



# Recueil des Publications



## Le mot du Directeur

---

L'IUT de Roanne est fier d'accueillir cette année le CNRIUT'2022 les 9 et 10 juin. Cette manifestation du réseau des IUT témoigne de notre enracinement universitaire qui fonde nos missions de formation et de recherche. C'est ce qui fait de l'IUT un acteur de la professionnalisation, du transfert de technologie, de la formation tout au long de la vie et de l'aménagement du territoire.

Dans les villes moyennes, ce couple formation-recherche est indispensable à la construction d'un site universitaire digne de ce nom.

L'IUT de Roanne, en ville moyenne, est un IUT qui devient singulier par son offre de formation : 5 B.U.T., 6 Licences professionnelles, 2 Licences Générales (L1, L2, L3) et 2 Masters (M1, M2).

Le lien formation-recherche au service des étudiants et du territoire, au bénéfice de tous.

Belle réussite au CNRIUT'2022 et au réseau des IUT.

Nabih NEJJAR  
Directeur  
IUT de Roanne



Crédit Photo : E. Carjot



**PROGRAMME**

**JEUDI 9 JUIN**

<b>SALLES</b>	Salle Examen GEA Accueil, pauses, posters, démonstrateurs	Salle principale : Amphi TC Accueil, discours, plénières, ateliers & sessions parallèles (1ère colonne)
	Salle E_106 (Bâtiment GEA) Sessions parallèles & atelier (colonne centrale)	Salle E_002 (Bâtiment GEA) Sessions parallèles & ateliers (3ième colonne)

Ce symbole indique un doctorant

08:00 - 09:00		Accueil et café dans la salle examen GEA		
09:00 - 09:30		Cérémonie d'ouverture du CNRIUT2022 Discours d'inauguration		
09:30 - 10:00		Plénière #1 : Le couple IUT - Laboratoire. Nabih Nejjar - Mohamed El Badaoui. IUT de Roanne		
10:00 - 10:30		Pause		
10:30 - 11:00		Plénière #2 : TECH'NOMAD : Construction d'un projet de médiation technologique - Allanic Nadine & al. IUT de Nantes		
11:00 - 11:15	La force créatrice de l'inspiration destructrice - Dalle Rodolphe ADEExplorer : logiciel de consultation et d'analyse d'emplois du temps - Raspal Vincent L'engagement comportemental citoyen pour une plus grande acceptabilité sociale d'une technologie à hydrogène vert et local - Tahali Sara & al * La Waide (Isatis tinctoria L.), plante historique des Hauts-de-France, source de métabolites secondaires pour des applications colorantes et biologiques : Extraction, caractérisation, formulation, modulation des propriétés - Vauquelin Romain	* Implémentation d'un réseau de neurones artificiels pour le traitement temps-réel de signaux cérébraux - Rancan Ulysse & al Construire et décliner son image de marque. L'exemple de l'entreprise Casino - Callens Anne-Céline * Propriétés mécaniques et biodégradabilité des films minces à base de Zn pour applications aux implants biodégradables - Poltronieri Cristiano & al Morale et entreprise : le point de vue du philosophe - Dherment-Ferere Isabelle * Etude expérimentale des nano-générateurs triboélectriques basés textiles: application aux mouvements humains - Vauche Gaëtan & al	Détermination des critères de soudage dans un procédé innovant de soudage en continu de films polymères pour l'emballage souple - Tannous Queen & al * Automates cellulaires pour la modélisation des transferts thermiques au sein de matériaux hétérogènes - Violet Alix & al Capital culturel, compétences entrepreneuriales et développement de la grande entreprise - Lambert Pascale & al Matériaux de construction biosourcés à base de granulats de maïs et de tournesol sur le territoire transpyrénaïque. Méthodologie d'Analyse en Cycle de Vie pour évaluer les impacts environnementaux avant la construction et établir des perspectives de comparaison. - Judalet Quentin & al Analyse statistique pilotée par la QoE sur des données encéphalographiques - Bègue Joshua & al	
11:15 - 11:30				Nadine Allanic Cédric Pouvreau Olivier Rohr Nathalie Gardes Jacques Poisat Olivier Marc Jean-Charles Le Bunetel Gérald Ferblantier Jean-Jacques Simon
11:30 - 11:45				
11:45 - 12:00				
12:00 - 12:15				
12:30 - 13:45				
13:45 - 14:15		Plénière #3 : La professionnalisation par la création d'entreprise, retour sur Campus des Entrepreneurs - Foliard Stéphane & al. IUT de Roanne		
14:15 - 15:45		<b>Atelier : Recherche et SAé</b> Animateurs : Alain Clément et Cédric Pouvreau Rapporteur : Gérald Ferblantier Contributeur : Olivier Rohr et Jacques Poisat	<b>Atelier : Pilotage de la Recherche</b> Animateurs : Sébastien Laborie et Michel Massenzio Rapporteur : Yann Battie Contributeurs : Nadine Allanic et Jean-Yves Juban	
15:45 - 16:15		Pause		
16:15 - 16:45		<b>Synthèse des ateliers</b> Yann Battie et Gérald Ferblantier		

16:45	17:00	* Orientation des lycéens dans le supérieur : immersion en téléprésence dans les enseignements universitaires - Duron Timothée	Amélioration de la précision des robots : études de cas données aux étudiants de l'IUT de Nantes - Subrin Kévin & al	Contribution des étudiants d'IUT à trente ans de recherche sur le patrimoine - Poizat Jacques
17:00	17:15	L'évolution des performances scolaires en France depuis 1970 : un déclin inéluctable ? - Altinok Nadir	Sonde réseau Pour l'Internet des Objets - Arnaud Février	* Étude comparative entre deux sources d'allumage : Allumeur électrique et allumeur pyrotechnique - El Gadha Chayma
17:15	17:30	La Terre en danger. L'écologie et le développement durable s'inventent en littérature jeunesse - Atzenhoffer Régine	De la biopsie à la biopsie optique - Pery Emilie & al	Création d'un tiers-lieu universitaire : vers une réflexion sur les communs ? - Martin Corinne & al
17:30	17:45		* Pour une gouvernance des données dans les environnements connectés - Laamech Nouha & al	Déterminants de l'intention de développement du micro-entrepreneur : cas du micro-entrepreneur en Région Hauts-de-France - Dokou Gérard Kokou & al
18:00	00:00	Départ de l'IUT pour le repas de gala.		

VENDREDI 10 JUIN	
	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  Salle Examen GEA Accueil, pauses, posters, démonstrateurs         </div> <div style="width: 45%;">  Salle principale : Amphi TC Accueil, discours, plénières, ateliers &amp; sessions parallèles (1ère colonne)         </div> </div>
<b>SALLES</b>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  Salle E_106 (Bâtiment GEA) Sessions parallèles &amp; atelier (colonne centrale)         </div> <div style="width: 45%;">  Salle E_002 (Bâtiment GEA) Sessions parallèles &amp; ateliers (3ième colonne)         </div> </div>

08:00	08:30	Accueil et café dans la salle examen GEA		
08:30	09:00	Plénière #4 : Projet Pinède : Plateforme IoT pour les Nomades, Exploitable à Distance pour l'Éducation - Arnaud Février. IUT d'Aix - Marseille		
09:00	09:15	* Prédiction de la durée de séjour avec les données standards par un réseau de neurones à propagation avant - Lequartier Vincent & al	Une contribution à l'étude des profils de management : le cas de Barack Obama - Marques Pierre & al	Plateforme dédiée à l'utilisation de l'hydrogène dans le cadre des énergies renouvelables et du stockage de l'énergie - Guilbert Damien & al
09:15	09:30	Influence des fibres de Kénaf sur les propriétés de BTC - Leklou Nordine & al	* Optimisation de la durabilité et de la qualité environnementale d'un isolant à base de moelle de tournesol pour le bâtiment - Goutière Myriam & al	Vers une intersectionnalité agricole ? La succession agricole dans les marges. Une analyse comparative dans les zones sous influence urbaine de la Ceinture de Verdure de L'Ontario, Canada et l'InterCoT toulousain, France. - Akimowicz Mikael & al
09:30	09:45	L'utilisation de la RMN de paille pour le profilage biochimique des microalgues offre de nouvelles perspectives pour le contrôle des photobioréacteurs. - Bouillaud Dylan & al	Réflexion non-spéculaire d'un faisceau : études théoriques et simulations numériques - Pollès Rémi	* Conception d'un corset robotisé pour le traitement de la scoliose - Ray Rahul & al
09:45	10:00	Digestion anaérobie des épluchures de légumes : Évaluation de l'influence de prétraitements biologiques et de la co-digestion sur le potentiel méthanogène - Caillet Hélène & al	Analyse vibratoire avec un téléphone portable pour découvrir la recherche en classe de CM1 - CM2 - Bonnardot Frédéric	
10:00	10:30	Session échange autour des posters et démonstrateurs Cédric Pouvreau et Jacques Poizat		
10:30	11:00	Pause		
11:00	11:15	* Allumage laser de poudres propulsives à vulnérabilité réduite : influence de l'atmosphère sur les propriétés d'allumage et de combustion - Delbarre Samuel & al	La dissipation d'énergie sous flambage plastique multiaxial des mousses d'aluminium. - Baleh Rachid	Comment mieux assumer les responsabilités sociales et environnementales des entreprises : le cas des Coopératives Multi-Sociétaires - Juban Jean-Yves & al
11:15	11:30	Système cyber-physique éducatif pour réaliser des Travaux Pratiques en comodalité synchrone - Gallon Laurent & al	* Une nouvelle méthode de mesure de la conductivité thermique : application aux matériaux hétérogènes utilisés dans les piles thermiques - Ledevin Thomas & al	Représentation sociale du travail en équipe et émotions - Bouriche Boumédienne
11:30	11:45	Politique de démocratisation ou expérience pédagogique locale : des bacheliers professionnels en Institut Universitaire de Technologie. - Lefeuvre Sonia & al	Le rôle de Big Data Analytics dans l'amélioration de la durabilité des entreprises en réseau - Tamym Lahcen & al	Le Génie Civil et la Mécanique au service de la Construction Durable : Evaluation de l'état de santé du béton des ouvrages par ondes ultrasonores - Ramaniraka Manda & al
11:45	12:00			
12:00	12:30	Votes et remise des prix CNRIUT2022 : meilleur poster - meilleure communication orale Doctorant.		
12:30		Clôture du congrès		
12:30		Repas salle examen GEA		

## POSTERS

	* Étude des technologies de l'hydrogène-énergie appliquées aux bâtiments à faible impact carbone - Patin Mathieu & al. 	Contribution à l'estimation de la durée de vie restante des roulements à billes - Abdenour Soualhi
	Méthodes de détection de défauts de tissages métalliques en vue d'une démarche contrôle qualité - Olivier Caspary	* Recyclage des déchets du BTP et développement de nouveaux matériaux en milieu insulaire - Caillet Hélène & al. 
	Etude exploratoire de la présence de microplastiques dans les crevettes grises et l'eau de mer - Doyen Périne & al.	* Ordonnement et séquençement des opérations de décolage et d'atterrissage des véhicules de mobilité aérienne avancée (AAM) aux vertiports - Espejo Diaz Julian Alberto & al. 
	* Étude du comportement vibratoire d'une fraiseuse mobile dans un contexte d'usinage sur site. - Rowe James & al. 	De la mesure au modèle pour la maîtrise de la charge thermique d'un studio dans une résidence - Devillard François
	SIMUTEC : plateforme de modélisation et de simulation multisectorielle des effets systémiques des territoires urbains dans le cadre de leur transition écologique - Zerguini Seghir & al.	* Bilan des modèles d'électrolyseurs et piles à combustibles commercialisés en 2022 - Basnet Sarad 
	* Estimation du Risque de Chute Chez les Personnes Âgées - Brome Reem & al. 	Utilisation d'un milieu de culture commercial (EPT) pour la croissance en continu (chemostat) de bactéries dans le but d'optimiser la production de bactériophages - Huzet Pauline & al.
<b>DEMONSTRATEURS</b>		
	* Instrumentation d'un démonstrateur SWAC : Retour d'expériences - Sanjivy Kanhan & al. 	

## Thématiques

	Chimie - Biologie - Santé	Matériaux - Mécanique
	Énergie - Environnement	Sciences Humaines et Sociales - Lettres - Langues - Communication
	Informatique - Robotique - Imagerie - Électronique - Mathématique	Économie - Gestion - Droit



Programme CNRIUT 2022 - version 7 juin 2022



# Table des matières

De la biopsie à la biopsie optique, Pery Emilie [et al.] . . . . .	1
L'utilisation de la RMN de paillasse pour le profilage biochimique des microalgues offre de nouvelles perspectives pour le contrôle des photobioréacteurs., Bouillaud Dylan [et al.] . . . . .	5
La Waide ( <i>Isatis tinctoria</i> L.), plante historique des Hauts-de-France, source de métabolites secondaires pour des applications colorantes et biologiques : Extraction, caractérisation, formulation, modulation des propriétés, Vauquelin Romain .	8
Utilisation d'un milieu de culture commercial (EPT) pour la croissance en continu (chemostat) de bactéries dans le but d'optimiser la production de bactériophages, Huzet Pauline [et al.] . . . . .	11
Allumage laser de poudres propulsives à vulnérabilité réduite : influence de l'atmosphère sur les propriétés d'allumage et de combustion, Delbarre Samuel [et al.] . . . . .	14
Automates cellulaires pour la modélisation des transferts thermiques au sein de matériaux hétérogènes, Violet Alix [et al.] . . . . .	17
Bilan des modèles d'électrolyseurs et piles à combustibles commercialisés en 2022, Basnet Sarad . . . . .	20
De la mesure au modèle pour la maîtrise de la charge thermique d'un studio dans une résidence, Devillard François . . . . .	23
Digestion anaérobie des épiluchures de légumes : Évaluation de l'influence de prétraitements biologiques et de la co-digestion sur le potentiel méthanogène, Caillet Hélène [et al.] . . . . .	26
Etude exploratoire de la présence de microplastiques dans les crevettes grises et l'eau de mer, Doyen Périne [et al.] . . . . .	29
Etude expérimentale des nano-générateurs triboélectriques basés textiles: application aux mouvements humains, Vauche Gaëtan [et al.] . . . . .	32

Instrumentation d'un démonstrateur SWAC : Retour d'expériences, Sanjivy Kanhan [et al.] . . . . .	35
L'engagement comportemental citoyen pour une plus grande acceptabilité sociale d'une technologie à " hydrogène vert et local ", Tahali Sara [et al.] . . . . .	38
Matériaux de construction biosourcés à base de granulats de maïs et de tournesol sur le territoire transpyrénéen. Méthodologie d'Analyse en Cycle de Vie pour évaluer les impacts environnementaux avant la construction et établir des perspectives de comparaison., Judalet Quentin [et al.] . . . . .	41
Optimisation de la durabilité et de la qualité environnementale d'un isolant à base de moelle de tournesol pour le bâtiment, Goutière Myriam [et al.] . . . . .	44
Plateforme dédiée à l'utilisation de l'hydrogène dans le cadre des énergies renouvelables et du stockage de l'énergie, Guilbert Damien [et al.] . . . . .	47
Recyclage des déchets du BTP et développement de nouveaux matériaux en milieu insulaire, Caillet Hélène [et al.] . . . . .	50
SIMUTECH : plateforme de modélisation et de simulation multisectorielle des effets systémiques des territoires urbains dans le cadre de leur transition écologique, Zerguini Seghir [et al.] . . . . .	53
Une nouvelle méthode de mesure de la conductivité thermique : application aux matériaux hétérogènes utilisés dans les piles thermiques, Ledevin Thomas [et al.]	56
Valorisation des Énergies Fatales en Zones Industrielles et Portuaires, Olivier Jean-Christophe [et al.] . . . . .	59
Étude comparative entre deux sources d'allumage : Allumeur électrique et allumeur pyrotechnique, El Gadha Chayma . . . . .	62
Étude des technologies de l'hydrogène-énergie appliquées aux bâtiments à faible impact carbone, Patin Mathieu [et al.] . . . . .	65
ADEexplorer : logiciel de consultation et d'analyse d'emplois du temps, Raspal Vincent . . . . .	68
Analyse statistique pilotée par la QoE sur des données encéphalographiques, Bègue Joshua [et al.] . . . . .	71
Analyse vibratoire avec un téléphone portable pour découvrir la recherche en classe de CM1 - CM2, Bonnardot Frédéric . . . . .	74
Conception d'un corset robotisé pour le traitement de la scoliose, Ray Rahul [et al.]	77

Estimation du Risque de Chute Chez les Personnes Âgées, Brome Reem [et al.] . . . . .	80
Implémentation d'un réseau de neurones artificiels pour le traitement temps-réel de signaux cérébraux, Rancon Ulysse [et al.] . . . . .	83
Le rôle de Big Data Analytics dans l'amélioration de la durabilité des entreprises en réseau, Tamym Lahcen [et al.] . . . . .	86
Méthodes de détection de défauts de tissages métalliques en vue d'une démarche contrôle qualité, Olivier Caspary . . . . .	89
Ordonnancement et séquençage des opérations de décollage et d'atterrissage des véhicules de mobilité aérienne avancée (AAM) aux vertiports, Espejo Diaz Julian Alberto [et al.] . . . . .	92
Orientation des lycéens dans le supérieur : immersion en téléprésence dans les enseignements universitaires, Gallon Laurent [et al.] . . . . .	95
Pour une gouvernance des données dans les environnements connectés, Laamech Nouha [et al.] . . . . .	98
Projet Pinède: Plateforme IoT pour les Nomades, Exploitable à Distance pour l'Éducation, Arnaud Février . . . . .	101
Prédiction de la durée de séjour avec les données standards par un réseau de neurones à propagation avant, Lequertier Vincent [et al.] . . . . .	104
Sonde réseau Pour l'Internet des Objets, Arnaud Février . . . . .	107
Système cyber-physique éducatif pour réaliser des Travaux Pratiques en comodalité synchrone, Gallon Laurent [et al.] . . . . .	110
Amélioration de la précision des robots : études de cas données aux étudiants de l'IUT de Nantes, Subrin Kevin [et al.] . . . . .	113
Contribution à l'estimation de la durée de vie restante des roulements à billes, Abdenour Soualhi . . . . .	116
Création d'un tiers-lieu universitaire : vers une réflexion sur les communs ?, Martin Corinne [et al.] . . . . .	119
Détermination des critères de soudage dans un procédé innovant de soudage en continu de films polymères pour l'emballage souple, Tannous Queen [et al.] . . . . .	122
Influence des fibres de Kénaï sur les propriétés de BTC, Leklou Nordine [et al.] . . . . .	125

LA DISSIPATION D'ENERGIE SOUS FLAMBAGE PLASTIQUE MULTIAXIAL DES MOUSSES D'ALUMINIUM., Baleh Rachid . . . . .	128
Le Génie Civil et la Mécanique au service de la Construction Durable : Evaluation de l'état de santé du béton des ouvrages par ondes ultrasonores, Ramaniraka Manda [et al.] . . . . .	131
Mesures in-situ en temps réel des grandeurs thermiques de parois biosourcées, Douk Najib [et al.] . . . . .	134
Propriétés mécaniques et biodégradabilité des films minces à base de Zn pour applications aux implants biodégradables, Poltronieri Cristiano [et al.] . . . . .	137
Réflexion non-spéculaire d'un faisceau : études théoriques et simulations numériques, Polliès Rémi . . . . .	140
Étude du comportement vibratoire d'une fraiseuse mobile automatisée dans un contexte d'usinage sur site., Rowe James [et al.] . . . . .	143
Contribution des étudiants d'IUT à trente ans de recherche sur le patrimoine, Poisat Jacques . . . . .	146
La Terre en danger. L'écologie et le développement durable s'invitent en littérature jeunesse, Atzenhoffer Régine . . . . .	149
La force créatrice de l'inspiration destructrice, Dalle Rodolphe . . . . .	152
Politique de démocratisation ou expérience pédagogique locale : des bacheliers professionnels en Institut Universitaire de Technologie., Lefeuvre Sonia [et al.] . .	155
Représentation sociale du travail en équipe et émotions, Bouriche Boumédienne .	158
Sentiments et émotions dans les fake news et leur réception : l'utilité des dictionnaires électroniques avec informations sémantiques, Bigey Magali . . . . .	161
Vers une nouvelle " marque pays " Liban ?, El Nar Chadi [et al.] . . . . .	164
Capital culturel, compétences entrepreneuriales et développement de la grande entreprise, Lambert Pascale [et al.] . . . . .	167
Comment mieux assumer les responsabilités sociales et environnementales des entreprises : le cas des Coopératives Multi-Sociétaires, Juban Jean-Yves [et al.] . .	170
Déterminants de l'intention de développement du micro-entrepreneur : cas du micro-entrepreneur en Région Hauts-de-France, Dokou Gérard Kokou [et al.] . . .	173

L'évolution des performances scolaires en France depuis 1970 : un déclin inéluctable ?, Altinok Nadir . . . . .	176
La professionnalisation par la création d'entreprise, retour sur Campus des Entrepreneurs, Foliard Stéphane [et al.] . . . . .	179
Une contribution à l'étude des profils de management : le cas de Barack Obama, Marques Pierre [et al.] . . . . .	182
Vers une intersectionnalité agricole ? La succession agricole dans les marges. Une analyse comparative dans les zones sous influence urbaine de la Ceinture de Verdure de L'Ontario, Canada et l'InterSCoT toulousain, France., Akimowicz Mikaël [et al.] . . . . .	185
Morale et entreprise : le point du philosophe, Dherment-Ferere Isabelle . . . . .	188
Construire et décliner son image de marque. L'exemple de l'entreprise Casino, Cal-lens Anne-Céline . . . . .	191
TECH'NOMAD : Construction d'un projet de médiation technologique, Allanic Nadine [et al.] . . . . .	194

## De la biospie à la biopsie optique

---

Emilie Péry<sup>1</sup> Paul Avan<sup>2</sup> Jean-Marie Gorrard<sup>3</sup>

emilie.pery@uca.fr paul.avan@uca.fr J-Marie.gorrard@uca.fr

<sup>1</sup> IUT Clermont Auvergne  
Université Clermont Auvergne, Clermont Auvergne INP,  
CNRS, Institut Pascal, F-63000 Clermont–Ferrand, France

