels puis retravailler précisément celle-ci en essayant de l'éclairer dans ses différentes dimensions semble constitutif d'un apprentissage significatif. « *L'expérience porte les empreintes de toute la personne. Elle contient des idées et des concepts, des pensées et des émotions et elle ne se confond pas avec la perception immédiate* » (Fischer [3] p.130).

L'expérience est multivoque, ambiguë, elle semble constituer parfois un événement isolé dans une suite de situations sans cohérence apparente, son sens ne se donne pas immédiatement. Plus encore, prise dans des enjeux

multiples (notamment socio-affectifs) elle donne lieu soit à des apprentissages, soit à des désapprentissage (Durat, [4]) allant de l'inhibition de l'action, la production ou le renforcement de représentations de l'action dysfonctionnelles, à l'invalidation de schèmes d'action préalables.

Si l'activité professionnelle observée ou restituée n'est pas comprise profondément par l'étudiant ou le jeune professionnel, elle ne peut faire l'objet d'un apprentissage social au sens de Bandura [5]. Or dans le cours de sa pratique, ni le professionnel, ni le stagiaire ou l'apprenti n'a le loisir de suspendre l'activité pour en analyser tous les implicites. C'est pourquoi reconstituer le cours de l'action et son organisation sous-jacente, rendre visible ce qui semble aller de soi constitue une opportunité d'apprentissage unique.

## 2 Le dispositif pédagogique

Nous utilisons le cadre théorique de l'ergonomie et de la conceptualisation dans l'action (Vergnaud, [6]; Pastré [7]; Rogalski, [8]). A travers la médiation d'autrui (formateur, chercheur), l'auto-analyse *ex-post* de l'activité est une de voies possibles pour comprendre le processus de déséquilibre provisoire et de rééquilibration qui permet à un professionnel de s'adapter à une situation.

L'intérêt de l'étude des incidents critiques est attesté par la littérature (Flanagan, [9]; Leplat [10]) de même que l'utilisation de récits d'expérience (Marchand, [11]; Beaujouan [12]) à des fins de formation. Nous tenterons de mettre en évidence les conditions qui favorisent ou inhibent le développement des compétences au cours de la situation elle-même, puis à travers l'analyse réflexive (Schön, [13]; Daniellou, [1]; Pastré, [7]) des récits d'expériences des professionnels de notre échantillon.

Le dispositif est le suivant : les étudiants de DUT 2<sup>ème</sup> année et licence professionnelle sollicitent des entretiens auprès de professionnels dans les entreprises où ils sont en stage ou en alternance. Ces entretiens sont enregistrés (en vidéo de préférence, le matériel est mis à leur disposition) et portent sur le récit d'un événement significatif vécu par le professionnel, tel que défini préalablement en cours de communication où ils sont formés à cette méthodologie. La situation comporte certains critères pour être retenue comme significative :

- elle doit relater une situation vécue par le professionnel lui-même,
- elle doit être circonscrite dans le temps (déclenchement, déroulement, fin),
- elle doit être prise dans des interactions avec d'autres acteurs et non isolée (ce n'est pas une résolution de problème),
- elle doit avoir eu un retentissement sur les pratiques professionnelles (un enjeu, un incident non-

routinier).

Il s'agit de rassembler des récits d'expériences significatives aux yeux des professionnels eux-mêmes, qui ont par exemple généré une transformation ou un apprentissage. Dans un 2<sup>ème</sup> temps, une analyse par petits groupes est effectuée, puis celle-ci est exposée à la classe. Dans cette analyse, il est demandé aux étudiants de rapporter la situation à l'activité typique telle qu'elle est connue et prescrite (normes, méthodes, connaissances inférées, catégorisation proposée) puis on identifie les problématiques en situation réelle, avec ses détours, ses impossibilités, ses imprévus ainsi que les régulations individuelles et collectives opérées par les professionnels.

Dans les différents cas de figure présentés, la recherche montre que le processus d'acquisition des compétences est freiné lorsque certaines ressources sont inaccessibles aux apprenants. L'explicitation collective permet de rendre accessible aux étudiants une condition ou plusieurs d'entre elles simultanément : soit l'accessibilité cognitive en identifiant les obstacles à l'apprentissage, notamment les raisonnements faits par les professionnels en situation, soit l'accessibilité conative en éclairant ce qui oriente l'action, quels choix sont faits et en fonction de quels critères, l'accessibilité sociale en interrogeant les représentations partagées et le système symbolique des tâches, l'accessibilité affective en comprenant la place de chacun dans le déroulement de l'action et les attentes mutuelles de coopération.