<sup>2,3</sup> Université Clermont Auvergne, CNRS, Inserm,  
Neuro-Dol, F-63000 Clermont–Ferrand, France

**THÈMES** – *Biologie - Santé - Imagerie*

**RÉSUMÉ** – *Le présent article présente la biopise et la biopsie optique appliquées au domaine de la santé et explique les principes physiques de trois méthodes permettant de réaliser en temps réel des images de tissus vivants à l'échelle cellulaire en biospie optique. La microscopie confocale repose sur le balayage simultané du tissu par une tache d'éclairement et une ouverture confocale : cette dernière permet une résolution latérale proche du micromètre, à condition de conférer à l'optique une ouverture numérique élevée. La source utilisée en microscopie biphotonique est un laser dont la puissance n'est suffisante pour exciter la réponse non-linéaire spécifiquement détectée que dans un volume microscopique, qui seul contribue à la construction de l'image. Pour ces deux méthodes, les fluorophores naturels des tissus sont en trop faible concentration pour donner un signal suffisant, aussi des fluorophores doivent-ils être ajoutés soit localement, soit au corps entier. Il est avantageux d'associer ces fluorophores à des biomolécules qui ciblent des processus pathologiques, pour augmenter la spécificité des diagnostics. Enfin la tomographie à cohérence optique (ou OCT pour Optical Coherence Tomography) est une technique d'imagerie haute résolution qui, en utilisant une source optique à très faible longueur de cohérence, produit sans recourir à un fluorophore une image interférométrique du tissu avec une profondeur de champ et une résolution latérale de l'ordre de quelques micromètres. Bien que les techniques actuelles d'optique et de micro-endoscopie permettent théoriquement de réaliser des images à l'échelle d'une couche cellulaire, le contraste et la stabilité des images obtenues doivent faire l'objet de mises au point très spécifiques avant que leur signification ne puisse être établie en regard des techniques classiques de biopsie.*

**MOTS-CLÉS** – *biopsie, microscopie confocale, microscopie biphotonique, santé, tomographie par cohérence optique*

## 1 Introduction

La **biospie** est un acte chirurgical qui consiste à effectuer un prélèvement d'un petit morceau de tissu ou d'organe en vue de le faire analyser par un anatomo-pathologiste, un spécialiste qui reconnaît, à l'examen au microscope, les maladies dont est atteint un organe, en fonction des effets qu'elles ont sur les cellules prélevées (désorganisation de l'architecture tissulaire, agmentation de la taille des noyaux...). La **biospie optique**, quant à elle, est apparue depuis peu grâce aux avancées technologiques. C'est une technique non invasive qui permet de caractériser les tissus en temps réel par des moyens optiques. Les trois méthodes décrites dans cet article sont anciennes, mais elles n'ont bouleversé le diagnostic en médecine et en biologie que depuis deux décennies, ce qui a rendu possible leur application *in vivo*. Le microscope confocal permet de former l'image d'une coupe transversale en éliminant la lumière provenant des autres plans, et donc d'obtenir une image nette du tissu sur des coupes virtuelles permettant la reconstruction du tissu en trois dimensions. Son brevet fut déposé par Minski en 1957 [1]. Le microscope biphotonique nécessite un flux lumineux très intense, que seul un laser pulsé focalisé peut fournir. Abella put observer ce processus d'absorption de deux photons dès 1962, deux ans après la naissance du laser [2]. Enfin la tomographie par cohérence optique (OCT) applique le principe de l'interféromètre de Michelson qui date de 1887 [3]. L'application de ces méthodes à l'analyse de tissus vivants *in situ* a nécessité de résoudre nombre de difficultés ardues.

## 2 Microscopie confocale

Le principe du **microscope confocal** est illustré sur la figure 1. Le faisceau laser issu de la source ponctuelle est focalisé en un point de l'échantillon après avoir été dirigé par deux miroirs mobiles (x-scan et y-scan) qui permettent au foyer d'effectuer un balayage automatique dans le plan (x, y). Une partie de la lumière, après avoir interagi avec l'échantillon dans la zone du foyer, est renvoyée vers les miroirs soit par rétrodiffusion, soit par fluorescence. Cette lumière est séparée du faisceau incident par la lame semi-transparente. Elle est ensuite focalisée dans le plan d'une ouverture dite confocale (car la lumière qui s'y trouve focalisée provient du foyer mentionné plus haut), puis collectée par le détecteur. La rotation des deux miroirs mobiles permet non seulement au faisceau laser mais aussi à l'image de l'iris de balayer l'échantillon selon les directions x et y. Le microscope confocal fournit donc une image à deux dimensions d'une « section optique » à l'intérieur d'un tissu à trois dimensions. La lumière provenant des autres plans transversaux est éliminée par l'iris confocal.

Le microscope confocal fonctionne en lumière rétrodiffusée ou en fluorescence, ce dernier mécanisme impliquant une légère diminution de fréquence des photons réémis,

due aux transitions électroniques au sein des molécules excitées par la lumière reçue : les fluorophores. Les fluorophores naturels des tissus sont en trop faible concentration pour donner un contraste suffisant, aussi des fluorophores doivent-ils être ajoutés soit localement, soit au corps entier. Ces fluorophores pourraient être associés à des biomolécules qui cibleraient des cellules ou des processus anormaux, pour augmenter la spécificité des diagnostics, mais évidemment ceci suppose un travail de mise au point et de validation considérable.

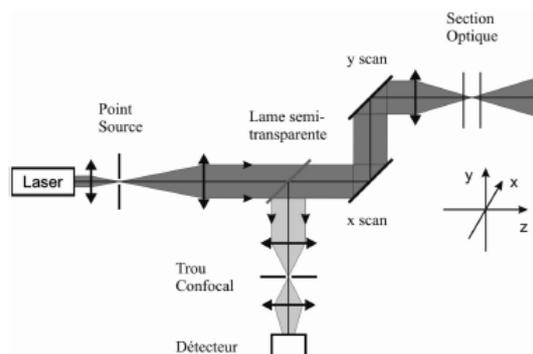


FIGURE 1 – Principe du microscope confocal.

## 3 Microscopie biphotonique

Le **microscope biphotonique** utilise une source laser dont la puissance instantanée est suffisante pour exciter une réponse dite non-linéaire dans le tissu. On utilise délibérément une source de photons de longueur d'onde 976 nm (infrarouges) alors que la molécule fluorescente cible exigerait l'absorption d'un photon deux fois plus énergétique, donc de longueur d'onde moitié : 488 nm (bleu). Le schéma du microscope biphotonique est le même que celui de la figure 1, à la différence que l'iris confocal est supprimé. C'est ici aussi la rotation des deux miroirs qui permet au faisceau laser de balayer un plan (x, y) dans l'échantillon, et donc d'obtenir une image haute résolution à deux dimensions d'une section fine du tissu.

Comme pour la microscopie confocale, l'autofluorescence est trop faible pour avoir un contraste suffisant, aussi est-il nécessaire d'ajouter des fluorophores pour obtenir des images de qualité. Les avantages du microscope biphotonique par rapport au confocal sont que :

- l'utilisation pour l'excitation de lumière infrarouge plutôt que bleue permet une profondeur de pénétration dans le tissu plus élevée (de l'ordre du mm), ce qui est essentiel en chirurgie endoscopique,
- la phototoxicité de la lumière infrarouge sur le tissu est moindre que celle de la lumière bleue,
- l'efficacité de détection de la lumière est meilleure (grâce à l'inutilité d'un iris confocal).

## 4 Tomographie par cohérence optique

L'OCT est une technique optique d'imagerie haute résolution, non invasive et utilisable *in vivo*, fondée sur l'interférométrie à faible cohérence. Elle présente des analogies avec d'autres méthodes d'imagerie, telles le radar ou l'échographie ultrasonore, en ce qu'elle se base sur la durée de trajet de l'écho pour analyser une zone du tissu. L'OCT est très utile en imagerie médicale car elle permet d'obtenir *in situ* des images de microstructures avec une résolution de quelques micromètres proche de celle de l'histologie conventionnelle. Décrite pour la première fois en 1991 [4], l'OCT a permis d'améliorer l'imagerie et le diagnostic en ophtalmologie, mais aussi dans plusieurs autres disciplines incluant la cardiologie [5, 6], la dermatologie [7], la gastroentérologie [8] et l'urologie [9]...

**OCT temporelle (TD-OCT : Time-domain OCT) :** technologie utilisée dans les premières générations d'OCT, réalisant la division de la lumière en deux faisceaux, envoyés dans l'échantillon à analyser et sur un bras de référence se terminant par un miroir. La combinaison des deux faisceaux produit une interférence constructive lorsque la lumière a parcouru exactement la même distance dans les deux bras. Le balayage du miroir du bras de référence permet ainsi de réaliser un profil de réflectivité de l'échantillon, appelé A-scan. La combinaison de plusieurs A-scans réalisés en déplaçant latéralement le faisceau permet de construire une image en coupe de l'échantillon (B-scan).

**OCT spectrale (SD-OCT : Spectral-domain OCT)** (figure 2) : technologie utilisée dans la plupart des OCT actuels. Les OCT dans le domaine de Fourier reposent sur l'analyse des différentes longueurs d'onde du spectre de la lumière infrarouge utilisée grâce à la transformée de Fourier et permettent d'obtenir le même profil de réflectivité des tissus analysés sans avoir à déplacer le miroir dans le bras de référence. La vitesse d'acquisition a, de ce fait, été largement augmentée, autorisant la réalisation d'acquisitions multiples de la même structure, et améliorant ainsi le rapport signal/bruit et la résolution spatiale.

## 5 Discussion

Les problèmes optiques soulevés par les microendoscopes ont maintenant trouvé des solutions techniques satisfaisantes. Le microscope confocal par fluorescence et l'OCT se sont révélés être deux méthodes complémentaires. La résolution latérale élevée et le contraste associés au microscope confocal permettent une visualisation en face de détails subcellulaires. Mais l'OCT permet d'imager la microarchitecture du tissu à une profondeur hors d'atteinte par microscopie confocale. Avant de pouvoir affirmer que ces techniques permettent une véritable biopsie optique, la question du contraste des images devra être résolue : quels détails de ces images permettent de différencier un tissu sain d'un tissu anormal ? Le contraste

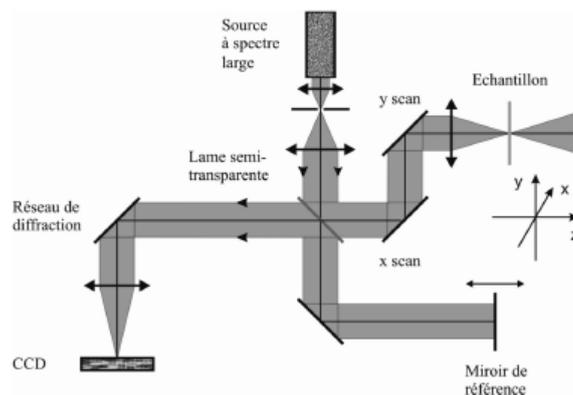


FIGURE 2 – SD-OCT.

des techniques confocale et biphotonique dépendent des fluorophores utilisés. S'il s'avère possible d'associer des fluorophores adéquats à des biomolécules capables de cibler les cellules anormales, la spécificité des diagnostics pourra être augmentée. Les questions de stabilité et d'archivage des images obtenues doivent également faire l'objet de mises au point très spécifiques avant que la notion de biopsie optique ne puisse être validée en regard des techniques classiques de biopsie. Il est donc encore difficile de dire quelles méthodes seront les plus utilisées dans l'avenir et quel sera leur rôle précis en pratique clinique.

## Références

- [1] Minski M. — 1961, Brevet US 3013467.
- [2] Alka Seltzer, *Optical double-photon absorption in cesium vapor*, Phys. Rev. Letters, 1962, 9, 453.
- [3] Michelson A.A., Morley E.W. *On the relative motion of the earth and the luminiferous ether*, Am. Jour. Sci., 1887, 34, 333-345.
- [4] Huang D., Swanson E.A., Lin C.P. et al. *Optical coherence tomography*, Science, 1991, 254, 1178-1181.
- [5] Brezinski M.E. et al. *Imagery of coronary artery microstructure (in vitro) with optical coherence tomography*, Am. J. Cardiol., 1996, 77, 92-93.
- [6] Dubuisson F. et al. *Automated peroperative assessment of stents apposition from OCT pullbacks*, Comput. Biol. Med., 2015, 59 :98-105.
- [7] Welzel J. et al. *Optical coherence tomography of the human skin*, J. Am. Acad. Dermatol., 1997, 37, 958-963.
- [8] Sivak M.V. et al. *High-resolution endoscopic imaging of the GI tract using optical coherence tomography*, Gastrointest. Endosc., 2000, 51, 474-479.
- [9] D'Amico A.V. et al. *OCT as a method for identifying benign and malignant microscopic structures in the prostate gland*, Urology, 2000, 55, 783-787.

---

## L'utilisation de la RMN de paillasse pour le profilage biochimique des microalgues offre de nouvelles perspectives pour le contrôle des photobioréacteurs.

---

Dylan Bouillaud<sup>1</sup>, Delphine Drouin<sup>2</sup>, Jonathan Farjon<sup>1</sup>, Patrick Giraudeau<sup>1</sup>, Olivier Gonçalves<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université de Nantes, CEISAM, UMR CNRS 6230, BP 92208, 2 rue de la Houssinière, 44322 Nantes Cedex 3, France

<sup>2</sup> IUT de Saint Nazaire - Université de Nantes, GEPEA, UMR CNRS 6144, 37 boulevard de l'Université, 44600 Saint-Nazaire Cedex, France

dylan@magritek.com delphine.drouin@univ-nantes.fr jonathan.farjon@univ-nantes.fr  
patrick.giraudeau@univ-nantes.fr olivier.goncalves@univ-nantes.fr

**Thèmes** – Génie des Procédés - Chimie - Biologie - Énergie - Environnement - Capteurs

**Résumé** – *Les appareils de Résonance Magnétique Nucléaire (RMN) de paillasse sont transportables, pratiques et abordables, contrairement aux appareils à haut champ basés sur des aimants à supraconducteurs. Ces nouveaux dispositifs ont ouvert de nombreuses applications dans une grande variété de domaines scientifiques. Dans cette présentation, on se focalisera sur l'utilité de la résonance magnétique nucléaire (RMN) de paillasse pour le monitoring des bioprocédés de production de microalgues cultivées pour la production de lipides. On démontrera notamment qu'il est possible de mesurer en temps réel l'accumulation de lipides par spectroscopie RMN de paillasse avec une gamme de précision tout aussi acceptable que celle obtenue avec les techniques de référence. Cette preuve de concept ouvre de nouvelles perspectives pour le développement de capteurs de nouvelle génération.*

**Mots-Clés** – *Microalgues, RMN de paillasse, Photobioréacteurs, Outil de mesure en ligne, Capteurs de nouvelle génération.*

## 1 Contexte scientifique et principaux résultats

La production durable de lipides par les microalgues est largement développée au sein de la communauté des bioprocédés visant diverses applications telles que l'alimentation animale, l'alimentation humaine, la santé ou la bioénergie. La culture des microalgues nécessite des systèmes dédiés avec une géométrie d'éclairage optimale. La réalisation d'analyses en ligne non invasives sur ces bioprocédés est limitée à quelques techniques analytiques, souvent basées sur les propriétés optiques et qui peuvent cependant rarement être liées aux produits intracellulaires. La connaissance en temps réel de l'accumulation de lipides dans les microalgues n'est - dans ce cas - pas possible. Dans la présente communication, la preuve de concept que le récent dispositif de spectroscopie RMN de paillasse peut être utilisé pour la détection non invasive et sélective des lipides à l'intérieur des cellules de microalgues, est réalisée selon le montage expérimental illustré dans la figure 1.

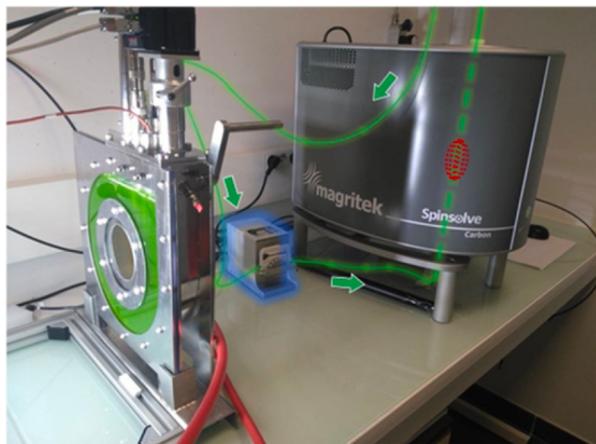


Figure 1 : couplage entre un photobioréacteur (PBR) (culture de *Parachlorella kesslerii*) à gauche et un spectromètre RMN de paillasse (gris) à droite à l'aide d'une pompe péristaltique (surlignée en bleu). La boucle relie le PBR avec des capillaires (accentués en ligne verte pleine) à un tube de quartz lisse (accentué en ligne verte pointillée). Le volume sensible de la RMN est représenté en rouge.

Plus précisément, nous démontrerons dans la présente communication comment un spectromètre RMN compact connecté à un PBR peut mesurer, en temps réel et de manière non invasive, la concentration en lipides totaux, et ce directement sur l'ensemble des cellules cultivées dans leur milieu de culture. Pour l'élimination sélective du signal de l'eau, la version W5 de la séquence d'impulsions WATERGATE sera employée. Les résultats expérimentaux ont montré que le signal RMN est bien corrélé ( $R. > 0,99$ ) avec l'analyse hors ligne des lipides totaux FAME (Fatty Acid Methyl Ester) effectuée par

GC-FID (Gas Chromatography coupled to Flame Ionization Detector) dans des limites de détection et de quantification de 9 et 30 mg.L<sup>-1</sup> respectivement (figure 2). Le signal spécifique des lipides semble également assez robuste par rapport au dioxygène dissous, ce qui fait de la spectroscopie RMN de table un dispositif universel approprié pour la surveillance en ligne des lipides produits dans les bioprocédés.

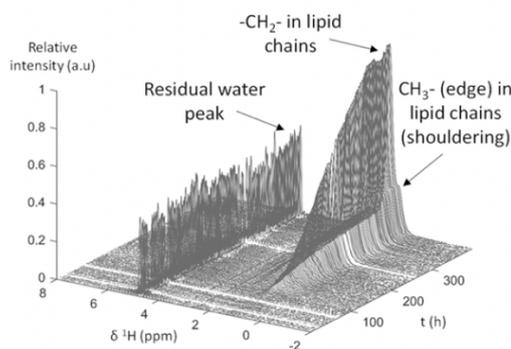


Figure 2 : Représentation 3D superposée de la moitié des 310 spectres RMN <sup>1</sup>H pour des raisons de lisibilité, après corrections de phase et de ligne de base. Le pic d'eau résiduel à 4,7 ppm et la croissance significative du pic lipidique principal à 1,2 ppm au cours de la culture sont mis en évidence.

## 2 Conclusion et perspectives

Le présent travail démontre que la spectroscopie RMN compacte est capable de fournir un signal en temps réel qui est représentatif de la concentration en lipides totaux. L'évolution relative de ce signal permet le suivi in-vivo non-invasif des lipides totaux sur des microalgues cultivées dans des conditions réelles en bioprocédés. En outre, la comparaison des données RMN avec une analyse quantitative des lipides totaux prouve que l'analyse RMN est bien quantitative et ce en temps réel. Dans les conditions de cette étude, la limite de détection a été mesurée à 9 mg.L<sup>-1</sup> et cette limite peut être ajustée dans le cas de différents bioprocédés. La RMN de paillasse présente donc tout le potentiel pour développer de futurs capteurs pour le « monitoring avancé » des systèmes de culture de microalgues.

## Références

Dylan Bouillaud, Delphine Drouin, Benoît Charrier, Corentin Jacquemmoz, Jonathan Farjon, Patrick Giraudeau and Olivier Gonçalves, Using benchtop NMR spectroscopy as an online non-invasive in vivo lipid sensor for microalgae cultivated in photobioreactors, *Process Biochem* (2020), March 2020, <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.03.016>

Dylan Bouillaud, Vladimir Heredia, Thomas Castaing-Cordier, Delphine Drouin, Benoît Charrier, Olivier Gonçalves, Jonathan Farjon, Patrick Giraudeau, Benchtop flow NMR spectroscopy as an online device for the in vivo monitoring of

lipid accumulation in microalgae, *Algal Research* (2019),  
November 2019, doi.org/10.1016/j.algal.2019.101624

Dylan Bouillaud, Jonathan Farjon, Olivier Gonçalves and  
Patrick Giraudeau, Benchtop NMR for the monitoring of  
bioprocesses, *Magn Reson Chem* (2019) 1– 11.  
<https://doi.org/10.1002/mrc.4821>

---

## La Waide (*Isatis tinctoria* L.), plante historique des Hauts-de-France, source de métabolites secondaires pour des applications colorantes et biologiques : Extraction, caractérisation, formulation, modulation des propriétés

---

Romain Vauquelin<sup>1,2</sup>      Pr. Nicolas Joly<sup>2</sup>      Dr. Elodie Choque<sup>1</sup>  
romain.vauquelin@gmail.com      nicolas.joly@univ-artois.fr      elodie.choque@u-picardie.fr  
Pr. Patrick Martin<sup>2</sup>      Pr. Nathalie Jullian<sup>1</sup>  
patrick.martin@univ-artois.fr      nathalie.jullian@u-picardie.fr

<sup>1</sup> IUT Génie Biologique, Amiens  
Biologie des Plantes et Innovation, UMRT INRAe 1158 BioEcoAgro (BIOPI UPJV)  
<sup>2</sup> IUT Chimie, Béthune  
Unité Transformations & Agroressources site Artois, ULR7519 (UTA site Artois)

**Thèmes** – Chimie - Biologie - Environnement

**Résumé** – *Dans une dynamique de retour à la naturalité des produits, des réponses sont données par l'intermédiaire de l'extraction de métabolites secondaires issues de plantes. Dans cette approche, la « Waide » (le pastel des teinturiers, *Isatis tinctoria* L.), par son attrait historique et local au sein des Hauts-de-France, permet de répondre à cette problématique. Longtemps cultivée pour son bleu indigo issu de ses feuilles, cette plante à toutes les qualités requises pour être valorisée notamment pour ses atouts tinctoriales et médicinales. Cette thèse pluridisciplinaire porte donc sur sa valorisation zéro-déchet par l'extraction de ses métabolites secondaires. Ces molécules pourront répondre à différents domaines d'applications allant de la coloration en passant par l'industrie pharmaceutique jusqu'au domaine du biocontrôle, par l'intermédiaire des glucosinolates. Différentes méthodes d'extraction sont à mettre en place selon la nature des molécules à extraire et des parties de la plante étudiées. Elles seront établies dans un premier temps sur des plantes cultivées hors-sol en culture hydroponique par apport de nutriment en solution dans des conditions contrôlées. Ces méthodes seront, dans un second temps, transposées sur du matériel végétal issu de champ afin d'être dans les conditions réelles de valorisation. Cela permettra d'évaluer l'influence environnementale en champ par rapport à la culture hors-sol. L'objectif serait à terme de réimplanter cette culture oubliée et de proposer sa valorisation zéro-déchet dans son entièreté au sein de la région des Hauts-de-France.*

**Mots-Clés** – Waide, valorisation, zéro déchet, indigo, glucosinolate

## Introduction

Dans une démarche de développement durable, l'objectif premier est la préservation des ressources naturelles. L'extraction de pétrole, nécessaire à la production de produits dans divers domaines, ne constitue pas une proposition durable dans le temps. Face à cette problématique, remplacer ces produits par une valorisation de bio-ressources, notamment l'extraction de métabolites secondaires issus de végétaux, est une des réponses viables. Dans cette approche, la valorisation de la "Waide" (*Isatis tinctoria* L. ou pastel des teinturiers) plante historique oubliée des Hauts-de-France, s'inscrit dans cette proposition, notamment par les propriétés tinctoriales et médicinales que propose cette plante.