### 3 Conclusions

Prendre au sérieux l'ensemble de ces dimensions engage à explorer les obstacles, les empêchements, les incompréhensions, les freins qui révèlent les ressources manquantes à l'apprentissage. Depuis l'identification de ces moments critiques par une investigation outillée, jusqu'à la détermination des représentations de l'action par une interprétation croisée faite par des professionnels et les étudiants, toutes les étapes de la démarche sont collectives : « *on apprend seul, mais jamais sans les autres* » pour reprendre la formule de Carré [14].

Puisque l'expérience est prise dans des situations relationnelles, alors la conceptualisation de l'action doit aussi être collective : c'est le propos commun aux exemples présentés. Retravailler collectivement les situations significatives de l'expérience professionnelle et en faire des opportunités d'apprentissage nous semble fondamental. Ce faisant, nous participons à ouvrir un espace éducatif permettant de développer le pouvoir d'agir (Clot, [15]) des apprenants en formation.

Cette recherche poursuit donc une visée épistémique, elle comporte aussi une visée pragmatique en s'inscrivant dans une démarche de proposition d'outils pédagogiques

permettant de lier activement raisonnement dans l'action et développement des compétences.

### Références

- [1] Daniellou, L'ergonomie dans la conduite de projets de conception de systèmes de travail. In P. Falzon, *Ergonomie*, p. 359-373. Paris, PUF, 2004.
- [2] Leplat, J. *Les représentations fonctionnelles dans le travail*, Psychologie française, n°30-314, pp. 269-275, 1985.
- [3] Fischer, G.-N., Tarquinio, C. *Traité de psychologie de la santé*. Dunod Paris, 2002.
- [4] Durat, L. Les expériences épisodiques d'incidents critiques, des ressources pour le développement des compétences, *Activités*, vol 11 n°2, 2014.
- [5] Bandura, A. *Auto-efficacité – Le sentiment d'efficacité personnelle*. Bruxelles, Belgique: De Boeck. 2002.
- [6] Vergnaud, G. Au fond de l'action, la conceptualisation. In *Savoirs théoriques et savoirs d'action* (p. 275-292). Paris, France: Presses universitaires de France, 1996.
- [7] Pastré, P. *Apprendre par la simulation: de l'analyse du travail aux apprentissages professionnels* Toulouse, France: Octarès, 2005.
- [8] Rogalski, J. Concepts et méthodes d'analyse des processus de coopération dans la gestion collective d'environnements dynamiques. In Kostulski & Trognon (Eds). *Communications interactives dans les groupes de travail*, p. 27-58. Nancy, PUN, 1998.
- [9] Flanagan, J. C. The critical incident technique. *Psychological Bulletin*, 51(4), 327-358, 1954.
- [10] Leplat, J. Les représentations fonctionnelles dans le travail, *Psychologie française*, n°30-314, pp. 269-275, 1985.
- [11] Marchand A.-L. Les retours d'expériences dans la gestion de situations critiques. *Activités*, vol.8 n°2, p. 100-113, 2011.
- [12] Beaujouan, J. Contributions des récits professionnels à l'apprentissage d'un métier. Le cas d'une formation d'ergonomes (Thèse en Psychologie). Université Victor Segalen, Bordeaux, 2011.
- [13] Schön Donald A., *Le praticien réflexif. A la recherche du savoir caché dans l'agir professionnel*, Montréal, Editions Logiques (1983, The reflexive practitioner. How professionals think in action, New York, Basic Book), 1994.
- [14] Carré Ph. Bandura une psychologie pour le XXI<sup>e</sup> siècle. In : *De l'apprentissage social au sentiment d'efficacité personnelle*. Autour de l'œuvre d'Albert Bandura, CARRE Ph. *Savoirs - revue internationale de recherches en éducation et formation des adultes*, Editions L'Harmattan, Hors-série, p. 10-50, 2004.
- [15] Clot, Y. *Travail et pouvoir d'agir* (vol. 1-1). Paris : Presses universitaires de France, 2008.

# Liste des participants

Abellard Patrick	Chibout Karim	Fontaine Jean François
Alberto Francois	Contaret Thierry	Frizzi Sébastien
Alinat Sandrine	Corbier Christophe	Fulconis François
Alloul Jérémy	Cote Clémentine	Gadessaud Laurent
Alonso Dominique	Cotineau Veronique	Gaitan Patricia
Atzenhoffer Régine	Courty Léo	Gallouj Camal
Awitor Komla Oscar	Cristofol Michel	Garcia Fabienne
Baba El Gannouni Mustapha	Cruz Christophe	Garnier Vincent
Becar Jean-Paul	Dalle Rodolphe	Gasmi Noussaiba
Belfort Benjamin	Daran Xavier	Gaubert Jean
Benallah Samia	Debs Sylvie	Gillard Philippe
Bendahan Marc	Devers Thierry	Goyallon Thibault
Bernardini Sandrine	Dherment-Ferere Isabelle	Graur Irina
Bidan Marc	Dianoux Christian	Guieu Gilles
Bigey Magali	Dienot Jean-Marc	Habchi Georges
Bonnardot Frédéric	Djedidi Oussama	Haloua Abderrahmane
Bonnemaizon Audrey	Dunand Cécile	Hamdaoui Ons
Bonose Myriam	Dupas Coralie	Javahiraly Nicolas
Bouchouicha Moez	Eriksson Andreas	Joseph Moysan
Boudhaouia Aida	Falco Franck	Josse François
Cadenat Sandrine	Farrugia Jean-Philippe	Joubert Patrice
Campredon Mylène	Ferblantier Gérard	Juban Jean-Yves
Cardinal Manon	Ferrari Anne-Laurence	Khaldi Zineb
Castelain Thomas	Fevre-Nollet Valérie	Kinetal Vichara
Chaix Jean-François	Firlej Virginie	Knaebel Alexandra

Lagouin Méryl	Mousseau Pierre	Risch Vincent
Laheurte Pascal	Nicod Lionel	Rohr Olivier
Lallement Renaud	Nicolas Christophe	Romeo-Pakker Katerin
Lambert-Mauriat Caroline	Oculi Fabien	Ruitton Sandrine
Lamine Amour	Ollivier Sébastien	Saad Naima
Lancereau-Forster Nicole	Pache Gilles	Salaun Vincent
Lawson Bruno	Palais Olivier	Sari Ali
Le Bideau Damien	Pasquinelli Marcel	Sassi Ahlem
Le Gall Erwan	Payan Cedric	Saucède Florent
Le Livec Robin	Perichaud Isabelle	Schouveiler Lionel
Lebègue Patrick	Perrin Marianne	Serier Karine
Lengrand-Jacoulet Sophie	Pery Emilie	Simon Jean-Jacques
Lethurgez Florence	Philipp Bernd	Slaimi Fatma
Lickel Bernard	Plichon Véronique	Stock François
Lollman Dave	Poirel Carole	Struyven Florent
Loose Florence	Poisson Gérard	Subramaniam Thasataran
Lorrière Nominoë	Pollès Rémi	Talarmin Hélène
Magnano Greta Camilla	Pomot Lucas	Torchio Philippe
Mallor Elodie	Pons Sandrine	Vacher Pierre
Massard Christophe	Pouvreau Cédric	Valls Robert
Massenzio Michel	Quincieux Elodie	Vareille Jean
Merad Djamal	Raffin Romain	Vidal David
Merminod Nathalie	Raspal Vincent	Wallet Clémentine
Morin-Delerm Sophie	Redon Laurence	Yan Xueru
Mouline Aziz	Reniou Fanny	Yang Fan
Mouline Jean Pierre	Reynaud Clément	Yildiz Helene

# Liste des auteurs

## A

Abellard Patrick ..... 277–279  
Adt Isabelle ..... 17–19  
Aguir Khalifa ..... 149–151, 196–198  
Alberto Francois ..... 46–48  
Alinat Sandrine ..... 138–140  
Allegre Thierry ..... 110–112  
Alloul Jérémy ..... 120–122  
Amann Bruno ..... 86–89  
Amans David ..... 23–25  
Anguille Stéphane ..... 129–131  
Antoni Frédéric ..... 248–250  
Atzenhoffer Régine ..... 283–285  
Aubert Jean-Emmanuel ..... 242–244  
Awitor Komla ..... 36–38, 223–225