L'objectif principal de cette thèse est de proposer une valorisation zéro-déchet du pastel des teinturiers dans sa totalité, en le réintroduisant à terme, dans la région des Hauts-de-France. Le premier axe d'étude de la thèse concerne l'extraction de l'indigo provenant spécifiquement des feuilles de la plante. L'intérêt est de modifier le processus de macération en réduisant notamment la quantité d'eau utilisée tout en optimisant le procédé dans une approche industrielle. Le deuxième axe correspond à l'extraction et la caractérisation de nouvelles molécules d'intérêt biologique<sup>1</sup> contenues dans chacune des parties de la plante. Différentes méthodes d'extractions seront étudiées sur les différents organes de la plante, de la graine, à la racine, en passant par la tige, jusqu'à la feuille. Nous évaluerons les propriétés biologiques de ces molécules qui peuvent être antioxydantes, fongicides, ou encore destinées à un usage en biocontrôle. Elles pourront éventuellement être modifiées chimiquement afin d'augmenter leurs stabilités ou leurs propriétés biologiques. Le troisième axe correspond à l'étude de l'extraction particulière et le mécanisme d'action des glucosinolates<sup>2</sup> dans du biocontrôle destinés aux insectes, ces molécules se retrouvant en forte abondance dans la plante. Il sera donc nécessaire de trouver une méthode d'extraction solide-liquide particulière par l'intermédiaire notamment d'agro-solvant comme le cyrène<sup>3</sup> par exemple.

Ce sujet pluridisciplinaire regroupe deux domaines scientifiques bien distincts mais complémentaires, que sont la chimie et la biologie végétale. La thèse est sous la direction de deux laboratoires de recherche rattachés à deux IUT spécialistes de ces deux domaines. La première équipe, rattachée à l'IUT de Béthune, est spécialiste dans la valorisation d'agroressources, destinée à la production de molécules et matériaux biosourcés. La seconde rattachée à l'IUT d'Amiens, est spécialiste dans la physiologie végétale plus précisément dans la compréhension du métabolisme racinaire en vue de la

production de biomolécules. L'objectif est donc de mettre en place une culture hydroponique<sup>4</sup> afin d'être dans des conditions contrôlées de culture pour réaliser les différentes extractions. Il sera ensuite nécessaire de réaliser cette culture en champ et d'y transposer les méthodes d'extraction sur les plantes afin d'observer les variations liées à l'environnement par rapport à la culture hors-sol, afin de se placer dans les réelles conditions de valorisation.



Figure 1 – Plant d'*Isatis tinctoria* L. en culture hydroponique

## Conclusions

L'objectif de cette thèse pluridisciplinaire est de créer une chaîne de valorisation en partant de la culture de la plante, en passant par l'extraction et la caractérisation de métabolites secondaires jusqu'à la production de produits biosourcés. Ces produits répondront à des offres dans différents domaines, comme le domaine des colorants, celui des matériaux ou encore de l'agro-alimentaire. Ils pourront également répondre à des champs d'application biologique avec un intérêt en santé/bien-être comme par exemple les nutraceutiques, la cosmétique et l'industrie pharmaceutique.

## Remerciements

Les auteurs souhaitent exprimer leur gratitude à la Région Hauts-de-France pour le financement de cette thèse, ainsi qu'au Jardin des Plantes d'Amiens et à la Savonnerie des Hauts-de-France pour nous avoir fourni des graines.

## Références

[1] Speranza, Jasmine, et al. « *Isatis Tinctoria* L. (Woad): A Review of Its Botany, Ethnobotanical Uses, Phytochemistry, Biological Activities, and Biotechnological Studies ». *Plants* (Basel, Switzerland), vol. 9, no 3, mars 2020, p. E298, <https://doi.org/10.3390/plants9030298>.

[2] Mohn, Tobias, et Matthias Hamburger. « Glucosinolate Pattern in *Isatis Tinctoria* and *I. Indigotica* Seeds ». *Planta Medica*, vol. 74, no 08, juin 2008, p. 885-88, <https://doi.org/10.1055/s-2008-1074554>.

[3] De bruyn, Mario, et al. « Geminal Diol of Dihydrolevoglucosenone as a Switchable Hydrotrope: A Continuum of Green Nanostructured Solvents ». *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, vol. 7, no 8, avril 2019, p. 7878-83, <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b00470>.

[4] Jia, Honglei, et al. « Hydrogen Sulfide Decreases Cd Translocation from Root to Shoot through Increasing Cd Accumulation in Cell Wall and Decreasing Cd<sup>2+</sup> Influx in *Isatis Indigotica* ». *Plant Physiology and Biochemistry: PPB*, vol. 155, octobre 2020, p. 605-12, <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.033>.

# Utilisation d'un milieu de culture commercial (EPT) pour la croissance en continu (chemostat) de bactéries dans le but d'optimiser la production de bactériophages

Pauline Huzet<sup>1</sup> Camille Lerouge<sup>2</sup> Emma Marcelle<sup>3</sup> Françoise Aubrit<sup>4</sup> Sophie Gleizes<sup>5</sup>  
Marie Deblieck<sup>6</sup> Denis Watier<sup>7</sup>

denis.watier@univ-littoral.fr

<sup>1,2,3,6,7</sup> IUT du Littoral Côte d'Opale, Département Génie Biologique,  
Université du Littoral Côte d'Opale, 62200, Boulogne-sur-Mer

<sup>4,5</sup> Clean Cells, Rue Marie Curie, Parc d'Activités Vendée Sud Loire 1, 85600 Montaigu

<sup>7</sup> BPA, Université du Littoral Côte d'Opale, Unité sous Contrat (USC) ULCO - Anses, EA 7394 – ICV  
Institut Charles Viollette, 62200, Boulogne-sur-Mer

**Thèmes - biologie-santé**

**Résumé** - La multiplication des antibiorésistances implique de développer des stratégies de substitution dans la lutte contre les bactéries pathogènes. La phagothérapie en fait partie. Elle implique la production quantitative de bactériophages. Des productions en chemostat (production en continu) permettant d'obtenir de bons rendements de production ont été proposées. Elles utilisent des milieux minéraux à base de glucose contraignants (préparation, stérilisation, répression catabolique...) et/ou des milieux à base de substrats complexes (difficulté de réguler le continu). Dans ce travail préliminaire réalisé en partenariat avec l'entreprise Clean Cells, nous avons testé un milieu commercial répondant aux contraintes de simplicité de préparation et n'entraînant pas de répression catabolique. Nous proposons des conditions expérimentales permettant l'obtention d'une population d'*Escherichia coli* stable, qualitativement et dans le temps, permettant la production de bactériophages T7 à des titres élevés.

**Mots-Clés** – bactériophages T7, *Escherichia coli*, chemostat, phagothérapie

## 1. Introduction

Les bactériophages lytiques se multiplient en détournant le métabolisme des bactéries à leur profit entraînant la lyse de celles-ci. Ils peuvent être utilisés comme substitut aux antibiotiques pour lutter contre les bactéries pathogènes. Les pays qui autorisent l'usage de la phagothérapie sont : les USA, le Canada, la Suisse, Israël et les pays de l'est. En France, pour l'instant, l'usage reste limité au cadre expérimental et compassionnel. Les problèmes récurrents de l'antibiorésistance poussent les chercheurs et les industriels à développer une alternative de phagothérapie. Toutefois, à ce jour, la production de bactériophages reste confidentielle et utilise le procédé batch (croissance en milieu non renouvelé). Mancuso et al. (2018) ont montré qu'un procédé continu (chemostat) de production en milieu minéral permettait d'augmenter les rendements. Cependant les contraintes dues à l'utilisation d'un milieu minéral contenant du glucose ne semblent pas compatibles avec les impératifs industriels (stérilisation complexe, répression catabolique du glucose...). Dans ce travail nous proposons l'utilisation d'un milieu commercial à base de peptones.

L'optimisation de la production de bactériophages est directement liée à l'optimisation de la production de bactéries en amont. Les productions en chemostat produisent des bactéries en phase exponentielle caractérisées par un métabolisme optimal permettant le développement des bactériophages. Ces productions en chemostat sont soumises

à des contraintes fonctionnelles. A l'équilibre, le taux de croissance des bactéries est égal au taux de dilution  $D$  du bioréacteur exprimé en  $h^{-1}$ . Dans ces conditions la croissance bactérienne compense la dilution. Pour maintenir cet équilibre, il est nécessaire que la concentration en substrat dans le fermenteur reste limitante et que  $D$  reste inférieur à  $\mu_{max}$ . Un système de trop-plein permet de maintenir constant le volume et alimente en continu un deuxième fermenteur dans lequel se multiplient les bactériophages en lysant des bactéries. Ce processus est maintenu à l'équilibre grâce à un débit constant. Le temps de séjour peut être modifié en variant les volumes ainsi que les débits.

## 2. Matériels et méthodes

La souche hôte est *Escherichia coli* ATCC 11303. Le bactériophage T7 (RPS T7) a été fourni par l'entreprise Clean Cells (Material Transfer Agreement du 16/12/20). Le milieu de culture **EPT** (Eau Peptonée Tamponnée) est autoclavé 20 min. à 121°C. Les inocula sont incubés une nuit à l'étuve à 37°C et non aérée. La population bactérienne est estimée à l'aide d'un turbidimètre HANNA HIB3614 (Équivalence 1 NTU =  $1,71 \cdot 10^6$  UFC.mL<sup>-1</sup>). La concentration en oxygène est contrôlée avec une sonde optique (METTLER Toledo). Un analyseur élémentaire carbone/azote (Flash EA 1112 Thermo Fisher) permet de suivre la consommation de peptones (substrat). Le montage de culture en chemostat est présenté sur la figure 1.

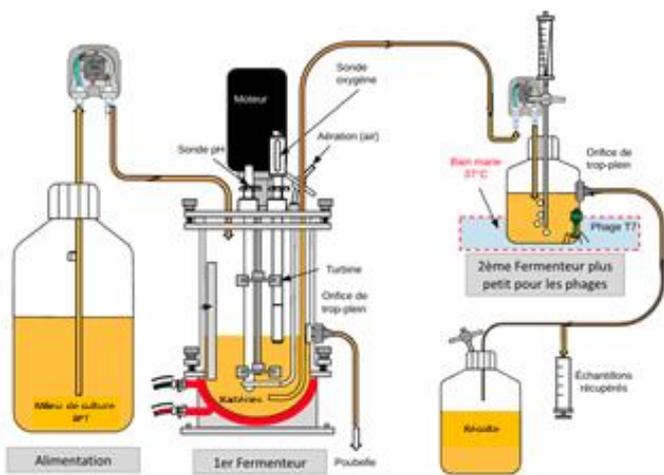


Figure 1 : Schéma du système chemostat

Le milieu EPT est introduit dans le premier fermenteur où *E. coli* se développe (New Brunswick Bioflo 3000, volume utile 1,2 L, 37°C 650 rpm, aération 2 L.min<sup>-1</sup>). Une pompe péristaltique permet d'introduire en continu les bactéries dans le bioréacteur de production de phages. L'homogénéisation est assurée par barbotage (2 L.min<sup>-1</sup>). La température est régulée à 37°C. Le volume est maintenu constant par un système de trop-plein. La production est récupérée dans un bidon fermé.

Un plan d'expériences centré réduit a été construit à partir du logiciel Minitab 18 (11 expériences à 5 niveaux : concentration en EPT : 2; 5; 11; 17; 20 g/L et taux de dilution : 0,45 ; 0,625 ; 0,975 ; 1,325 ; 1,5 h<sup>-1</sup>).

### 3. Résultats et discussion

Pour le milieu EPT nous avons déterminé les taux de croissance à différentes concentrations en substrat (peptones) afin de tracer l'équation de Michaelis-Menten (Figure 2). Cette équation nous permet de déterminer la plage (zone en bleu) des couples taux de dilution-concentration en substrat dans le bioreacteur 1 permettant de maintenir cet équilibre soit  $D \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$  et  $[\text{peptone}] \leq 3,5 \text{ g/L}$ .

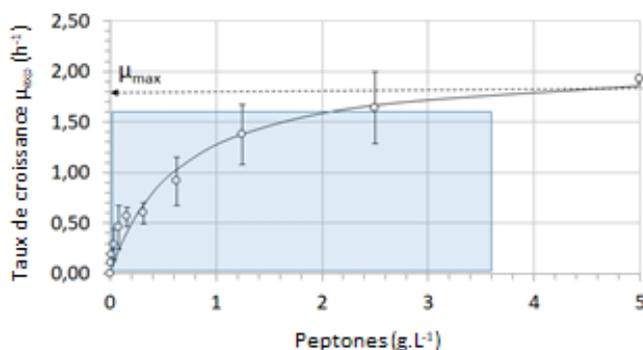


Figure 2 : Relation entre le taux de croissance d'*Escherichia coli* et la concentration en substrat (Peptones) contenu dans le milieu de culture EPT.

Puisque cette concentration est dépendante à la fois du taux de dilution et de la concentration du milieu d'alimentation, nous avons utilisé un plan d'expériences centré réduit permettant de tenir compte des interactions tout en

minimisant le nombre de cinétiques. Trois exemples de cinétiques caractéristiques de production en chemostat sont présentés sur la figure 3.

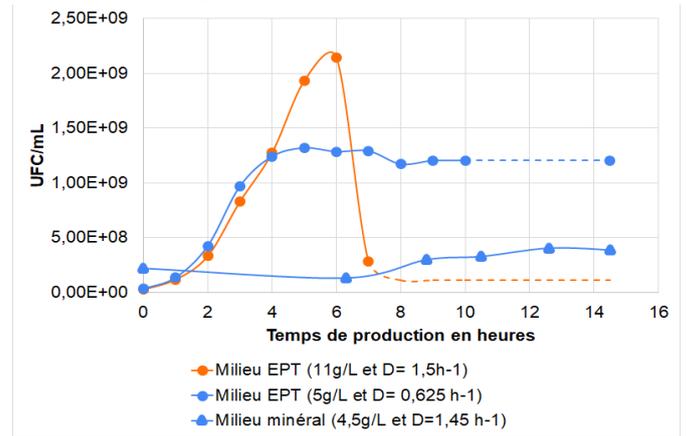
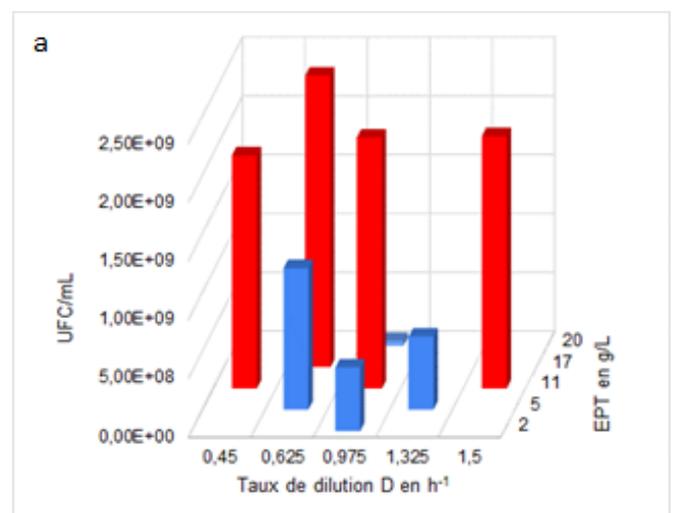
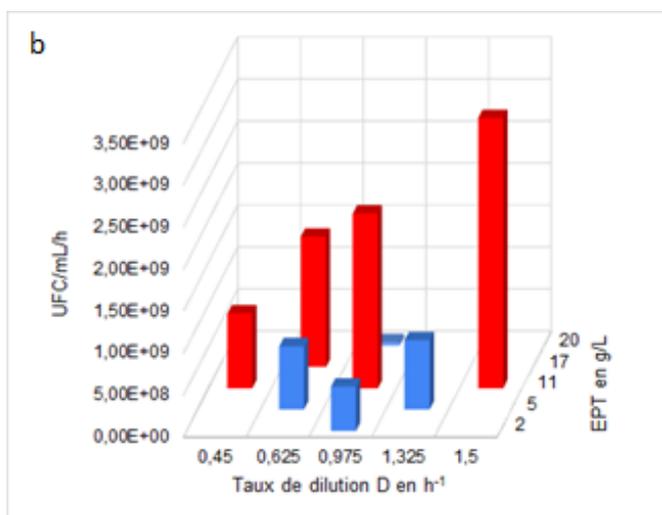


Figure 3 : Cinétiques en chemostat d'*Escherichia coli* en milieu minéral et en milieu EPT à différents taux de dilution et différentes concentrations en substrat.

Pour les courbes bleues, après augmentation de la population bactérienne, nous avons obtenu l'équilibre :  $D = \mu_x$  (population bactérienne constante). Cette population à l'équilibre est plus élevée sur milieu EPT que sur milieu minéral. Cela peut être la conséquence de la répression catabolique du glucose [2]. Pour les cinétiques rouges, nous n'avons pas obtenu l'équilibre. En effet la forte amplification de la population bactérienne est suivie d'une chute drastique de celle-ci.

La figure 4a montre les biomasses maximales obtenues pour chaque expérimentation du plan d'expériences. Les populations bactériennes sont les plus importantes pour les concentrations de 11 et 17 g.L<sup>-1</sup> d'EPT. Cependant, dans ces conditions l'équilibre n'a pas pu être maintenu (histogrammes rouges). Ce phénomène pourrait s'expliquer par des concentrations non métabolisées en substrat dans le fermenteur trop élevées ou par une consommation d'oxygène par les bactéries ( $QO_2$ ) supérieure aux capacités de transfert d'oxygène du bioréacteur (kLa) pouvant être à l'origine d'un shift métabolique [1, 4] aérobie-anaérobie.





**Figure 4 :** Histogrammes représentant les populations maximales d'*Escherichia coli* atteintes lors d'une production en continue (a) et la productivité (b) en fonction du taux de dilution et de la concentration en EPT.

Seules les concentrations plus faibles de 2 et 5 g.L<sup>-1</sup> permettent d'établir cet équilibre (histogrammes bleus) et donc d'assurer une production continue de bactériophages. Pour la concentration de 20 g.L<sup>-1</sup> les populations bactériennes sont relativement faibles ce qui pourrait s'expliquer par une répression métabolique comme avec le glucose [2]. Les populations obtenues ont permis de calculer les productivités en UFC d'*Escherichia coli* (Figure 4b). Il en résulte que les productivités à 5 g/L d'EPT donnent les meilleurs résultats sans que les taux de dilution ne les départagent. Théoriquement, la population en bactériophages doit être directement proportionnelle à la population en bactéries pour autant que celles-ci soient toutes en phase exponentielle de croissance. Dans ces

conditions, pour produire les bactériophages il est préférable d'utiliser le taux de dilution de 0,62 h<sup>-1</sup> puisque pour une productivité équivalente, il permettrait d'obtenir une population phagique plus concentrée et donc plus facile à purifier.

## 1. Conclusion

Nous avons montré que le milieu EPT, tout en limitant les contraintes techniques liées à la préparation du milieu de culture, permettait de produire quantitativement des bactéries aux caractéristiques adaptées au développement de bactériophages. Dans ces conditions, des essais préliminaires de production de bactériophages mais prometteurs ont été réalisées et ont permis d'obtenir des titres de l'ordre de 4,5 10<sup>12</sup> à 1,5 10<sup>13</sup> UFP (phages). mL<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> dix à cent fois supérieurs à ceux obtenus en batch ou en chemostat par Mancuso et al (2018).

## 2. Références

- [1] Andersen K.B. et von Meyenburg K., 1980, Are Growth Rates of *Escherichia coli* in Batch Cultures Limited by Respiration. *Journal of Bacteriology*, 144,114
- [2] Farmer W.R. et Liao J.C., 1997, Reduction of Aerobic Acetate Production by *Escherichia coli*. *Applied and Environmental Microbiology*, 63,3205
- [3] Mancuso F., Shi J. et Malik D.J., 2018, High Throughput Manufacturing of Bacteriophages Using Continuous Stirred Tank Bioreactors Connected in Series to Ensure Optimum Host Bacteria Physiology for Phage Production. *Virus*, 10,537
- [4] Wolfe A.J., 2005, The Acetate Switch. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 69,12

---

# Allumage laser de poudres propulsives à vulnérabilité réduite : influence de l'atmosphère sur les propriétés d'allumage et de combustion

---

Samuel Delbarre<sup>1</sup> Léo Courty<sup>1</sup> Mame William-Louis<sup>1</sup>

samuel.delbarre@univ-orleans.fr leo.courty@univ-orleans.fr mame.william-louis@univ-orleans.fr

<sup>1</sup> IUT de Bourges, Université d'Orléans  
Laboratoire PRISME, EA 4229

**Thèmes – Énergie**

**Résumé** – *Les poudres propulsives sont des matériaux dits énergétiques employés pour la propulsion de projectiles. Dans le but d'améliorer la sécurité liée à leurs différentes phases de vies (transport, stockage, utilisation), des Munitions à Risque Atténué (MURAT) ont été conçues. Ce nouveau type de poudre, moins sensible, peut présenter des difficultés à l'allumage nécessitant de nouveaux moyens d'initiation tels que l'allumage laser, présenté ici. Cette étude s'intéresse à l'allumage et la combustion d'une poudre muratisée à base de RDX, et plus précisément à l'influence de l'atmosphère sur l'énergie minimale d'allumage ( $E_{50}$ ), le délai d'allumage ( $t_i$ ) et la surpression maximale ( $\Delta P_{max}$ ) occasionnée par la combustion. Une étude précédente a déjà fait état des résultats sous azote et argon. Nous présentons ici les résultats obtenus sous air pour discuter l'influence de l'atmosphère environnante sur l'allumage et la combustion de ces poudres.*

**Mots-Clés** – *matériaux énergétiques, allumage laser, combustion, RDX.*

## 1 Introduction

Les poudres propulsives appartiennent à la famille des matériaux énergétiques. Ceux-ci possèdent en général une fonction oxydante qui leur permet de brûler sans l'oxygène de l'air. Ils contiennent également de grandes quantités d'énergie stockées dans leurs liaisons chimiques. Sous l'effet d'un stimulus (échauffement, frottement, choc, etc.) le matériau peut s'initier libérant rapidement l'énergie possédée en produisant de la chaleur, du bruit, de la lumière ou de grandes quantités de gaz comme dans le cas des poudres propulsives. Converti sous forme de travail mécanique, ce gaz est notamment utile pour la propulsion de projectiles (petit et moyen calibre, artillerie, tank, etc.). Les effets provoqués par ces matériaux peuvent néanmoins se révéler dangereux pour les biens et les personnes. Plusieurs grands accidents survenus au cours de l'Histoire ont conduit à concevoir des Munitions à Risque ATénué (MURAT) permettant de meilleures conditions de sécurité durant leurs phases de transport, de stockage et de manipulation. Seulement, cette perte de sensibilité des matériaux muratisés a nécessité l'étude de nouveaux moyens d'allumage tels que l'allumage laser. Parmi les premières recherches effectuées, celles de Brish et al. [1] font figure de références. Depuis, l'allumage laser de matériaux énergétiques a fait l'objet de très nombreuses études. Celles-ci semblent récemment porter sur l'incorporation de nano additifs présentant de meilleures capacités d'absorption du rayonnement laser et donc des énergies minimales d'allumage plus faibles. Uhlenhake et al. se sont par exemple intéressés à l'incorporation de nano aluminium associé à un polymère pour réduire les énergies d'allumage dans les matériaux denses [2]. L'emploi de nano particules métalliques comme le bore permet également de meilleures caractéristiques de combustion du point de vue de la chaleur libérée [3].

L'étude présentée ici porte sur l'allumage laser d'une poudre propulsive à vulnérabilité réduite composée de RDX ou hexogène, explosif classiquement utilisé en mélange avec le TNT. Elle s'intéresse plus particulièrement à l'influence de l'atmosphère environnante sur les caractéristiques d'allumage (énergie minimale et temps d'allumage) et de combustion (surpression maximale) de la poudre. Une étude antérieure présentait les résultats sous argon et azote [4], cette étude s'intéresse aux résultats sous air synthétique.

## 2 Matériau d'étude et dispositif expérimental

La poudre étudiée a été fournie par ArianeGroup. Elle est de forme cylindrique et perforée par 7 canaux. Majoritairement composés d'hexogène (84 % en masse) et d'un liant à base de PolyButadiène HydroxyTéléchélique (16 %), les grains ont une masse

moyenne de 26 mg. Leurs caractéristiques géométriques sont présentées Figure 1. Avant chaque essai, la poudre est étuvée au minimum 20 h à 50 °C afin de s'affranchir des conditions d'humidité ambiante qui peuvent varier au cours d'une campagne de tirs.

Le dispositif expérimental se compose d'une chambre de combustion, d'un montage optique et d'une diode laser (Coherent FAP System,  $\lambda = 808$  nm) reliée à une fibre optique. La chambre de combustion est cylindrique, en acier inoxydable et possède un volume de 55 cm<sup>3</sup>. À l'intérieur, un grain de poudre disposé dans un porte-échantillon en PMMA (PolyMethyl MethAcrylate) est placé derrière un hublot en saphir.

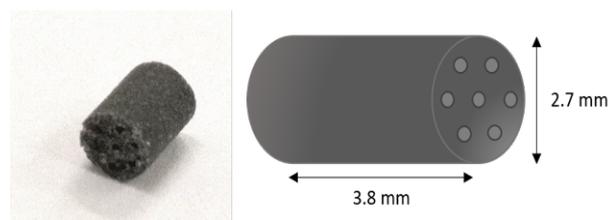


Figure 1 - Schéma et photo de la poudre propulsive

Avant chaque tir laser, le réacteur est pressurisé à l'aide d'argon, d'azote ou d'air synthétique avec une pression initiale comprise entre 10 et 60 bar. Lors du tir, le rayon délivré par la diode traverse la fibre optique avant d'être focalisé sur le grain à l'aide de deux lentilles convergentes L<sub>1</sub> et L<sub>2</sub>. La taille du spot laser sur le grain est de 1,25 mm de diamètre. Un capteur de pression (Kistler 603 B) relié à un oscilloscope numérique (Tektronix DPO2014B) permet d'enregistrer le signal de pression lorsqu'un allumage se produit. Ce dispositif est décrit Figure 2.

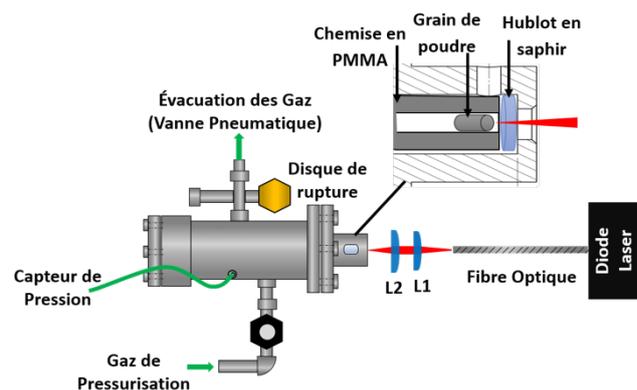


Figure 2 - Schéma du dispositif expérimental

La caractérisation de l'allumage et de la combustion d'une poudre avec ce dispositif prend en compte trois paramètres que sont la nature du gaz de pressurisation, la pression initiale ( $P_0$ ) dans le réacteur et la puissance du laser ( $P_{\text{laser}}$ ). Cette dernière peut en effet être contrôlée par

variation du courant transmis à la diode. L'énergie délivrée par la diode est finalement modulée par la variation de son temps de pulse. Dans cette étude, les résultats sous argon, azote et air synthétique (20 % O<sub>2</sub> + 80 % N<sub>2</sub>) seront comparés pour P<sub>0</sub> = 50 bar et P<sub>laser</sub> = 1,43, 2,86, 5,00, 6,42 et 9,95 W. Les caractéristiques déduites du signal de pression sont le temps d'allumage (t<sub>i</sub>) et la surpression maximale (ΔP<sub>max</sub>). Les énergies donnant une probabilité d'allumage de 50 % (E<sub>50</sub>) sont étudiées avec la méthode de Langlie modifiée. L'avantage de cette méthode statistique basée sur une approche dichotomique est qu'elle ne nécessite que 20 à 30 tirs.

### 3 Résultats et discussions

La Figure 3 présente les surpressions massiques en fonction de la puissance du laser pour les trois atmosphères avec P<sub>0</sub> = 50 bar. Comme observé précédemment [4], la puissance laser ne semble pas avoir d'influence particulière sur les propriétés de combustion de la poudre sous azote et argon. Pour l'air, cette hypothèse est valide pour les puissances inférieures à 6,42 W. Néanmoins, la valeur à 9,95 W montre une augmentation de 17 % par rapport à la valeur à 6,42 W. Ceci pourrait être le signe d'un seuil de puissance à partir duquel les réactions sont accentuées. Concernant l'influence de l'atmosphère, les surpressions sont nettement plus importantes sous air. En effet, le RDX présente un déficit en oxygène pouvant être comblé par la présence d'air. Ces molécules de O<sub>2</sub> supplémentaires permettent de poursuivre l'oxydation du carbone en CO<sub>2</sub>. Ces réactions étant exothermiques, la combustion sous air libère ainsi plus de chaleur, ce qui contribue à augmenter la température et la pression.

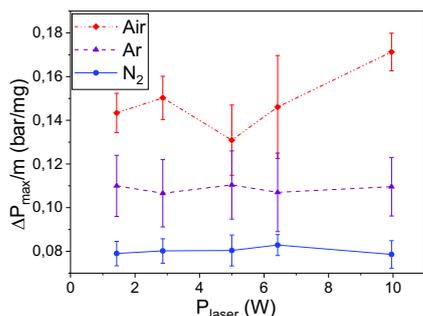


Figure 3 - Surpressions maximales massiques en fonction de P<sub>laser</sub> pour différentes atmosphères à P<sub>0</sub> = 50 bar

Concernant les délais d'allumage présentés Figure 4, les meilleurs résultats sont encore une fois obtenus sous air. Un effet clair de la puissance est remarquable jusque 5 W, au-delà, les t<sub>i</sub> restent quasiment constants. Enfin, au regard des énergies minimales d'allumage, l'atmosphère ne semble avoir que peu d'incidence contrairement à la puissance (Figure 5).

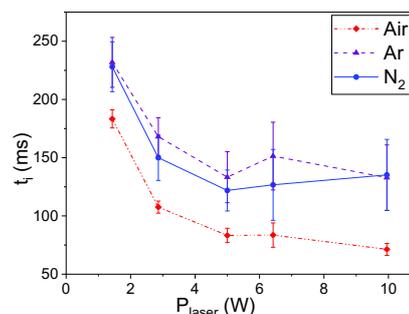


Figure 4 – Temps d'allumage en fonction de P<sub>laser</sub> pour différentes atmosphères à P<sub>0</sub> = 50 bar

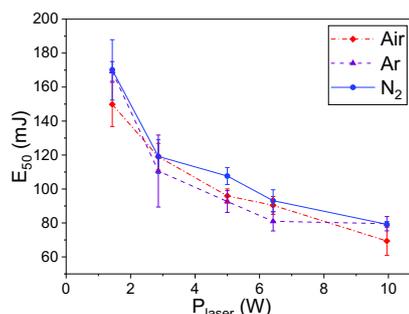


Figure 5 – Énergies minimales d'allumage en fonction de P<sub>laser</sub> pour différentes atmosphères à P<sub>0</sub> = 50 bar

### 4 Conclusion

L'utilisation d'air permet d'obtenir de plus grandes surpressions par rapport à l'argon ou l'azote. Ceci est, en général, synonyme de meilleures performances en propulsion. Les temps d'allumage présentent également l'avantage d'être plus faibles. Cependant, l'atmosphère n'a que peu d'influence sur les énergies minimales d'inflammation.

### 5 Remerciements

Cette étude a été financée par le projet Chaire Industrielle ACXEME soutenu par l'ANR.

### 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] K. E. Uhlenhake, D. Collard, M. Gomez et al., *Laser Ignition of Solid Propellants Using Energetic nAl-PVDF Optical Sensitizers*, AIAA SCITECH 2022 Forum, 2022.
- [3] Q. Song, W. Cao, X. Wei et al., *Laser ignition and combustion of micro- and nano-sized boron under different atmospheres and pressures*, Combustion and Flame, 230, 2021.
- [4] L. Courty, P. Gillard, J. Ehrhardt et al., *Experimental determination of ignition and combustion characteristics of insensitive gun propellants based on RDX and nitrocellulose*, Combustion and Flame, 229, 2021.

---

# Automates cellulaires pour la modélisation des transferts thermiques au sein de matériaux hétérogènes

---

Alix Violet<sup>1</sup>

[alix.violet@etu.univ-orleans.fr](mailto:alix.violet@etu.univ-orleans.fr)

Eddy El-Tabach<sup>1</sup>

[eddy.el-tabach@univ-orleans.fr](mailto:eddy.el-tabach@univ-orleans.fr)

Mame William-Louis<sup>1</sup>

[mame.william-louis@univ-orleans.fr](mailto:mame.william-louis@univ-orleans.fr)

<sup>1</sup> IUT de Bourges, Université d'Orléans  
Laboratoire PRISME, EA 4229

**Thèmes** – *Énergie - Matériaux*

**Résumé** – *La modélisation des transferts thermiques au sein des matériaux hétérogènes tels que les milieux granulaires est complexe et peu présente dans la littérature. Ce travail porte sur le développement d'un modèle 2D à base d'automates cellulaires (AC) pour la simulation des transferts thermiques au sein des milieux granulaires (composition pyrotechnique). L'originalité des AC est qu'ils permettent de tenir compte des propriétés des différents composants du milieu étudié. La comparaison entre les simulations par AC et des données expérimentales indique que le modèle développé donne de bons résultats.*

**Mots-Clés** – *Automates cellulaires, Matériaux énergétiques, Modélisation, Transferts thermiques*

## 1 Introduction

Les matériaux énergétiques ont des applications dans de nombreux domaines, aussi bien civil que militaire. Les compositions pyrotechniques sont des matériaux énergétiques constitués d'un mélange granulaire compressé d'un ou plusieurs couples d'oxydant-réducteur. Dans la littérature, la modélisation des transferts thermiques au sein de ces milieux fait intervenir des formules approximatives permettant d'homogénéiser les propriétés thermiques. Ces formules ne permettent pas de tenir compte de l'influence de la répartition des grains. Ainsi, avoir un modèle numérique qui simule le transfert thermique dans un milieu hétérogène (matériau énergétique) en tenant compte de la répartition des grains est très utile pour limiter le nombre et le coût des essais expérimentaux.

Par conséquent dans cette étude, un modèle numérique à base d'automates cellulaires (AC) est proposé afin de modéliser le transfert thermique dans un milieu hétérogène. L'originalité de ce modèle est qu'il reproduit la distribution granulaire. Les AC ont été inventés dans les années 1950 par J. Von Neumann [1] et S. Ulam [2]. Ils sont constitués de cellules ayant un nombre fini d'états qui évoluent au cours du temps en fonction de règles et de l'état de leur voisinage. Un exemple connu d'AC est le Jeu de la vie inventé par Conway [3] dans les années 1970. Par la suite, Wolfram [4] réalisa une étude empirique et systématique des AC. Depuis les AC ont été utilisés dans différents domaines tels que la biologie [5], la sécurité incendie [6] ou encore la gestion du trafic routier [7].

La principale caractéristique des AC est que chaque cellule interagit avec son voisinage. Le futur état de la cellule ne dépend pas uniquement de son état actuel, mais aussi des états de son voisinage [8].

## 2 Présentation du modèle développé

L'AC présenté ici est un modèle 2D permettant de modéliser les transferts thermiques au sein d'un cylindre axisymétrique hétérogènes.

L'espace est discrétisé en une grille 2D de  $m \times n$  (m lignes et n colonnes) cellules carrées de dimension  $e \times e$  (Figure 1). Chaque cellule est caractérisée par le type de matériau et la température. Au sein d'une cellule, les propriétés thermiques ainsi que la température sont supposées être homogènes. Le voisinage de Neumann (Figure 1) est utilisé.

Pour modéliser les transferts thermiques par AC, l'équation de la chaleur sans terme source est utilisée :

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\varphi)$$

Où  $\rho$  est la masse volumique ( $\text{kg.m}^{-3}$ ),  $C_p$  la capacité thermique massique ( $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ) et  $\varphi$  la densité de flux thermique ( $\text{W.m}^{-2}$ ).

Cette équation est discrétisée en calculant chaque flux traversant la cellule centrale C (Figure 1) :

$$T_C^{k+1} = T_C^k + \frac{\Delta t}{e \cdot \rho_C \cdot C_{pC}} (\varphi_S - \varphi_N + \varphi_W - \varphi_E)$$

Où  $\Delta t$  est le pas de temps (s).

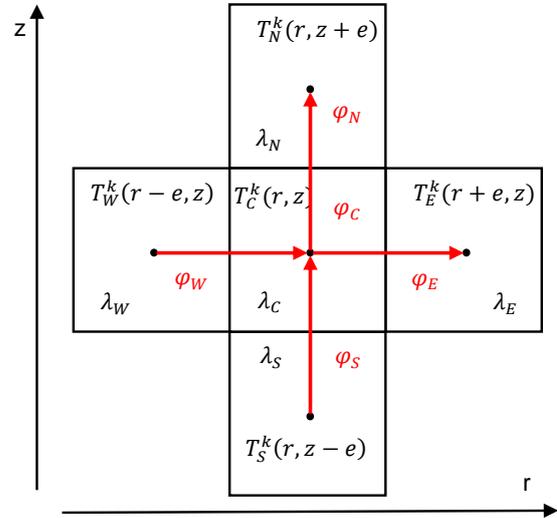


Figure 1 - Représentation de la discrétisation de l'espace

Les flux sont calculés grâce à la formule suivante :

$$\varphi = \frac{\Delta T}{R}$$

Où  $R$  est la résistance thermique ( $\text{W.m}^{-2}$ ) et  $\Delta T$  est la différence de température entre une cellule voisine et la cellule C (K). Les résistances sont calculées en mettant en série des résistances cartésiennes ou cylindriques selon le sens du flux.

Une méthode explicite de type Runge-Kutta pour la discrétisation temporelle est utilisée. Il est important de respecter le critère de stabilité suivant :

$$Fo = \frac{\max(\alpha_i) \Delta t}{e^2} < \frac{1}{2}$$

Où  $Fo$  est le nombre de Fourier et  $\alpha_i$  est la diffusivité ( $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ ) du matériau i.

## 3 Validation du modèle développé

Pour valider le modèle développé, ses résultats sont comparés à des mesures expérimentales trouvées dans la littérature [9].

Roux et al. [9] propose une méthode permettant de déterminer la diffusivité thermique d'une composition pyrotechnique, le mélange fer/soufre. Pour cela, un échantillon cylindrique de 70 mm de hauteur et de 7 mm de rayon est chauffé dans un four tubulaire dont les parois supérieures et inférieures sont isolées. Les températures sont relevées à la paroi ( $T_W$ ) et au centre ( $T_C$ ) de la composition (Figure 2). La paroi est chauffée de 18 à 35°C. Le relevé de température à la paroi sert de condition aux limites de Dirichlet.

Pour reproduire l'échantillon, les grains de soufre, de fer et les pores (ici de l'air) sont supposés être de taille identique (une cellule). La grille (500×50) est remplie aléatoirement en respectant les proportions volumiques V% de l'échantillon (Figure 2). Les propriétés thermiques sont celles des matériaux à 20°C (Table 1).

Les profils de température numérique et expérimentaux sont représentés en Figure 3.

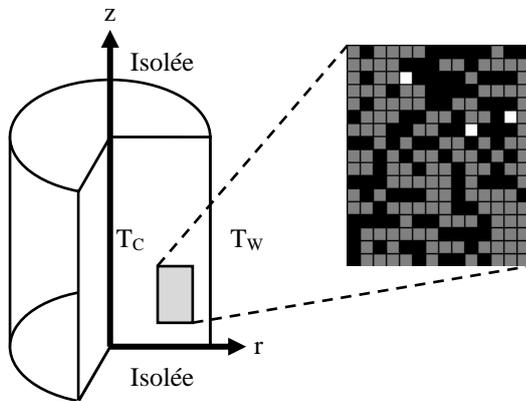


Figure 2 – Représentation du cylindre et d'une partie de sa discrétisation, avec le fer, le soufre et l'air, en noir, gris et blanc respectivement.

Table 1 : Propriétés de la composition

Propriétés thermiques	Fer	Soufre	Air
$\lambda$ (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	80,2	0,269	0,026
$\rho$ (kg.m <sup>-3</sup> )	7800	2070	1,225
Cp (J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	444	710	1004
V%	38%	61%	1%

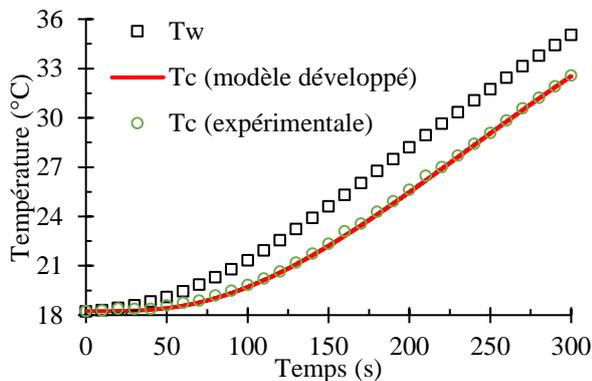


Figure 3 – Profils de température expérimental et numérique au centre et à la paroi du cylindre.

La Figure 3 montre que les résultats expérimentaux et numériques coïncident. Ce résultat montre que le modèle développé peut correctement simuler les transferts thermiques au sein d'un cylindre composé d'un empilement aléatoire de grains ayant des propriétés thermiques différentes.

## 4 Conclusions

Un modèle numérique à base d'AC a été développé pour modéliser les transferts au sein d'un milieu hétérogène. La bonne correspondance entre les résultats du modèle développé et les résultats expérimentaux montre la capacité du modèle à simuler correctement les transferts thermiques dans un matériau hétérogène.

Par la suite, l'influence du mode de répartition des grains sur les transferts thermiques doit être étudiée.

## 5 Remerciements

Les auteurs remercient P. Gillard pour son aide scientifique.

Ce travail a été financé par le projet « *Chaire Industrielle ACXEME* » soutenu par l'ANR, en France.