## B

Baba El Gannouni Mustapha ..... 152, 271  
Barau Caroline ..... 30–32  
Barrere Jean ..... 214–216  
Becar Jean-Paul 181–183, 265–267, 280–282  
Belfort Benjamin ..... 172–174  
Benallah Samia ..... 94–96  
Benbouzid Mohamed ..... 152  
Bendahan Marc... 11–13, 129–131, 149–151,  
196–198  
Berckmans William ..... 268–270  
Bialic Emilie ..... 214–216  
Bidan & H Abbad Y Barel A Cholet I Dher-  
ment N Mebarki Marc ..... 67–69  
Bidan Marc ..... 107–109  
Bigey Magali ..... 274–276  
Blanfuné Aurélie ..... 135–137  
Bolzinger Marie-Alexandrine ..... 23–25  
Bonnardot Frédéric ..... 220–222  
Bonnemaizon Audrey ..... 90–93  
Bonose Myriam ..... 2–4  
Boucelma Omar ..... 187–189  
Bouchakour Rachid ..... 11–13  
Boudhaouia Aida ..... 190–192  
Boudouresque Charles François .... 135–137

Bourgeois Stephane ..... 259–261  
Briancon Stephanie ..... 23–25

## C

Côte Clémentine ..... 45  
Cadenat Sandrine ..... 90–93  
Cakar Halil Ibrahim ..... 220–222  
Cardinal Manon ..... 116–118  
Castelain Thomas ..... 272  
Chabriel Gilles ..... 214–216  
Chaix Jean-François ..... 245–247  
Chanut-Guieu Cécile ..... 59–63  
Chibout Karim ..... 286–288  
Colas Justine ..... 79–81  
Contaret Thierry ..... 196–198  
Corbier Christophe ..... 169–171  
Cottet Patrice ..... 113–115  
Courty Léo ..... 126–128  
Cousin Frédéric ..... 8–10  
Cruz Christophe ..... 211–213

## D

Dehaese Nicolas ..... 217–219  
Devers Thierry ..... 23–25  
Dianoux Christian ..... 79–81  
Diebold Laura ..... 248–250  
Dienot Jean-Marc ..... 202–204  
Djedidi Oussama ..... 226–228  
Djeziri Mohand ..... 226–228  
Doumenq Pierre ..... 45  
Dumas Emilie ..... 17–19  
Dunand Cecile ..... 116–118  
Dupas Coralie ..... 17–19  
Durat Laurence ..... 298–300

## E

El Hatmi Halima ..... 17–19  
El Kouhen Zineb ..... 70  
Escoubas Ludovic ..... 214–216  
Eyma Florent ..... 262–264

## F

Fèvre-Nollet Valérie ..... 8–10  
 Fahs Marwan ..... 172–174  
 Farrugia Jean-Philippe ..... 238–240  
 Favard Alexandre ..... 129–131, 196–198  
 Feulvarch Eric ..... 268–270  
 Fiorido Tomas ..... 11–13  
 Fontaine Jean François ..... 255–258  
 Fortin Camille ..... 8–10  
 Fuchs Laurent ..... 181–183  
 Fulconis François ..... 56–58

## G

Gallouj Camal ..... 70  
 Garcia Fabienne ..... 75–78  
 Gardair Emmanuèle ..... 113–115  
 Garnier Lionel ..... 181–183  
 Gasmi Noussaiba ..... 229–234  
 Gaubert Jean ..... 217–219  
 Ghaleh Bijan ..... 30–32  
 Gibiat Vincent ..... 262–264  
 Gillard Philippe ..... 126–128  
 Giraud Landry ..... 268–270  
 Graur Irina ..... 149–151  
 Guenneau Sébastien ..... 259–261  
 Guieu Gilles ..... 59–63

## H

Habchi Georges ..... 166–168, 205–207  
 Haloua Abderrahmane ..... 217–219  
 Hamdaoui Ons ..... 252–254  
 Hennebelle François ..... 255–258  
 Henríquez Concepción Vicente ..... 271

## I

Ibos Laurent ..... 156–158

## J

Jacob Xavier ..... 262–264  
 Jan François ..... 160–162  
 Jaussaud Jacques ..... 86–89  
 Josse Denis ..... 45  
 Josse François ..... 268–270  
 Joubert Patrice ..... 132–134  
 Juban Jean-Yves ..... 64–66

## K

Khaldi Zineb ..... 14–16  
 Khalifa Aguir ..... 11–13  
 Kin Vichara ..... 160–162

## L

Léonel Eric ..... 42–44  
 Lacoste Alexandre ..... 45  
 Lagouin Méryl ..... 242–244

Lagrange Jean-François ..... 126–128  
 Laheurte Pascal ..... 26–28  
 Lamine Amour ..... 235–237  
 Lancereau-Forster Nicole ..... 289–291  
 Lawson Bruno ..... 11–13  
 Le Bideau Damien ..... 146–148, 152  
 Le Gall Erwan ..... 42–44  
 Le Livec Robin ..... 146–148, 152  
 Le Normand François ..... 248–250  
 Lebègue Patrick ..... 8–10  
 Lehmann François ..... 172–174  
 Lethurgez Florence ..... 295–297  
 Li Hang ..... 262–264  
 Llosa Sylvie ..... 97–102  
 Loose Florence ..... 292–294  
 Lorrière Nominoë ..... 214–216  
 Louis Florent ..... 8–10