## Références

- [1] J. von Neumann, *Theory of Self-Reproducing Automata*. University of Illinois Press, 1967.
- [2] S. Ulam, "Random processes and transformations," *Proceedings of the International Congress of Mathematics, Vol. 2*, 1952.
- [3] M. Gardner, "Mathematical games: the fantastic combinations of John Conway's new solitaire game 'life,'" *Scientific American*, 1970.
- [4] S. Wolfram, *A New Kind of Science*. Wolfram Media, 2002. [Online]. Available: [www.wolframscience.com](http://www.wolframscience.com)
- [5] D. G. Mallet and L. G. de Pillis, "A cellular automata model of tumor-immune system interactions," *Journal of Theoretical Biology*, vol. 239, no. 3, pp. 334–350, Apr. 2006, doi: 10.1016/J.JTBI.2005.08.002.
- [6] C. Wang, Y. Tang, M. A. Kassem, H. Li, and Z. Wu, "Fire evacuation visualization in nursing homes based on agent and cellular automata," *Journal of Safety Science and Resilience*, vol. 2, no. 4, pp. 181–198, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.JNLSSR.2021.08.006.
- [7] J. Wang, W. Lv, Y. Jiang, S. Qin, and J. Li, "A multi-agent based cellular automata model for intersection traffic control simulation," *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 584, p. 126356, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.PHYSA.2021.126356.
- [8] D. G. Green and T. Leishman, "Computing and Complexity - Networks, Nature and Virtual Worlds," in *Philosophy of Complex Systems*, Elsevier, 2011, pp. 137–161. doi: 10.1016/B978-0-444-52076-0.50004-3.
- [9] M. Roux, F. Marlin, C. Brassy, and P. Gillard, "Numerical Determination of the Thermal Diffusivity and Kinetic Parameters of Solid Explosives," *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, vol. 18, no. 4, pp. 188–194, 1993, doi: 10.1002/prop.199300004.

---

## Bilan des modèles d'électrolyseurs et piles à combustibles commercialisés en 2022

---

Sarad Basnet<sup>1</sup>

[sarad.basnet@univ-fcomte.fr](mailto:sarad.basnet@univ-fcomte.fr)

Karine Deschinkel<sup>1</sup>

[karine.deschinkel@univ-fcomte.fr](mailto:karine.deschinkel@univ-fcomte.fr)

Luis Le Moyne<sup>2</sup>

[luis.le-moyne\\_isat@u-bourgogne.fr](mailto:luis.le-moyne_isat@u-bourgogne.fr)

Marie Cécile Péra<sup>1</sup>

[marie-cecile.pera@univ-fcomte.fr](mailto:marie-cecile.pera@univ-fcomte.fr)

<sup>1</sup> IUT, Belfort Montbéliard

Université de Franche-Comté, Institut FEMTO-ST, UMR  
6174

<sup>2</sup> ISAT, Université de Bourgogne

Laboratoire DRIVE

**Thèmes** – *hydrogène, électrolyseurs, pile à combustible, commercialisation, applications stationnaires et mobiles*

**Résumé** – *L'hydrogène s'est révélé être l'une des meilleures alternatives énergétiques aux combustibles fossiles en permettant une importante réduction des émissions de gaz à effet de serre. Pour comprendre complètement l'écosystème de l'hydrogène, il est nécessaire de comprendre tous ses composants et aspects. Les électrolyseurs et les piles à combustible sont considérés comme le cœur de ce système. Un électrolyseur produit de l'hydrogène en utilisant de l'électricité pour dissocier l'eau. La pile à combustible, quant à elle, utilise de l'hydrogène pour produire de l'électricité. En raison du grand nombre d'acteurs présents sur le marché de ces composants, cet article vise à identifier certaines des entreprises et des fabricants qui ont continuellement essayé de produire différents électrolyseurs et piles à combustible en fonction des besoins des opérateurs. La plupart des entreprises européennes et américaines qui commercialisent des électrolyseurs et/ou des piles à combustible ont été répertoriées. Les différents modèles sont classés en fonction de la production d'hydrogène, de sa pureté, de sa puissance de sortie, ses plages de pression et ses plages de température où ils peuvent être plus performants selon les domaines d'application.*

**Mots-Clés** – *hydrogène, électrolyseurs, pile à combustible, commercialisation, membrane échangeuse de protons (PEM), oxyde solide (SO), alcalin*

## 1 Introduction

Ces derniers temps, le monde s'est beaucoup préoccupé du changement climatique et des choix énergétiques. Le changement climatique a entraîné des vagues de chaleur successives en Europe, des feux de brousse en Australie et en Californie, aux États-Unis. La COP26 de Glasgow [1] a fixé un nouvel objectif consistant à limiter la hausse de la température mondiale à 1,5 degré centigrade à partir de 2022, dans le prolongement de l'accord de 2015 à Paris [2], et à réduire les émissions de gaz à effet de serre à zéro à partir de 2050.

La technologie de l'hydrogène se présente comme l'une des meilleures solutions pour atteindre les objectifs à venir d'une société plus verte [3]. La plupart des nations européennes ont déjà intégré la technologie de l'hydrogène dans leurs stratégies énergétiques. Le développement de la technologie de l'hydrogène a déjà atteint un niveau satisfaisant, mais des travaux de recherche et développement sont en cours pour évaluer son potentiel dans divers domaines d'application tels que la mobilité, les centres de données et la production autonome d'énergie hors réseau. L'Agence Internationale de l'Energie (AIE) a publié un rapport concernant son développement, sa vision du déploiement à l'horizon 2050, ainsi que la politique, le cadre réglementaire et le financement [4].

L'hydrogène peut être produit par électrolyse de l'eau, ce qui nécessite de l'électricité, tandis que les piles à combustible produisent de l'énergie à partir de l'hydrogène. Alors que la recherche se poursuit, les véhicules électriques à pile à combustible font déjà partie du système de transport en Asie, en Océanie, aux États-Unis et en Europe [4]. Les technologies de piles à combustible membrane échangeuse de protons (PEM), oxyde solide (SO) et pile alcalines existent déjà sur le marché. L'objectif de cet article est d'examiner certains fabricants européens et américains d'électrolyseurs, de piles à combustible et leurs conceptions en termes d'applications, de types, de production d'hydrogène, de plages de pression, de températures et de production/consommation d'énergie.

## 2 Les électrolyseurs

Le processus d'électrolyse consiste à diviser l'eau à l'aide de l'électricité en hydrogène et en oxygène. Avec l'augmentation de la tension de la cellule, les électrolyseurs produisent généralement plus d'hydrogène. Lors du choix d'un électrolyseur, la production d'hydrogène, la pression de sortie, la pureté de l'hydrogène et la consommation électrique de l'électrolyseur sont les facteurs déterminants. Il est également important de considérer le choix des électrolyseurs 1) électrolyseurs alcalins, 2) électrolyseurs PEM, 3) électrolyseurs SO en fonction de l'application car ils possèdent des caractéristiques différentes. Les électrolyseurs alcalins sont bien adaptés à la production massive et fonctionnent à un rythme constant. Les électrolyseurs PEM sont à un stade commercial précoce car ils sont plus dynamiques, mais des améliorations sont encore nécessaires en ce qui concerne la fiabilité et la durabilité. Les électrolyseurs SO sont encore en cours de développement. Ils sont très performants mais leur durabilité est faible. Les électrolyseurs SO sont incapables de fonctionner sous une pression importante et la conception des cellules et de la pile nécessite une grande attention. Afin d'étudier les marchés des électrolyseurs, nous avons examiné 11 entreprises de différents pays, comme le montre le tableau 1. Ces entreprises fabriquent une variété de types d'électrolyseurs avec des modèles spécifiques pour une variété

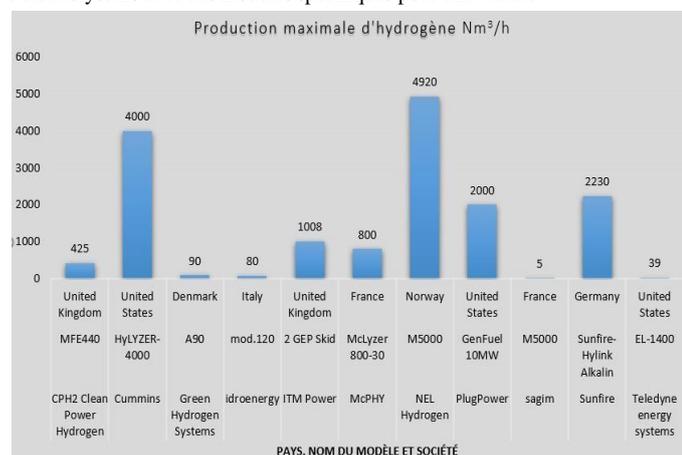


Figure 1-Production maximale d'hydrogène en fonction des modèles d'électrolyseurs, rapporté au site web de la société

Electrolyseurs	Les entreprises	Pays	Technologie
HGAS1SP, HGAS3SP, 3 MEP Cube, 2 GEP Skid	ITM Power (UK)	Angleterre	PEM
MFE220, MFE440	CPH2 Clean Power Hydrogen (UK)	Angleterre	Sans membrane
Sunfire-Hylink Alkaline, Sunfire-Hylink SOEC	Sunfire (GER)	Allemagne	Alcalin, oxyde solide
Baby, P, M, H, McLYZER 10-30, McLYZER 20-30, McLYZER 100-30, McLYZER 200-30, McLYZER 400-30, McLYZER 800-30	McPHY (FR)	France	Alcaline
A30, A60, A90	Green Hydrogen Systems (DEN)	Danemark	Non connu
A150, A300, A485, A1000, A3880, M2000, M3000, M4000, M5000, C10, C20, C30, H2, H4, H6, S10, S20, S40, AC 150, AC300, MC100, MC200, MC400	NEL Hydrogen (NOR)	Norvège	Alcaline, PEM, PEM sans caustique
HySTAT-10, HySTAT-15, HySTAT-30, HySTAT-60, HySTAT-70, HySTAT-100, HyLYZER-200, HyLYZER-250, HyLYZER-400, HyLYZER-500, HyLYZER-1000, HyLYZER-4000	Cummins (USA)	États-Unis	Alcaline, PEM
GenFuel 10MW, GenFuel 1MW, GenFuel 5MW	PlugPower (USA)	États-Unis	PEM
HMXT-50, HMXT-100, HMXT-200, EL-1000, EL-1400	Teledyne energy systems (USA)	États-Unis	Alcaline
mod.0.6, mod.1.06, mod.3.7, mod.4.2, mod.6, mod.8, mod.11, mod.15, mod.19, mod.33, mod.66, mod.120	Idroenergy (ITA)	Italie	Alcaline
MP8, BP-MP 250, BP-MP 500, BP-MP 750, BP-MP 1000, M1500, M2000, M3000, M3500, M4000, M4500, M5000	sagim (FR)	France	Alcaline

Tableau 1- Modèles d'électrolyseurs et technologie

d'applications qui sont déjà matures et déjà largement utilisées dans l'industrie chimique. Ces 11 entreprises proposent à elles seules 88 modèles d'électrolyseurs différents. Un grand nombre d'électrolyseurs alcalins (53 modèles) sont déjà sur le marché. Le Sunfire Hylink SOEC est le seul électrolyseur à oxyde solide commercialisé, il est fabriqué par la société allemande Sunfire. Selon la Tableau 1, il existe 29 modèles d'électrolyseurs PEM produits par différentes sociétés. Nous pouvons observer sur la figure 1 que le modèle M5000 de la société NEL Hydrogen en Norvège est celui qui fournit le débit d'hydrogène le plus élevé, d'une valeur de 4920 Nm³/h. En revanche, le modèle M5000 de Sagim en France ne produit quant à lui seulement 5 Nm³/h d'hydrogène. Tous les modèles d'électrolyseurs produisent de l'hydrogène d'une pureté supérieure à 99 % avec une pression de sortie comprise entre 6 et 30 bars. Le modèle GenFuel 10 MW de l'entreprise Plugpower aux États-Unis a la pression de sortie la plus élevée, soit 40 bars, tandis que le modèle Mod.120 d'Idro energy en Italie a une pression de 6 bars à la sortie de l'électrolyseur. De même, chaque modèle d'électrolyseur a une consommation d'énergie supérieure à 4,5 kWh/Nm³ au niveau du système CA, comme le montre la figure 2.

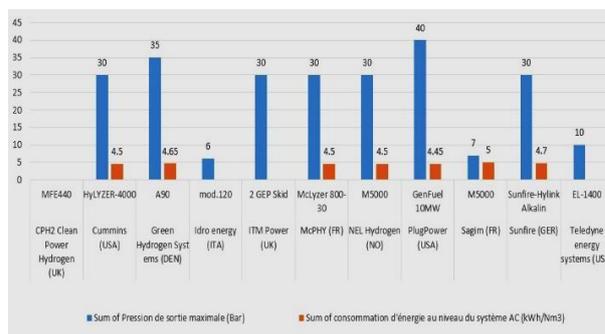


Figure 2-Consommation électrique, pression de sortie maximale et pureté maximale de l'hydrogène du modèle d'électrolyseur, données provenant du site Web de la société concernée, 2022

## 3 Piles à combustible

La pile à combustible convertit l'hydrogène en énergie utile, c'est-à-dire qu'elle convertit l'énergie chimique en électricité. Comme pour l'électrolyseur, les piles à combustible sont classées en 1) PEMFC 2) SOFC 3) FC alcaline. Elles sont généralement préférées par les opérateurs en fonction de l'efficacité, de la puissance produite, des applications et des plages de température.

Les piles à combustible alcalines sont historiquement utilisées pour les applications aérospatiales, les PEMFC sont les piles à combustible les plus développées et les SOFC sont moins matures technologiquement pour être largement commercialisées. Le tableau 2 montre de nombreux modèles de piles à combustible fabriqués par différentes entreprises dans différents pays.

Modèles de piles à combustible	Les entreprises	Pays	Applications
Nedstack FCS 7-XXL, Nedstack FCS 10-XXL PEM, Nedstack FCS 13-XXL PEM	Nedstack (NL)	Pays-Bas	Télécommunications et alimentation de secours mobile
E250i SOFC, E1000 SOFC	Adaptive energy (USA)	États-Unis	petite puissance auxiliaire pour les gaz de pipeline
FCmove-HD+ engine bay, FCmoveHD+ rooftop, FCmoveHD, FCveloCity-MD, FCveloCity-HD85, FCveloCity-HD100	Ballard (CND)	Canada	Autobus de transport en commun, camions lourds
S300-S, T505-S, T600-S, S300, T505, T600	Loop (CND)	Canada	Bus de transport en commun, véhicules utilitaires moyens, tracteurs
* SOFC, ESS 300 SOFC, ESS 300 SOFC	Bloom energy (USA)	États-Unis	Non connu
Power Generation system 5, Power Generation system 30, Power Generation system 100	PowerCellution (SWD)	Suède	stationnaire
HD8, HD10, HD15, HD30, HD45, HD90	Cummins hydrogens (USA)	États-Unis	Non connu
E-45-HD, E-60-HD	Nuvera (USA)	États-Unis	Véhicules à pile à combustible
VL-30, H-12 PEM, H-30 PEM, H-100 PEM, H-200 PEM, H-300 PEM, H-500 PEM, H-1000 PEM, H-2000 PEM, H-3000 PEM, H-5000 PEM, A series PEM	Horizon Fuel Cell Technologies (SNG)	Singapour	Voiture, bus
HydroX-Cell(L20) alkaline, HydroX-Cell(L160) alkaline, HydroX-Cell(L400) alkaline, HydroX-Cell(S) alkaline, MegaboxTm	AFC energy (UK)	Angleterre	stationnaire hors réseau
IE-Drive P100, IE-Drive HD, IE-Flight, IE-Solar	Intelligent energy (UK)	Angleterre	Aéro, UAV
SureSource1500, SureSource3000, SureSource4000	Fuel Cell Energy (USA)	États-Unis	Production d'électricité sur site
ProGen300, ProGen1kW, P15KW, P30KW, P90KW, P85KW, P125KW, GenSure250, GenSure500, GenSure1000, GenSure E-200, GenSure E-1100, GenSure E-1100v, GenSure E-2500, GenSure E-1000x, GenSure E-2200x, GenDrive1000, GenDrive1500-1900, GenDrive2100-2700, GenDrive3000, GenDrive3300H	Plugpower (USA)	États-Unis	Centres de données

Tableau 2-Modèles et applications des piles à combustible

Parmi les modèles collectés auprès de différentes entreprises, on peut remarquer que plusieurs modèles de piles à combustible, soit 20 modèles, sont fabriqués par PlugPower aux États-Unis.

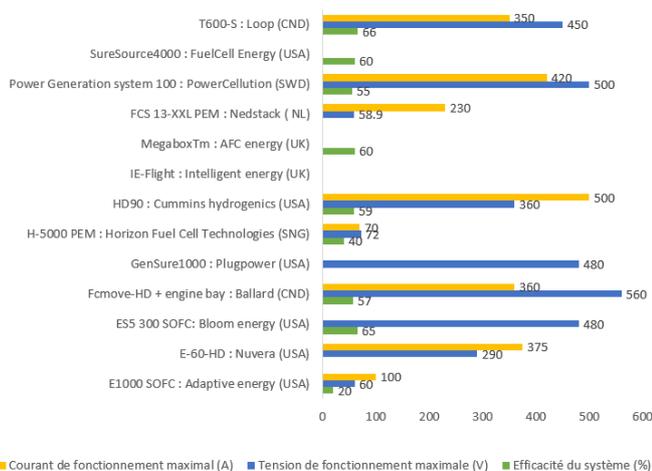


Figure 3-Rendement, courant de fonctionnement maximal et tension des modèles de piles à combustible, données extraites des sites web des entreprises respectives, 2022

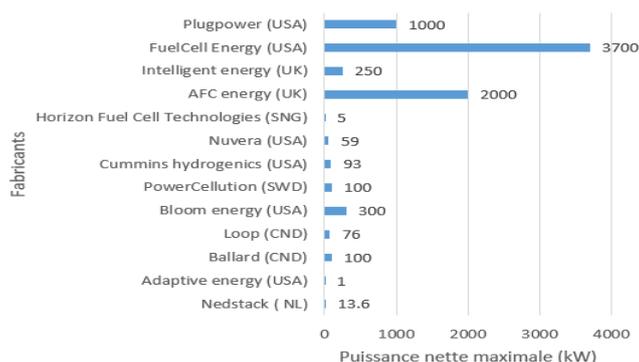


Figure 4 - Production d'énergie maximale des modèles de piles à combustible de différents fabricants, données tirées du site web du fabricant 2022

Inversement, Nuvera et Adaptive Energy, deux entreprises américaines elles

aussi, ne proposent chacune que deux modèles de piles à combustible. Comme le montrent les figures 3 et 4, chaque modèle a sa propre production d'énergie, son propre rendement, sa propre tension de fonctionnement et son propre courant de fonctionnement. Parmi eux, FC move HD + compartiment moteur, de la marque Bloom Energy aux États-Unis, a une tension de fonctionnement maximale de 560 V, tandis que HD90 de Cummins Hydrogenics aux États-Unis a un courant de fonctionnement maximal de 500A. De même, SureSource4000 produit une puissance maximale de 3700 kW, comme le montre la figure 4. En ce qui concerne l'efficacité, la T600-S de Loop Energy, au Canada, obtient un rendement maximal de 66 %, ce qui fait d'elle l'une des piles à combustible les plus efficaces dans le contexte actuel. Les autres entreprises de piles à combustible fournissent également des modèles en fonction de la taille et des applications des projets, comme le montre le tableau 2.

## 4 Conclusion

En conclusion, 88 modèles d'électrolyseurs de 11 sociétés différentes et 75 modèles de piles à combustible de 13 sociétés différentes ont été collectés afin de recenser les fabricants actuels d'électrolyseurs et de piles à combustible dans le monde. Les fabricants cités sont les principaux fournisseurs de composants utilisés dans les projets d'électrolyse et de piles à combustible et les modèles offrent différentes gammes et tailles en fonction des applications et des exigences des projets. Le groupe norvégien NEL Hydrogen travaille activement sur l'électrolyseur alcalin et peut fournir une large gamme d'électrolyseurs alcalins avec une pression de sortie variable de 1 à 30 bars et 99% d'hydrogène pur aux opérateurs. De même, d'autres sociétés peuvent fournir des électrolyseurs selon les exigences des opérateurs de projets avec la meilleure pureté d'hydrogène de 99 %, une pression de sortie de 0 à 40 bars et une consommation d'énergie de 4,5 à 6 kWh/Nm<sup>3</sup>. De même, Plugpower, aux États-Unis, propose un grand nombre de modèles de piles à combustible, avec une plage de températures de fonctionnement comprise entre -30 et 50 degrés centigrades. Power generation system 100 est le modèle de pile à combustible de PowerCellution, en Suède, avec une tension de fonctionnement de 500 V, tandis que SureSource4000 a une puissance maximale de 3700 kW. D'autres entreprises sont également intéressées pour investir dans la production d'hydrogène. Par exemple, Volkswagen investit un demi-milliard pour construire des électrolyseurs. Ainsi, en fonction de la taille, de la température de fonctionnement et des plages de pression, des applications variées d'électrolyseurs et de piles à combustible existent déjà sur le marché, ce qui est une bonne nouvelle pour atteindre l'objectif futur d'un monde vert.

## 5 Liste des abréviations

FR / ITA / USA / NOR / DEN / GER / UK / NL / CND / SWD / SNG	France / Italie / États-Unis / Norvège / Danemark / Allemagne / Angleterre / Pays-Bas / Canada / Suède / Singapour
PEM	Membrane échangeuse de protons
SO	Oxyde Solide
FC	Pile à combustible
R&D	Recherche et Développement
Nm <sup>3</sup>	Mètres cubes normaux ou normo

## 6 Références

- [1] "Glasgow Climate Change Conference – October-November 2021 | UNFCCC." <https://unfccc.int/conference/glasgow-climate-change-conference-october-november-2021> (accessed Mar. 01, 2022)
- [2] "COP21|Gouvernement.fr." <https://archive.wikiwix.com/cache/index2.php?url=http%3A%2F%2Fwww.gouvernement.fr%2Faction%2Fa-cop-21#federation=archive.wikiwix.com> (accessed Mar. 01, 2022)
- [3] A.Kovač, M. Paranos, and D. Marciuš, "Hydrogen in energy transition: A review," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 46, no. 16, pp. 10016–10035, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.11.256
- [4] Iea, "Technology Roadmap Hydrogen and Fuel Cells." [Online]. Available: [www.iea.org/t&e/sciencesconf.org:cnriut2022:397879](http://www.iea.org/t&e/sciencesconf.org:cnriut2022:397879)

---

## De la mesure au modèle pour la maîtrise de la charge thermique d'un studio dans une résidence

---

François Devillard<sup>1</sup>  
[francois.devillard@univ-lorraine.fr](mailto:francois.devillard@univ-lorraine.fr)

Bernard Heit<sup>2</sup>  
[bernard.heit@univ-lorraine.fr](mailto:bernard.heit@univ-lorraine.fr)

Armelle Piegle<sup>3</sup>  
[Armelle.Piegle@ac-nancy-metz.fr](mailto:Armelle.Piegle@ac-nancy-metz.fr)

Olivier Caspary<sup>4</sup>  
[Olivier.caspary@univ-lorraine.fr](mailto:Olivier.caspary@univ-lorraine.fr)

<sup>1-4</sup> IUT Saint Dié des Vosges

Laboratoire de Conception, Optimisation et Modélisation des Systèmes  
EA 7306, Université de Lorraine UFR MIM Ile du Saulcy 30309 57000 METZ Cedex 1, France

<sup>2</sup> IUT Nancy-Brabois

Centre de Recherche en Automatique de Nancy, Université de Lorraine, France

<sup>3</sup> Lycée Général et Technologique LORITZ

Enseignante BTS Métiers du géomètre topographe et de la modélisation numérique

**Thèmes** – *Énergie - Environnement - Autre*

**Résumé** – *Les travaux présentés portent sur une démarche de recherche de stratégies d'actions sur le plan énergétique pour assurer la rénovation thermique d'un bâtiment en phase d'exploitation. Nous évaluons les performances du bâti dans son environnement pour déterminer et phaser les actions à mener. Pour mieux comprendre les échanges d'énergie, il est nécessaire de maîtriser les ordres de grandeur des différents apports et consommations. Nous avons ainsi équipé les bâtiments existants d'une instrumentation peu intrusive et géolocalisée, en modifiant à minima les installations existantes. Des modèles multiphysiques de comportement thermique et les simulations associées, en préalable, permettent de tester et valider des stratégies.*

**Mots-Clés** – efficacité énergétique, architecture distribuée, Node-Red, modélisation/simulation multiphysique.

## 1 Introduction

La rénovation thermique de bâtiments existants est difficilement adaptable aux exigences des normes actuelles. Pour notre projet, la présence d'occupants conditionne les actions à réaliser telles que le développement de l'ANR-10-HABISOL-00 [1].

L'ensemble locatif de test s'appuie sur un chauffage collectif à température fixe pour 245 studios, complété d'un chauffage électrique individuel. Notre approche, pour réduire cette consommation énergétique est que, dans chaque studio, le locataire ajuste la température en agissant sur son chauffage individuel, Juge-Hubert [2].

Les travaux présentés visent à développer des solutions de collectes, d'analyses et de visualisations directes des variables thermiques mesurées, de construire des modèles puis les embarquer dans des microcontrôleurs. Les résultats des simulations permettent, par comparaison avec les mesures réelles, de valider nos modèles.

D'un modèle de studio fonctionnel, instrumenté, complété des informations sur son comportement thermique, orienteront nos choix de rénovation.

## 2 L'instrumentation

Pour instrumenter les bâtiments, les constituants du dispositif d'acquisition et d'exploitation réalisés s'inscrivent dans une durée d'activité qui est représentative du fonctionnement du bâtiment durant les différentes saisons. Complémentairement sera mis en place un système de communication pour informer individuellement l'utilisateur de ses consommations.

Cette instrumentation permanente nous fournit des indicateurs énergétiques dont l'exploitation doit aussi nous permettre d'améliorer les performances du bâti.

Pour piloter le bâtiment en temps réel nous avons dédié, à ce projet, un VLAN du réseau Ethernet IP du bâtiment. Le système de pilotage du réseau de capteurs et actionneurs développé s'appuie sur l'environnement Open Source Node-Red.

La modélisation/simulation utilise le logiciel Open Modelica qui permet de décrire, en Modelica, le comportement de systèmes dynamiques réels, naturellement multiphysiques, par un langage acausal et orienté objet. Les modèles thermiques sont décrits par des équations différentielles.

Les modèles autres que ceux de la modélisation thermique du bâtiment, sont écrits en langage Python sur Raspberry et en langage Julia sur le superviseur NAS dont les services sont architecturés en Docker. Les données sont gérées et enregistrées sur le NAS.

Pour notre projet, à la vue de l'étendue des bâtiments, les données spatio-temporelles issues des capteurs doivent être cartographiées pour construire une architecture du système d'information, plus adaptée, à son

développement. Pour cela une complémentarité entre la modélisation des informations du bâtiment (BIM) et de son environnement par un Système d'Information Géographique (SIG), est mise en place (Figure 1).

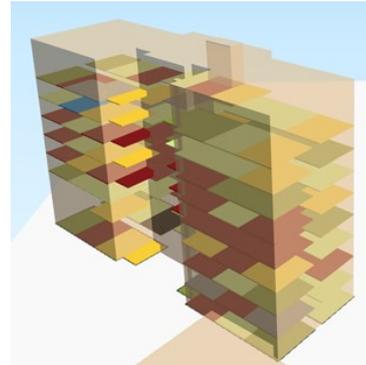


Figure 1 - Carte thématique des différents étages avec l'emprise du bâtiment sur laquelle vont être placés les capteurs existants.

## 3 Architecture du système développé

La présence de stations de mesures de l'environnement (Figure 2) sur le site quantifie les variations climatiques locales de la température et du rayonnement solaire avec redondance de l'information.

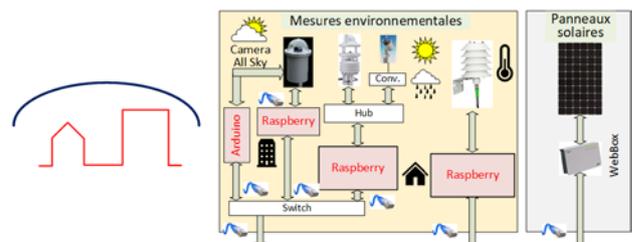


Figure 2 - Acquisition de données par le sur-système bâtiment. Une redondance est réalisée sur les données météorologiques et le rayonnement global.

Les murs des bâtiments sont un filtre thermique permettant de créer un microclimat intérieur atténuant les perturbations extérieures (Figure 3). Complété du chauffage central, ils forment le système bâtiment.

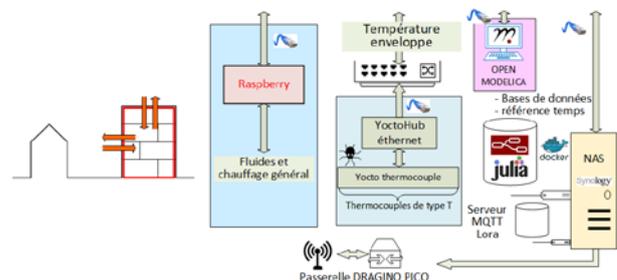


Figure 3 - Le système bâtiment et le système d'information

Le studio avec ses apports et déperditions thermiques complété à des mesures intérieures locales, constitue le sous-système bâtiment. Il est actuellement en rénovation et sera prochainement occupé par des locataires.

## 4 Résultats obtenus

La Figure 4 illustre le Dashboard qui nous permet de visualiser directement le contenu des bases de données. Ces données sont utilisées en temps réel par les modèles thermiques et solaires.

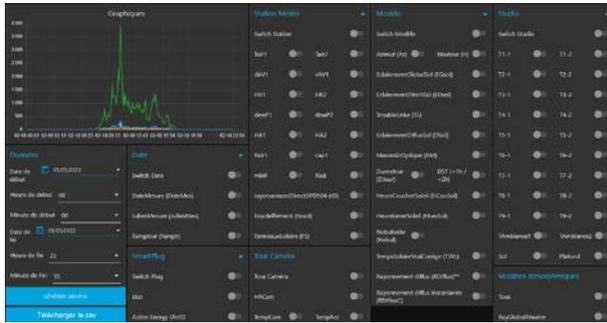


Figure 4 - Téléchargement et affichage des mesures par le « dashboard » de Node-Red.

Le rayonnement solaire global sur les murs, est dépendant du déplacement du soleil ce que montre la Figure 5.

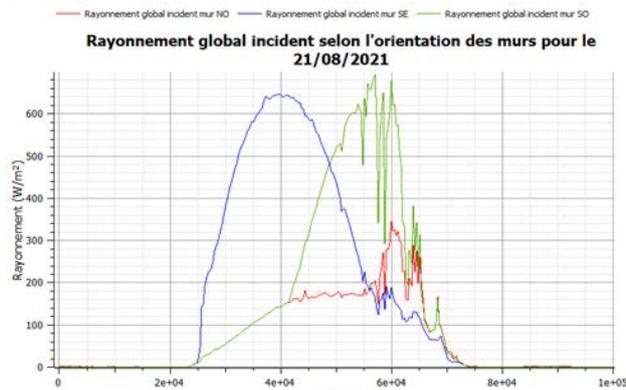


Figure 5 - Mesure et calcul du rayonnement solaire au cours la journée sur les 3 murs (SE, SO et NO) d'un studio.

Le modèle numérique du sous-système bâtiment, en développement, permet la comparaison de ses résultats avec ceux des capteurs intérieurs (Figure 6).

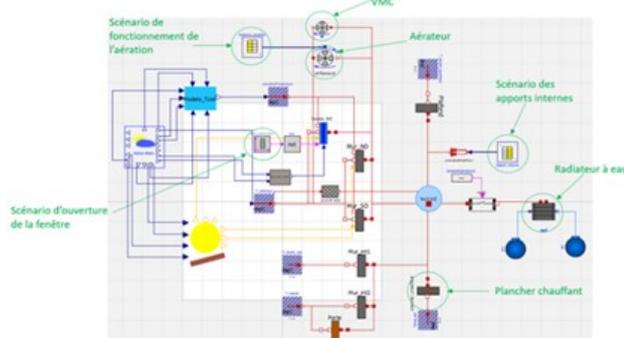


Figure 6 - Modélisation Open Modelica des échanges thermiques dans un studio (sous-système)

## 5 Poursuite des travaux

La Figure 7 décrit les fonctions de l'instrumentation installée dans le studio. Pour la supervision locale, il sera équipé de capteurs thermiques, de qualité de l'air et de consommations énergétiques.

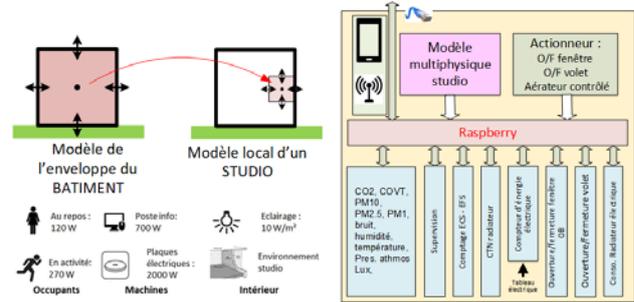


Figure 7 - instrumentation du studio en cours de réalisation

La variabilité du rayonnement solaire reçu est liée à la densité de la couverture nuageuse locale et son évolution. Pour quantifier la nébulosité, nous développons un système équipé d'une caméra all-sky (Figure 8) qui segmentera les régions nuageuses dans le pavage Malkin [3].

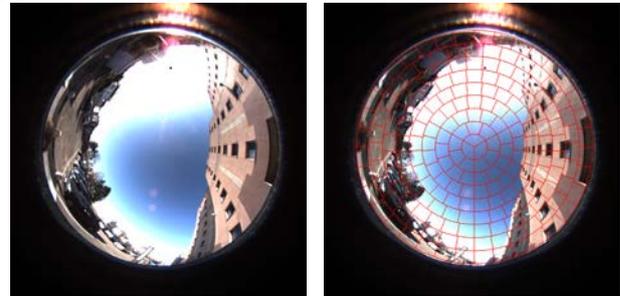


Figure 8 - Pavage ou tessellation de la route céleste

## 6 Conclusion

Les travaux menés pour maîtriser la charge thermique des studios, nous conduisent à garder l'usager au cœur de cette rénovation complexe. L'objectif est de lui faire adapter son « comportement » aux enjeux énergétiques à travers l'utilisation des nouvelles technologies sans les rendre contraignantes ni restrictives.

## 7 Remerciements

Nous remercions l'Association pour l'hébergement des Etudiants de Nancy (APHEEN) pour le prêt de ses locaux et la mise à disposition de ses équipements.

## 8 Références

- [1] ANR-10-HABISOL-006 Mesure Enrichie par la MODélisation pour une conception Intelligente en Rénovation Energétique : 2013
- [2] Didier Juge-Hubert, Lala Rajaoarisoa, Stéphane Lecoeuche, Modélisation thermique du bâtiment et responsabilisation des usagers, IA, Mines Douai, France, Conférence IBPSA France-Arras-2014
- [3] Zinovy Malkin, A new Equal-area Isolatitudinal grid on a sperical surface.

# Digestion anaérobie des épluchures de légumes : Évaluation de l'influence de prétraitements biologiques et de la co-digestion sur le potentiel méthanogène

---

Giulia Glénisson<sup>1</sup>    Hélène Caillet<sup>2</sup>    Thierry Regnier<sup>3</sup>

giuliaglenisson@hotmail.com helene.caillet@univ-reunion.fr regnierT@tut.ac.za

<sup>1,2</sup> IUT de Saint-Pierre, Université de La Réunion  
Laboratoire PIMENT, EA 4518

<sup>3</sup> Tshwane University of Technology  
Department of Biotechnology and Food Technology

**THÈMES** – *Énergie - Environnement*

**RÉSUMÉ** – *La digestion anaérobie est une solution prometteuse pour la gestion des déchets organiques et la production d'énergie. Ce processus naturel de dégradation de la matière organique permet de valoriser les déchets avec la production d'un biogaz, riche en méthane, et d'un digestat, pouvant être utilisé comme amendement organique. Des inhibitions de la digestion anaérobie peuvent cependant être rencontrées, diminuant ainsi le rendement en méthane. À l'heure actuelle, diverses stratégies existent afin d'améliorer les performances de la digestion anaérobie, notamment le prétraitement et la co-digestion. Le présent article a pour premier objectif de présenter la méthodologie pour l'évaluation de l'influence du prétraitement aérobie sur la production de méthane optimale pouvant être obtenue avec la méthanisation des épluchures de légumes (carottes, chou et pommes de terre), autrement dit le potentiel méthanogène de ces déchets prétraités ou non. Le deuxième objectif est l'étude de l'impact de la co-digestion de ces trois types d'épluchures sur le potentiel méthanogène.*

**MOTS-CLÉS** – *Digestion anaérobie, biogaz, prétraitement, tests BMP*

# 1 Introduction

## 1.1 La digestion anaérobie

La digestion anaérobie, aussi appelée méthanisation ou biométhanisation, est une solution prometteuse pour la gestion des déchets organiques et la production d'énergie. Ce processus naturel de dégradation permet de valoriser la matière organique en biogaz, composé en majeure partie de méthane et de gaz carbonique et en digestat [1]. Elle consiste en un ensemble de réactions se déroulant en conditions anaérobies, c'est à dire en l'absence d'oxygène.

En plus de permettre le traitement des déchets organiques, la méthanisation comporte deux avantages, à savoir : la valorisation de la matière organique sous forme de biogaz, source d'énergie renouvelable, ainsi que la formation d'un résidu nommé digestat, permettant la fertilisation des sols en tant qu'amendement organique.

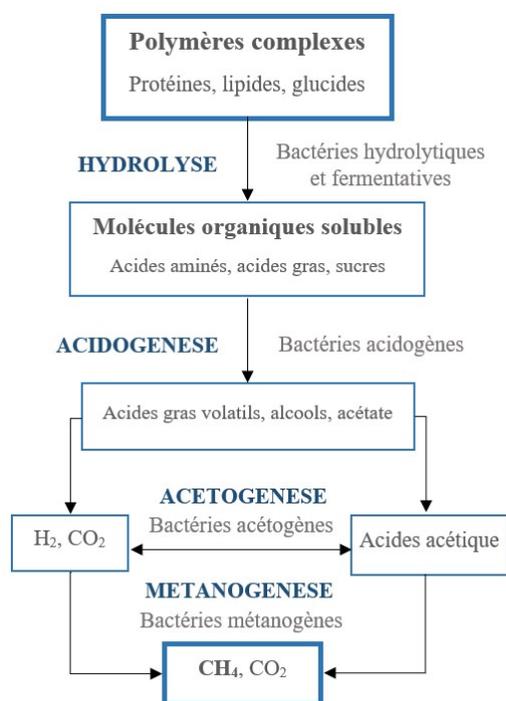


FIGURE 1 – Schéma de la chaîne trophique de la méthanisation et ses différentes étapes.

Ce processus se distingue classiquement en quatre phases successives : l'hydrolyse, l'acidogénèse, l'acétogénèse et la méthanogénèse [1].

Ces grandes étapes, font intervenir une communauté microbienne complexe à travers quatre groupes de micro-organismes. Chaque étape mène à la formation de composés intermédiaires, servant à leur tour de substrats lors de la phase suivante. La Figure 1 met en avant les étapes du processus de méthanisation ainsi que les différents produits intermédiaires. La première étape, l'hydrolyse, est

conduite par les bactéries fermentaires, qui vont convertir les macromolécules comme les protéines, les lipides et les glucides en composés plus petits comme les acides aminés, les acides gras, les monosaccharides ou sucres simples. L'hydrolyse est suivie de la deuxième étape, l'acidogénèse, au cours de laquelle les composés obtenus précédemment sont convertis en acides gras volatils (AGV) par des micro-organismes acidogènes. La troisième étape de la méthanisation est l'acétogénèse, au cours de laquelle les acétogènes convertissent les AGV en acide acétique, en hydrogène et en dioxyde de carbone. À la fin de cette étape se produit la méthanogénèse, qui assure finalement la conversion de l'acide acétique en méthane et en dioxyde de carbone [2].

## 1.2 Les stratégies d'amélioration

À l'heure actuelle, divers procédés permettent d'améliorer le processus de méthanisation comme la co-digestion et le prétraitement, ces deux stratégies comportent divers avantages notamment l'amélioration de la production de méthane, raison pour laquelle elles ont connu un développement important ces dernières décennies.

**Le prétraitement** peut s'effectuer de plusieurs manières, il existe en effet trois catégories de prétraitements distinctes : les prétraitements physiques, chimiques et biologiques. Leur objectif est d'augmenter la disponibilité du substrat pour les micro-organismes, augmentant ainsi sa dégradation et donc sa transformation en biogaz [3]. Un exemple de prétraitement couramment utilisé est le broyage mécanique.

**La co-digestion** est la digestion simultanée de deux ou plusieurs substrats, elle va agir principalement sur la stabilité du procédé et l'équilibre des concentrations en nutriments dans le digesteur [4].

## 1.3 Problématique et objectif

La problématique à laquelle ce travail devra répondre est : **quelle amélioration du potentiel méthanogène pouvons-nous obtenir avec l'utilisation d'un prétraitement biologique et quelle est l'influence de la co-digestion sur ce potentiel ?**

L'étude est réalisée en parallèle de travaux de recherche menés en Afrique du Sud dont une partie porte sur l'étude de la digestion anaérobie d'épluchures de légumes dans des conditions réelles, qui ont permis d'identifier trois souches de champignons d'intérêt pour l'optimisation de la production de biogaz.

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'effet d'un prétraitement aérobie (pour les trois souches identifiées) sur le potentiel méthanogène des mêmes déchets dans des conditions optimales. Ces déchets seront étudiés en mono-digestion et en co-digestion dans des proportions spécifiques, et avec et sans prétraitement.

## 2 Méthodologie

Trois sources d'épluchures de légumes sont étudiées : des pommes de terre, du chou et des carottes. La table 1 référence le contenu des digesteurs pour la réalisation des tests BMP (Biochemical Methane Potentiel). Le résultat obtenu par les tests BMP représente la production de méthane maximale pouvant être obtenue, pour un substrat donné, dans des conditions optimales. Les épluchures (substrat) sont digérées par l'inoculum qui permet d'apporter les micro-organismes nécessaires à la dégradation de ce substrat.

TABLE 1 – Description du contenu des digesteurs.

Digesteur	Contenu
1	Uniquement de l'inoculum (test à blanc)
2	Inoculum et cellulose (test positif)
3	Inoculum et épluchures de carottes
4	Inoculum et épluchures de pommes de terre
5	Inoculum et épluchures de chou
6	Inoculum et épluchures de carottes, pommes de terre et chou
7	Inoculum et épluchures de carottes, pommes de terre et chou prétraitées avec la souche de champignon numéro 1
8	Inoculum et épluchures de carottes, pommes de terre et chou prétraitées avec la souche de champignon numéro 2
9	Inoculum et épluchures de carottes, pommes de terre et chou prétraitées avec la souche de champignon numéro 3
10	Inoculum et épluchures de carottes, pommes de terre et chou prétraitées avec les souches de champignon 1, 2, 3

Chaque substrat est préalablement broyé et homogénéisé, l'inoculum, quant à lui, sera filtré. Ensuite, les teneurs en matières solides (MS) et en matières volatiles (MV) des deux composés seront déterminées. La teneur en MV étant une estimation de la matière organique contenue dans le substrat. Le ratio I/S (Inoculum sur Substrat) est un paramètre important lors de la réalisation de tests BMP [5]. Dans cette étude, le ratio I/S en termes de MV ajoutée est de 3.

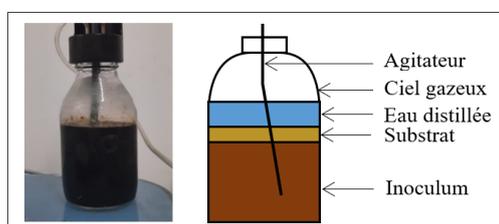


FIGURE 2 – Schéma du contenu d'un réacteur BMP.

La Figure 2, représente un réacteur utilisé dans le cadre des tests BMP, le système permettant de réaliser l'ensemble des tests est le système AMPTS II ("Automatic Methane

Potential Test System II"). Le volume des réacteurs est ajusté à 400 mL avec l'ajout d'eau distillée et le ciel gazeux est purgé au  $CO_2$  et à l'azote dans afin de garantir des conditions anaérobies strictes.