## M

M'sirdi Nacer ..... 226–228  
 Magnano Greta Camilla ..... 23–25  
 Magniont Camille ..... 242–244  
 Mahgoub Samir ..... 17–19  
 Mallor Elodie ..... 97–102  
 Mandin Philippe ..... 146–148, 152–155, 271  
 Martini-Laithier Virginie ..... 11–13  
 Massard Christophe ..... 36–38, 223–225  
 Maubisson Laurent ..... 74  
 Mauriat Caroline ..... 149–151  
 Mellouk Abdelhamid ..... 235–237  
 Merminod Nathalie ..... 110–112  
 Morel Christian ..... 82–85  
 Morin Didier ..... 30–32  
 Moulin Philippe ..... 129–131  
 Mouline Aziz ..... 71–73  
 Mouline Jean-Pierre ..... 79–81  
 Moussa Fathi ..... 2–4  
 Muller Dominique ..... 248–250

## N

N'konou Kékéli ..... 141–143  
 Nicod Lionel ..... 97–102

## O

Oculi Fabien ..... 123–125  
 Ollivier Sébastien ..... 251  
 Ouk Tan-Sothéa ..... 14–16

## P

Paché Gilles ..... 82–85  
 Pasquinelli Marcel ..... 214–216  
 Paul Stéphane ..... 152  
 Payan Cédric ..... 259–261

Perez-Vasquez Naira.....2-4  
 Perrin Marianne..... 262-264  
 Pery Emilie..... 49-51  
 Philipp Bernd..... 56-58  
 Piram Anne..... 45  
 Plichon Véronique..... 74  
 Poirel Carole..... 116-118  
 Poisson Gérard..... 178-180  
 Pollès Rémi..... 49-51  
 Pomot Lucas..... 259-261  
 Pons Sandrine..... 30-32  
 Pouvreau Cédric..... 268-270  
 Pisset Marc..... 42-44

## Q

Qian Xin-Xin..... 46-48

## R

Ramos Martín Alejandro..... 271  
 Raspal Vincent..... 36-38, 223-225  
 Raully Amandine..... 94-96  
 Ray Jessica..... 116-118  
 Reniou Fanny..... 90-93  
 Reynaud Clément..... 184-186  
 Ribau-Peltre Nadège..... 103-105  
 Romeo-Pakker Katerin..... 163-165  
 Ruitton Sandrine..... 135-137

## S

Saad Naima..... 29  
 Salaun Vincent..... 53-55  
 Santini Claire-Lise..... 46-48  
 Sassi Ahlem..... 193-195  
 Saucède Florent..... 175-177  
 Saurel Hélène..... 74  
 Schaaper Jan..... 86-89  
 Seguin Jean Luc..... 129-131  
 Sellami Sana..... 187-189  
 Senkel Marie-Pascale..... 160-162

Serier Karine..... 181-183, 199-201  
 Sibaud Yves..... 36-38, 223-225  
 Siegel Julien..... 190-192  
 Simon Jean-Jacques..... 214-216  
 Simon Justine..... 274-276  
 Sirjean Stéphane..... 82-85  
 Slaimi Fatma..... 187-189  
 Souihi Sami..... 235-237  
 Stock François..... 248-250  
 Struyven Florent..... 144, 145

## T

Talarmin Hélène..... 39-41  
 Tazi Mohamed..... 255-258  
 Tellez Bruno..... 238-240  
 Thibaut Thierry..... 135-137  
 Topin Frédéric..... 149-151  
 Torchio Philippe..... 141-143

## V

Vacher Pierre..... 5-7  
 Valls Robert..... 20-22  
 Vareille Jean..... 265-267, 280-282  
 Vauche Rémy..... 217-219  
 Vidal David..... 175-177

## W

Wallet Clémentine..... 33-35  
 Weill Sylvain..... 172-174  
 William-Louis Mame..... 120-122  
 Wira Patrice..... 190-192  
 Wu Long-Fei..... 46-48

## Y

Yan Xueru..... 129-131  
 Yang Fan..... 208-210  
 Yildiz Hélène..... 106

## Z

Zerrouki Rachida..... 14-16