## 3 Résultats attendus

Les résultats attendus sont :

- la production de méthane pour chaque cas étudié. Elle se présente sous la forme d'un rendement s'exprimant en litres de  $CH_4$  de méthane obtenu par grammes de MV de substrat ajoutés.
- les constantes cinétiques de digestion pour chaque substrat, mélange de substrat et substrat prétraité.

## 4 Conclusion

Les résultats des tests BMP permettront de confronter les résultats obtenus dans des conditions optimales avec ceux obtenus en Afrique du Sud, dans des conditions réelles. Les résultats des tests en co-digestion permettront d'étudier les effets synergiques ou antagonistes.

## 5 Remerciements

Nous remercions l'IUT de Saint-Pierre où les travaux ont lieu et le Laboratoire PIMENT de l'Université de La Réunion, financeur de cette étude.

## Références

- [1] Moletta René, Willy Verstraete, *Technologies du traitement des effluents par méthanisation*, La méthanisation (2e ed.), 2011.
- [2] Usman T. M., Kavitha S., Banu J. R., Kaliappan S, *Valorization of food waste for biogas, biohydrogen, and biohythane generation*, *Food waste to valuable resources*, 2020, p. 15-38.
- [3] Karimi Keikhosro, Giti Emtiazi, Mohammad J. Taherzadeh, *Ethanol production from dilute-acid pre-treated rice straw by simultaneous saccharification and fermentation with *Mucor indicus*, *Rhizopus oryzae*, and *Saccharomyces cerevisiae**, *Enzyme and microbial technology*, 2006, p. 138-144.
- [4] Lebon Edouard, Caillet Hélène, Akinlabi Esther, Madyira Daniel, Adelard Laetitia, *Kinetic study of anaerobic co-digestion, analysis and modelling*, *Procedia Manufacturing*, 2019, p. 321-326
- [5] Caillet Hélène, Lebon Edouard, Akinlabi Esther, Madyira Daniel, Adelard Laetitia, *Influence of inoculum to substrate ratio on methane production in Biochemical Methane Potential (BMP) tests of sugarcane distillery waste water*, *Procedia Manufacturing*, 2019, p. 259-264.

---

## Etude exploratoire de la présence de microplastiques dans les crevettes grises et l'eau de mer

---

Daphnée Caux<sup>1</sup>, Helena Sandquist<sup>1</sup>, Elisa Legrand<sup>1</sup>, Maxime Rouh<sup>1</sup>,  
Florence Viudes<sup>1</sup>, Gabriel Pasquier<sup>2</sup>, Périne Doyen<sup>1,3</sup>

perine.doyen@univ-littoral.fr

<sup>1</sup> IUT du Littoral Côte d'Opale, Département Génie Biologique,  
Université du Littoral Côte d'Opale, 62200 Boulogne-sur-Mer

<sup>2</sup> Université du Littoral Côte d'Opale,  
UMR 8187 Laboratoire d'Océanologie et de géosciences (LOG), France

<sup>3</sup> Université du Littoral Côte d'Opale,  
UMR Transfrontalière INRAe n°1158 BioEcoAgro, Institut Charles Viollette, USC ULCO - Anses, France

### Thèmes – Environnement

**Résumé** – *Dans le cadre de travaux préliminaires d'une thèse, quatre étudiants en projet tuteuré ont effectué une étude sur la présence de microplastiques (MP) dans des crevettes grises, ainsi que dans leur milieu de vie. Actuellement, aucune méthode standardisée n'existe pour étudier les MP dans les organismes. Les deux objectifs de notre étude étaient de tester une méthode de digestion des tissus de crevettes afin d'en extraire les éventuels MP, et d'observer si ces derniers étaient également présents dans leur milieu. Des prélèvements de crevettes grises et d'eau de mer ont alors été effectués sur une plage de notre littoral. Une méthode de digestion au KOH 10% a été testée sur des crevettes avec ou sans cuticule (décortiquées). Cette méthode nous a permis d'observer  $3,64 \pm 2,28$  particules/g de crevettes sans cuticule, ainsi que 0,07 particules/L d'eau. Des premières identifications au  $\mu$ Raman ont montré par exemple la présence de PVC parmi ces particules. Une identification des nombreuses particules serait à poursuivre pour définir le taux de MP parmi celles-ci. Ces premiers résultats sont prometteurs pour les futurs travaux de thèse.*

**Mots-Clés** – *Microplastiques, crevettes, eau de mer.*

## 1 Introduction

Les microplastiques (MP) sont des particules de plastiques dont la taille est inférieure à 5 mm. Ils peuvent être directement fabriqués par l'industrie ou alors dériver de la fragmentation de plus gros plastiques. Leurs formes sont variées (fibres, fragments, billes...), ils sont présents dans divers environnements du Monde et leur abondance est étudiée dans de nombreux organismes aquatiques. Cependant, aucun protocole standardisé n'existe concernant l'étude des MP.

Sur notre littoral, la crevette grise est pêchée de manière récréative mais également par les pêcheurs professionnels. Ces crevettes pourraient être exposées à des MP présents dans l'environnement marin, par exemple en identifiant mal leurs proies ou encore en ingérant des proies elles-mêmes contaminées par des MP. Dans le cadre de leur projet tuteuré, quatre étudiants ont mené une étude visant à explorer la présence de MP au sein des crevettes grises sur une plage de notre littoral ainsi que dans leur milieu. Deux objectifs principaux cernaient ce travail : (1) Tester une méthode de digestion des tissus de crevettes afin de pouvoir y dénombrer les particules ; (2) Observer si des MP étaient présents dans ces crevettes ainsi que dans l'eau de mer.

## 2 Matériel et Méthodes

### 2.1 Prélèvements de l'eau de mer et des crevettes

Les prélèvements ont été réalisés sur une plage de la Manche (le 13/01/22). 960 L d'eau de mer ont été prélevés via une pompe placée à 10 cm sous la surface, et l'eau aspirée a été dirigée sur une colonne de tamis de différentes tailles : 5mm, 500 $\mu$ m, 200 $\mu$ m, 80 $\mu$ m et 63 $\mu$ m. Chaque tamis a été rincé avec de l'eau ultrapure afin d'en récupérer toutes les particules déposées. Cette eau de rinçage a alors été placée dans un bocal en verre (1 bocal par tamis). Les crevettes grises, *Crangon crangon*, ont été prélevées via un chalut tiré parallèlement à la plage. Triées dans un seau en métal, elles ont ensuite été conservées dans un bocal en verre puis congelées jusqu'à la digestion de leurs tissus.

### 2.2 Traitement des échantillons d'eau de mer

Les cinq échantillons d'eau (5 bocaux) ont été placés dans une étuve à 40°C, température ne dégradant pas les MP, jusqu'au séchage complet. Une fois les bocaux secs, 200 mL d'hydroxyde de potassium (KOH) à 10% (p:v) est ajouté dans chaque bocal puis placé dans un bain marie à 40°C sous agitation pendant 48H. Le but de cette incubation est de digérer toute la matière organique. Les solutions obtenues sont filtrées sur filtre GF/C en fibre de verre de porosité 1,6 $\mu$ m et de diamètre 47mm. Les filtres sont ensuite séchés à l'étuve à 40°C pendant une nuit.

### 2.3 Traitement des échantillons de crevettes

Après décongélation, les crevettes ont été rincées à l'eau ultrapure puis pesées. La moitié d'entre elles sont ensuite décortiquées, ce qui a permis de tester deux modes de digestion : sans cuticule et avec cuticule. Pour chaque mode, 4 répliques de 10 g de crevettes ont été préparés dans des erlens puis 200 mL de KOH 10% ont été ajoutés dans chacun d'entre eux. Ces 8 erlens ont ensuite été placés au bain-marie à 40°C pendant 70H. Les digestats obtenus ont été filtrés dans les mêmes conditions de filtration que pour l'eau de mer.

### 2.4 Observation et dénombrement des particules

Les filtres ont été observés à la loupe binoculaire (X40). Le dénombrement des particules a été effectué selon leur forme, c'est à dire fibres, fragments ou billes, et leurs couleurs ont été notées.

### 2.5 Premier test d'identification au $\mu$ Raman

Lors d'une séance de quelques heures de découverte de la spectroscopie de diffusion au  $\mu$ Raman, les étudiants ont eu l'opportunité de procéder à l'analyse de cinq des particules observées sur un filtre issu d'une filtration de digestat de crevettes. Les spectres Raman obtenus ont été comparés à la base de données des spectres de polymères et l'identification est approuvée si la similitude est supérieure à 75%.

### 2.6 Préservation de la contamination

Toute contamination extérieure en MP doit être évitée lors de l'ensemble de l'étude. Pour cela, toutes les solutions utilisées ont été filtrées à 1,6 $\mu$ m. Avant utilisation, la verrerie a été nettoyée puis rincée à l'éthanol 70% et l'eau ultrapure. Des témoins négatifs ont été réalisés à chaque étape du process : prélèvement, préparation des échantillons et des erlens, digestion (blanc de KOH 10%), et filtration.

## 3 Résultats et interprétations

Le terme « particule » sera utilisé pour décrire les observations étant donné que l'appellation MP ne peut pas être donnée sans identification de polymère. Les dénombrements exposés correspondent à un comptage corrigé, c'est-à-dire que le nombre de particules observées dans les témoins négatifs a été soustrait à celui des échantillons, pour éviter toute surestimation.

### 3.1 Dénombrement dans les échantillons d'eau de mer

La répartition par classe de taille (Figure 1) montre que la majorité des particules sont inférieures à 200 $\mu$ m. Aussi, les particules entre 79 et 63  $\mu$ m étaient 4 fois plus abondantes (0,138/L) que celles entre 5mm et 500 $\mu$ m (0,032/L). Sur l'ensemble du volume prélevé, 0,07 particules / L d'eau ont été comptabilisé. D'autres auteurs, tel que Maes *et al*, [1] ont observé 0,00014 MP/L au large

du Royaume-Uni, ce qui est beaucoup moins élevé que nos observations. Cependant la méthode de prélèvement d'eau était différente et nos particules ne sont pas identifiées.

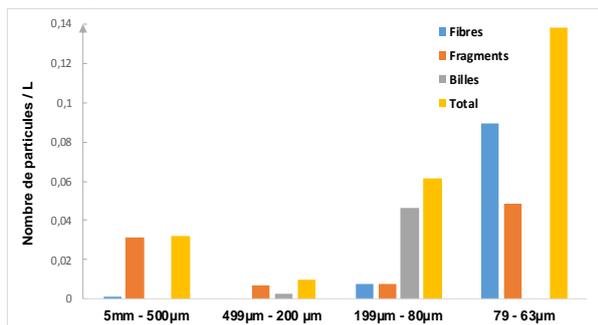


Figure 1 – Nombre de particules par litre d'eau classées par classe de taille et selon leur forme

### 3.2 Digestion au KOH des crevettes

Le KOH 10% a permis de complètement détruire l'abdomen des crevettes, mais n'a pas agi sur leur cuticule qui est restée complète. Cependant le digestat des 4 réplicas de crevettes décortiquées ou non, a pu être filtré sans colmatage et les particules observées sur les filtres.

### 3.3 Dénombrement dans les crevettes

Parmi l'ensemble des particules dénombrées (Figure 2), une majorité de fragments a été observée avec  $3,1 \pm 2,6/g$  de crevettes sans cuticule et  $0,53 \pm 0,15/g$  de crevettes avec cuticule. Les écarts de dénombrement entre type de crevettes proviennent certainement de la différence de digestion des tissus liée à la présence de la cuticule, mais aussi à des grandes variations entre réplicas parmi les crevettes décortiquées. Au total, nous avons observé  $3,64 \pm 2,28$  particules /g de crevettes sans cuticule ce qui est cinq fois plus élevé que  $0,68 \pm 0,55$  MP/ g de la même espèce de crevette observée dans une précédente étude réalisée par Devriese *et al* [2] utilisant une méthode de digestion différente.

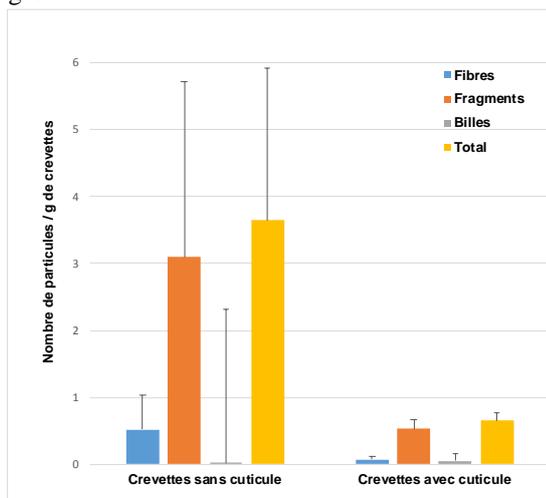


Figure 2 – Nombre de particules par gramme de crevettes, sans ou avec cuticule, classées selon leur forme.

### 3.4 Couleurs des particules observées

Un large panel de couleurs a été observé parmi les fibres ou les fragments (Figure 3). Ces couleurs ne peuvent pas affirmer la nature synthétique des particules mais laissent présager des identifications de polymères.

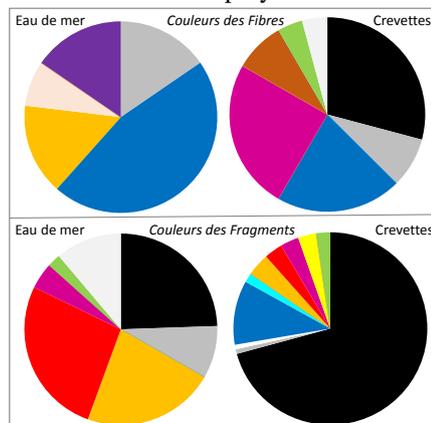


Figure 3 – Proportions des couleurs de fibres et de fragments dans l'eau de mer et les crevettes

### 3.5 Premières identifications de particules

Les premiers résultats obtenus au  $\mu$ Raman ont permis de prouver la nature synthétique de 3 fragments sur les 5 particules examinées (Table 1), étant donné que 2 polymères ont été identifiés et que la présence de colorant prouve la nature non organique du fragment. De plus, une fibre bleue est probablement un mélange de polymères dont le polystyrène.

Table 1 – Identification au  $\mu$ Raman de 4 particules

Type de particule	Polymère (plastique) ou colorant détecté	Pourcentage de similitude
Fragment	PolyVinyl Chloride	86
Fragment	Polytétrafluoroéthylène	80
Fragment	Colorant hostasol green	> 75%
Fibre bleue	Polystyrène	< 75%

## 4 Conclusion

La méthode de digestion au KOH 10% va permettre d'étudier la présence des MP dans l'abdomen des crevettes grises. Les premières quantifications de particules laissent présager leur présence dans les crevettes et leur milieu, mais des identifications complètes ainsi qu'un échantillonnage plus important devraient être réalisés lors de futurs travaux de thèse pour l'affirmer.

## Références

- [1] Maes et al, *Microplastics Baseline Surveys at the Water Surface and in Sediments of the North-East Atlantic*, Front. Mar. Sci., May 2017, Volume 4, 1-13.
- [2] Devriese L.I. et al., *Microplastic contamination in brown shrimp (Crangon crangon, Linnaeus 1758) from coastal waters of the southern North Sea and Channel area*, Mar. Poll. Bull., 2015, 179-187.

# Étude expérimentale des nano-générateurs triboélectriques basés textiles: application aux mouvements humains

---

Gaëtan Vauche

Christophe Corbier

gaetan.vauche@univ-st-etienne.fr christophe.corbier@univ-st-etienne.fr

IUT de Roanne, Université de Lyon, UJM-Saint-Etienne  
Laboratoire d'Analyse des Signaux et des Processus Industriels (EA3059)

**THÈMES** – *Énergie - Environnement*

**RÉSUMÉ** – *L'électricité est aujourd'hui indispensable. Cependant, l'énergie électrique n'est pas une énergie primaire, elle nécessite une autre énergie en amont pour être produite. Nous traiterons ici de la récupération et la transformation de l'énergie mécanique de l'environnement en électricité grâce à un nouveau type de nano-générateur. Parmi toutes les technologies disponibles, les nano-générateurs activés via l'électrification par contact et les nano-générateurs triboélectriques TENG (triboelectric nanogenerator) émergent comme une nouvelle technologie énergétique avec de nombreux avantages, notamment une grande puissance de sortie, un rendement élevé ainsi qu'une fabrication facile et à faible coût.*

**MOTS-CLÉS** – *Générateurs triboélectriques, énergie électrique, application textile*

## 1 Introduction

Cet article s'intéresse au TENG diélectrique-diélectrique à déplacement vertical, représenté en Figure 1. Il se compose de deux plaques diélectriques empilées face à face d'épaisseurs  $D_1$  et  $D_2$  de constantes diélectriques  $\varepsilon_1$  et  $\varepsilon_2$ . Sur la surface externe de ces deux diélectriques, deux couches métalliques sont déposées, constituant ainsi les électrodes. La distance  $d(t)$  entre les deux couches triboélectriques est modifiée sous l'action d'une force mécanique. Par exemple, une des applications des TENG est relative aux textiles (tTENG) dont le mouvement humain (entre les jambes) génère du courant électrique basse fréquence. Le contact entre les deux électrodes génère des charges statiques opposées appelées tribo-charges  $\sigma_T$ , indépendantes du temps tout au long du mouvement et homogènes sur l'ensemble de la surface  $S$  de ces électrodes de dimensions  $a$  et  $b$ .

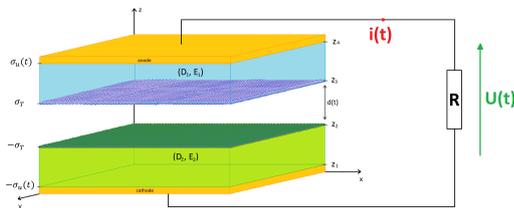


FIGURE 1 – Génération du courant électrique transféré  $i(t)$  et différence de potentiels  $U(t)$  générée par le TENG

Les symétries axiales en  $x$  et  $y$  permettent de simplifier l'approche du mouvement vertical selon l'axe  $z$  uniquement. La distance  $d(t)$  varie selon la nature du mouvement. Dans cette étude le mouvement humain sera pris comme référence [4].

La modélisation du TENG se fait selon deux approches : Gauss [1] et Maxwell [2, 5]. La première donne des résultats approchés, la seconde des résultats plus précis car plus féconde et profonde. Cette dernière est basée sur le courant de déplacement circulant dans les diélectriques. Lorsqu'une charge résistive est placée aux bornes du TENG, ce courant de déplacement donne naissance au courant électrique transféré  $i(t)$  issu du mouvement des charges  $\sigma_u(t)$  [2, 5] situées sur les électrodes ainsi qu'à une différence de potentiels  $U(t)$ .

L'approche Maxwell permet d'établir l'équation du mouvement des charges transférées sous la forme d'une équation différentielle du premier ordre en  $\sigma_u(t)$  à coefficients variables, donnée par :

$$-R.S. \frac{d\sigma_u(t)}{dt} = \frac{\sigma_u(t)}{\pi.\varepsilon_1} \int_0^{D_2+D_1+d(t)} f(z') dz' + \frac{\sigma_T}{\pi.\varepsilon_1} \int_{D_1+d(t)}^{D_1} f(z') dz' + \frac{\sigma_T}{\pi.\varepsilon_2} \int_{-D_2-d(t)}^{-D_2} f(z') dz' + \frac{\sigma_u(t)}{\pi.\varepsilon_2} \int_0^{-D_2-D_1-d(t)} f(z') dz'$$

, où

$$f(z') = \tan^{-1} \left( \frac{a \cdot b}{4 \cdot z' \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2 + z'^2}} \right)$$

## 2 Dispositif expérimental

Les mesures sont réalisées à partir d'un dispositif expérimental comme le montre la Figure 2.

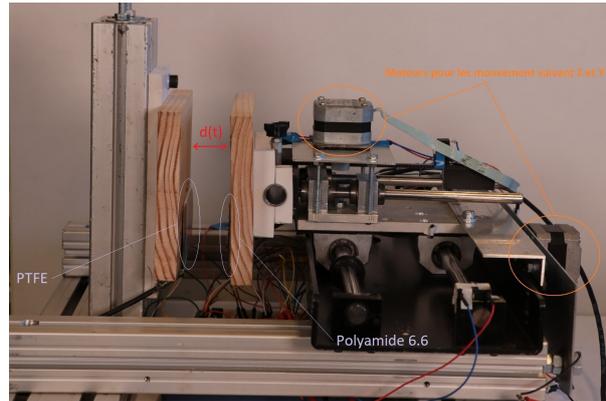


FIGURE 2 – Dispositif expérimental du TENG

Il est composé de deux plaques en bois servant d'isolant sur lesquelles se trouvent des plaques de cuivre constituant les électrodes, recouvertes de polytétrafluoroéthylène (PTFE) pour la cathode et de Polyamide 6.6 pour l'anode. Ce dispositif est automatisé par une carte Arduino Due, couplée à des amplificateurs de puissance, commandant les moteurs pas-à-pas, paramétrant la distance  $d(t)$  ainsi que la fréquence du mouvement humain. Ce banc dispose également de capteurs de pressions mesurant à tout instant la force appliquée sur les plaques.

## 3 Mesures

Une première campagne de mesures a été réalisée afin de collecter la tension  $U(t)$ , le courant transféré  $i(t)$ , aux bornes d'une charge résistive de valeurs  $R = 1M\Omega$  et  $R = 1050\Omega$ , pour une gamme de fréquences allant de  $1Hz$  à  $4,2Hz$  et pour des surfaces de contact  $S$  de  $12cm^2$ ,  $4cm^2$  et  $2cm^2$ . Le signal  $U(t)$  a été filtré par un passe-bas afin d'éliminer les fréquences parasites  $50Hz$  et celles générées par les moteurs pas-à-pas. Les Figure 3 (gauche, droite, centre) montrent sur cinq cycles la tension  $U(t)$ , le courant  $i(t)$  et les charges  $\sigma_u(t)$ , respectivement, pour  $R = 1M\Omega$ ,  $F = 4,2Hz$  et  $S = 12cm^2$ .

Une forte diminution du courant  $i(t)$  et de la tension  $U(t)$  est constatée lorsque les électrodes se rapprochent avant un retour à zéro une fois les différentes parties en contact [3]. Inversement, lors de la séparation des électrodes, la tension va brutalement augmenter avant de retomber à zéro. Les

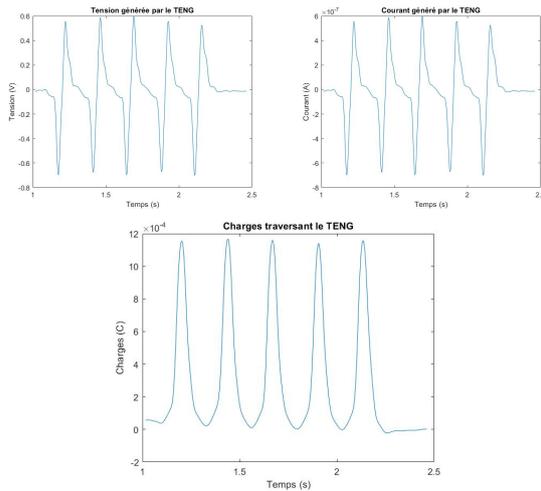


FIGURE 3 – Signaux  $U(t)$ ,  $i(t)$  et  $\sigma_u(t)$  du TENG pour  $R = 1M\Omega$ ,  $F = 4,2Hz$  et  $S = 12cm^2$

charges en transit  $\sigma_u(t)$  sont maximales dès que les électrodes commencent à s'éloigner et deviennent nulles assez rapidement lorsque  $d(t)$  devient grand.

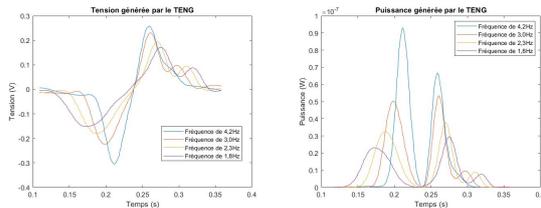


FIGURE 4 – Tension  $U(t)$  (gauche) et puissance dissipée par effet Joules (droite) du TENG sur un cycle pour différentes fréquences de contact et pour  $R = 1050\Omega$  et  $S = 12cm^2$

La Figure 4 (gauche) montre la tension  $U(t)$  aux bornes du TENG durant un cycle en fonction de la fréquence du mouvement (1.8Hz, 2.3Hz, 3.0Hz et 4.2Hz) des électrodes pour  $R = 1050\Omega$  et  $S = 12cm^2$ . Nous constatons que les amplitudes maximales et minimales de  $U(t)$  dépendent de la fréquence du mouvement entraînant également une augmentation de la puissance dissipée par effet Joules dans la résistance (Figure 4 (droite)). La Figure 5 (gauche) montre la tension  $U(t)$  aux bornes du TENG durant un cycle en fonction de la surface des électrodes  $S$  ( $12cm^2$ ,  $4cm^2$  et  $2cm^2$ ) pour  $R = 1M\Omega$  et une fréquence du mouvement de  $4.2Hz$ .

Au plus la surface des électrodes du TENG est grande au plus les valeurs maximales et minimales de  $U(t)$  augmentent. La puissance dissipée par effet Joules Figure 5 (droite) montre une très forte augmentation à  $S = 12cm^2$ .

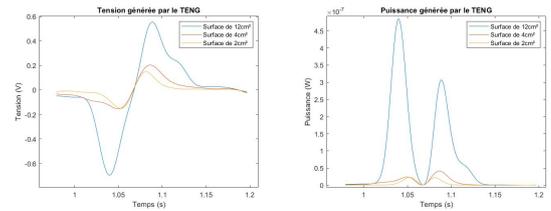


FIGURE 5 – Tension  $U(t)$  (gauche) et puissance dissipée par effet Joules (droite) du TENG sur un cycle pour différentes surfaces  $S$ , pour  $R = 1M\Omega$  et  $F = 4.2Hz$

## 4 Conclusion

Ce programme de recherche basée TENG sur textile basse fréquence se distingue des autres applications à fréquences plus élevées. Cette étude montre que la quantité d'énergie générée par le TENG dépend de multiples paramètres, que sont la fréquence du mouvement, la surface des électrodes et la résistance de charge. Les prochaines investigations se concentreront à remplacer les électrodes basées films homogènes PTFE et polyamide par des électrodes basées textile tricoté PTFE et polyamide pour effectuer une deuxième campagne de mesures.

## Références

- [1] S. Niu, S. Wang, L. Lin, Y. Liu, Y.S. Zhou, Y. Hu, Z.L. Wang, *Theoretical study of contact-mode triboelectric nanogenerators as an effective power source*, Energy Environ. Sci. 6, 2013, p. 3576–3583 <https://doi.org/10.1039/C3EE42571A>
- [2] J. Shao, M. Willatzen, Y. Shi, Z.L. Wang, *3D mathematical model of contact-separation and single-electrode mode triboelectric nanogenerators*, Nano Energy 60, 2019, p. 630–640 <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2019.03.072>
- [3] Z. Ding, M. Zou, P. Yao, L. Fan, *A triboelectric nanogenerator for mechanical energy harvesting and as self-powered pressure sensor*, Microelectron. Eng. 257, 2022, 111725. <https://doi.org/10.1016/j.mee.2022.111725> <https://doi.org/10.1021/nn404614z>
- [4] S. Dong, F. Xu, Y. Sheng, Z. Guo, X. Pu, Y. Liu, *Seamlessly knitted stretchable comfortable textile triboelectric nanogenerators for E-textile power sources*, Nano Energy 78, 2020 <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.105327>
- [5] L. Zhou, D. Liu, J. Wang,\*, Z.L. Wang *Triboelectric nanogenerators : Fundamental physics and potential*, Friction 8, 2020, p. 481–506 <https://doi.org/10.1007/s40544-020-0390-3>

---

## Instrumentation d'un démonstrateur SWAC : Retour d'expériences

---

Kanhan Sanjivy<sup>1</sup>

Olivier Marc<sup>2</sup>

Franck Lucas<sup>3</sup>

kanhan.sanjivy@doctorant.upf.pf olivier.marc@univ-reunion.fr franck.lucas@upf.pf

<sup>1,3</sup> Université de la Polynésie française  
Laboratoire de Géosciences du Pacifique Sud (GEPASUD)

<sup>1</sup> Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME)  
20 avenue du Grésillé- BP 90406 49004 Angers Cedex 01 France

<sup>2</sup> IUT, Saint-Pierre, La Réunion  
Laboratoire Physique et Ingénierie Mathématique pour l'Énergie, l'environnement et le bâtiment (PIMENT)

**Thèmes** – *Énergie - Environnement - Informatique*

**Résumé** – La technologie SWAC (Sea Water Air Conditioning) utilise de l'eau de mer froide située dans les profondeurs (environ -1000m) pour refroidir les bâtiments. C'est une source d'énergie thermique renouvelable non-intermittente utilisée sans aucune transformation. Cette technologie SWAC est parfois couplée à un cycle OTEC (Ocean Thermal Energy Production) pour produire de l'électricité en plus de fournir du froid pour la climatisation.

En 2016, cinq installations d'eau de mer profonde étaient en fonctionnement dont trois dédiées à l'étude des cycles OTEC pour la production d'électricité. Ces trois installations sont situées à Goseong en Corée du Sud, à Okinawa au Japon et dans le District de North Kona à Hawaii. Les deux autres ont été conçues exclusivement pour la production de froid, elles sont situées à Bora Bora et Tetiaroa en Polynésie française et sont respectivement de 1,6 et 2,4 MWf. Un troisième SWAC de 6 MWf est en construction sur l'île de Tahiti pour alimenter le Centre Hospitalier de Polynésie française (CHPF), la mise en service est prévue pour fin 2022.

Dans cet article, nous présentons les performances d'un système SWAC de 2,4 MW installé à l'hôtel The Brando sur l'atoll de Tetiaroa en Polynésie française. Fonctionnant en climat tropical, les résultats expérimentaux montrent des valeurs d'EER (Energy Efficiency Ratio ou coefficient d'efficacité énergétique) comprises entre 20 et 140 en fonction de la longueur de la boucle de distribution de froid. Sachant que les systèmes de climatisation classiques à compression de vapeur atteignent 5 pour les plus performants. En termes d'émissions carbone évitées, les systèmes conventionnels fonctionnant dans les hôtels des îles voisines en Polynésie française (pour une taille d'hôtel équivalente) émettent 860 tonnes/an contre 225 tonnes/an avec le SWAC de Tetiaroa.

**Mots-Clés** – *Climatisation, eau de mer profonde, SWAC.*

## 1 Introduction

La climatisation conventionnelle s'est largement implantée dans les pays développés depuis la fin du 20ème siècle. Aujourd'hui, son essor s'étend progressivement aux pays en développement comme l'Inde et la Chine, qui combine climat chaud et forte démographie [1]. Selon le rapport de l'agence internationale de l'énergie (IEA) [2], la consommation énergétique liée au rafraîchissement des bâtiments a triplé entre 1990 et 2016, devenant ainsi le poste de consommation d'énergie finale qui a le plus augmenté ces dernières années. Et elle devrait, entre 2010 et 2050, être multipliée par 1,3 pour les pays membres de l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE) et par 4,5 pour les pays non-membres [3].

Cette demande en constante augmentation exerce des contraintes fortes sur le réseau électrique des zones tropicales car elle est responsable de 70 % du pic de puissance électrique appelé par les bâtiments. De plus, la climatisation a aussi un très fort impact sur l'environnement avec des émissions de CO<sub>2</sub> qui ont également triplé depuis 1990, atteignant les 1130 millions de tonnes par an. La climatisation conventionnelle utilise des gaz HFCs comme fluide frigorigène qui ont un haut potentiel de réchauffement global [4].

La technologie SWAC (Sea Water Air Conditioning) s'inscrit dans une démarche d'efficacité énergétique en proposant une alternative très performante à la climatisation conventionnelle pour les zones côtières dans la mesure où la mer est une source de froid inépuisable.

## 2 La technologie SWAC, son fonctionnement

La technologie SWAC consiste à pomper de l'eau de mer naturellement froide située en profondeur via une conduite. L'eau profonde passe dans des échangeurs thermiques pour transmettre cette puissance frigorigène à un réseau d'eau glacée en boucle fermée qui assurera la distribution du froid dans l'ensemble des bâtiments à climatiser.

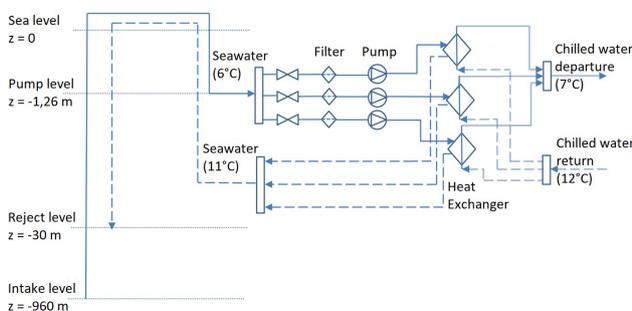


Figure 1 – Principe de fonctionnement du système SWAC

Le système SWAC se décompose en 3 parties (Fig. 1) :

- La boucle SW (Sea Water Loop) dite primaire comprend une canalisation de puisage et une canalisation de rejet. L'eau de mer est à environ 6°C en entrée et est rejetée à une température entre 11°C.

- La boucle CW (Chilled Water Loop) dite secondaire servant de réseau de distribution de froid dans le bâtiment. La température de l'eau glacée est généralement fixée à 7°C pour le départ et 12°C pour le retour.

- Le local technique situé sous le niveau de la mer comprenant plusieurs pompes pour chacune des deux boucles, ainsi que des échangeurs thermiques permettant le transfert du froid d'une boucle à l'autre.

## 3 Potentiel du SWAC en Polynésie française

Le potentiel de la technologie SWAC dépend de la disponibilité de la ressource en eau de mer froide. Notre point de puisage est donné par le profil de température et le profil bathymétrique.

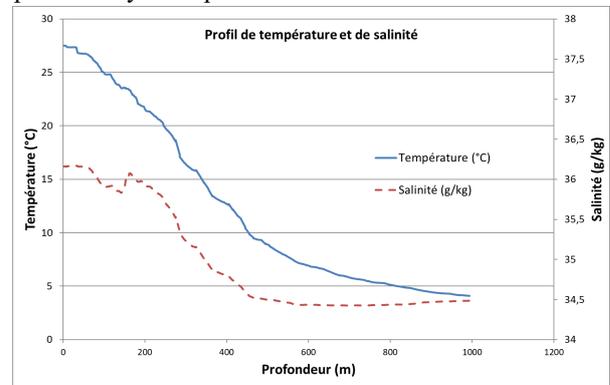


Figure 2 – Profil de température et de salinité

La température et la salinité de l'eau de mer pour la Polynésie française (Fig. 2) nous indique un point de puisage à environ 960 m pour de l'eau de mer à 4,2°C avec une salinité de 34,48 g/kg.

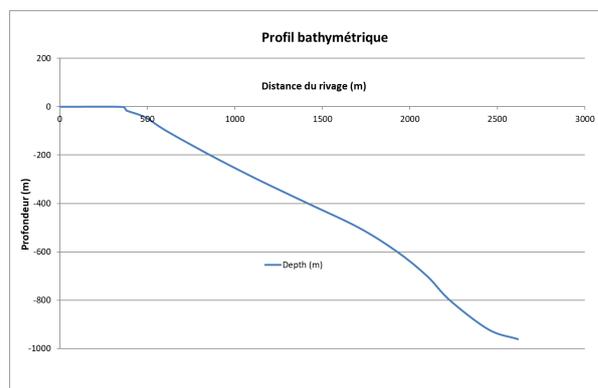


Figure 3 – Profil bathymétrique de Tetiaroa

Le profil bathymétrique (Fig. 3) nous indique qu'une canalisation de 2618 m est nécessaire pour atteindre ce point de puisage, ce qui est un cas très favorable.

## 4 Résultats expérimentaux

L'installation SWAC de l'hôtel The Brando a été instrumentée en mars 2021. Nous disposons donc de données expérimentales sur une période d'un an allant du 26 mars 2021 au 26 mars 2022. L'objectif de cette instrumentation est de calculer les 2 indicateurs de performances de ce système : l'EER primaire (rapport entre la puissance frigorifique produite et la puissance électrique consommée par la boucle primaire uniquement) et l'EER global (rapport entre la puissance frigorifique produite et la puissance électrique consommée par la boucle primaire et secondaire) à partir de mesures expérimentales.

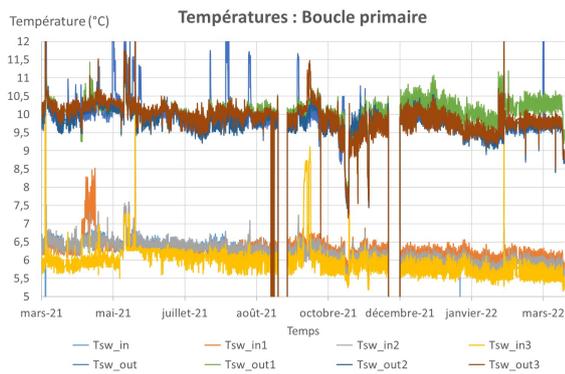


Figure 4 : Évolution des températures côté eau de mer

Des sondes de températures sont placées en entrée et sortie de chaque boucle et de chaque échangeur. Le régime de température théorique primaire de 6/11°C est assez bien respecté tout au long de l'année. Les 4 températures d'entrée mesurées (Fig. 4 : Tsw\_in, 1, 2, 3) sont en accord et oscillent environ entre 5,5 et 6,5°C sur toute la période étudiée. Idem pour les sondes en sortie, on mesure des valeurs comprises entre 9,5 et 10,5°C.

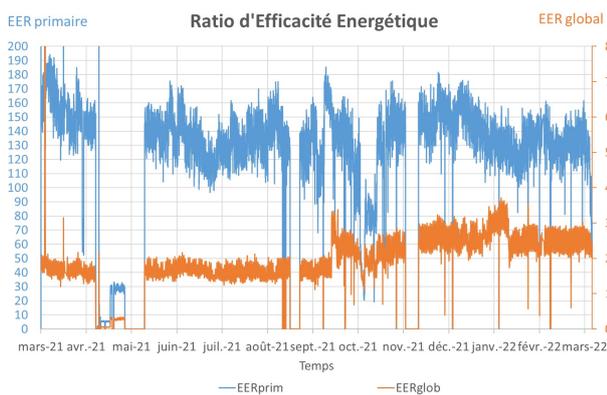


Figure 5 : Évolution des EER primaire et global

L'EER primaire oscille, en majorité, entre 110 et 170 avec une moyenne autour de 140 environ. Ces valeurs sont bien supérieures à celles affichées par des groupes de

production de froid classiques dont l'EER ne dépassent pas 12 [2]. En ce qui concerne l'EER global, il varie entre 15 et 35 avec une moyenne à 25 sur l'année étudiée, ce qui est 5 fois plus élevé que pour les systèmes unitaires conventionnels. L'écart entre les deux EER s'explique par la taille de la boucle de distribution (Longueur totale de 3 km), induisant une consommation électrique des pompes secondaires conséquentes.

## 5 Conclusions

L'installation SWAC du Brando atteint en moyenne des EER de 140 pour le primaire et 25 en global. La différence entre ces deux EER est dû à la consommation importante des pompes du réseau d'eau glacée, environ 4 à 7 fois plus grande que les pompes primaires, du fait de la configuration en réseau de froid urbain. Malgré cet important « District Cooling », les performances de la technologie SWAC restent bien meilleures que des systèmes de climatisation conventionnels, qu'ils soient unitaires ou centralisés

On peut supposer que l'EER global d'une installation SWAC couplée à un bâtiment ayant une typologie plus compacte de l'EER primaire obtenu dans notre cas. Il serait intéressant d'instrumenter une autre installation SWAC alimentant un réseau de distribution moins étendu, comme celle du Centre Hospitalier de Polynésie Française encore en construction, afin de vérifier cette hypothèse.

La technologie SWAC se positionne donc comme une solution durable et efficace pour décarboner la production de froid dans les zones côtières, en particulier dans les territoires ayant un facteur moyen d'émissions de CO<sub>2</sub> élevé comme les îles en zones intertropicales.

## 6 Remerciements

Ce travail est financé par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie et l'Université de la Polynésie française. Les auteurs souhaitent remercier le groupe Pacific Beachcomber pour avoir permis l'exploitation des données du SWAC de l'hôtel The Brando à Tetiaroa ainsi que l'ADEME et le gouvernement polynésien pour le financement de l'instrumentation. Les auteurs remercient aussi la Région Réunion et le Fonds FEDER pour la mobilité du Dr Olivier MARC en Polynésie française.

## Références

- [1] Goetzler W, Guernsey M, Young J, Fujrman J and Abdelaziz A 2016 *The Future of Air Conditioning for Buildings*.
- [2] International Energy Agency (IEA) 2018 *The Future of Cooling* 92.
- [3] International Energy Agency (IEA) 2013 *Transition to sustainable buildings: strategies and opportunities to 2050*
- [4] International Energy Agency (IEA) 2020 *Cooling Emissions and Policy Synthesis Report*.

---

## L'engagement comportemental citoyen pour une plus grande acceptabilité sociale d'une technologie à « hydrogène vert et local »

---

Sara Tahali<sup>1</sup> Hélène Yildiz<sup>1</sup> Rachid Belkacem<sup>2</sup> Latifa Baddas<sup>3</sup>  
Damien Guibert<sup>4</sup> Hugues Rafaralahy<sup>3</sup> Michel Zasadzinski<sup>3</sup>

[sara.tahali@univ-lorraine.fr](mailto:sara.tahali@univ-lorraine.fr), [helene.yildiz@univ-lorraine.fr](mailto:helene.yildiz@univ-lorraine.fr), [rachid.belkacem@univ-lorraine.fr](mailto:rachid.belkacem@univ-lorraine.fr),  
[latifa.baddas@univ-lorraine.fr](mailto:latifa.baddas@univ-lorraine.fr), [damien.guilbert@univ-lorraine.fr](mailto:damien.guilbert@univ-lorraine.fr), [hugues.rafaralahy@univ-lorraine.fr](mailto:hugues.rafaralahy@univ-lorraine.fr),  
[michel.zasadzinski@univ-lorraine.fr](mailto:michel.zasadzinski@univ-lorraine.fr)

IUT de Longwy, Université de Lorraine, 186 rue de Lorraine, 54400 Cosnes-et-Romain

<sup>1</sup>CEREFIGE, UR 3942

<sup>2</sup>L2S, UA 3478

<sup>3</sup>CRAN, CNRS UMR 7039

<sup>3</sup>GREEN, UR 4366

**Thèmes** – *Économie - SHS -Énergie – Environnement.*

**Résumé** – Ce projet concerne les stations de recharge à hydrogène « vert et local » pour les véhicules électriques. Dans cette première communication, nous nous focalisons sur les aspects psychosociologiques : l'acceptabilité sociale de bornes à hydrogène vert. Les stations de recharge à hydrogène « vert et local » est une activité en croissance, centrale en termes de développement territorial, en matière d'énergies alternatives et de développement durable. Outre les conditions de la rentabilité économique des investissements, l'essor performant de cette activité dépend de la capacité à surmonter les résistances individuelles et sociales. Cette recherche mobilise la théorie de l'engagement comportemental citoyen, pour comprendre d'une part les logiques et les stratégies des agents ou acteurs et d'autre part les processus d'acceptation à l'œuvre au cours du déploiement des projets d'implantation de bornes à hydrogène. Le niveau d'engagement citoyen est principalement dépendant de l'acceptabilité sociale d'une borne à hydrogène.

**Mots-Clés** – *engagement comportemental, bornes hydrogène vertes, acceptabilité sociale.*

## 1 Introduction

Dans le contexte actuel de réductions des émissions de gaz à effet de serre, la problématique de l'alimentation en énergie pour des véhicules plus propres est pertinente. Ce questionnement est d'autant plus important que des freins majeurs existent dans le déploiement des différents types de transports verts qu'ils soient alimentés par des batteries ou par une pile à combustible à hydrogène. Ces freins peuvent remettre en question l'essor du marché de ces deux types de véhicule et en particulier les véhicules utilisant l'hydrogène, en sachant que cette dernière offre des potentialités d'avenir importantes. Il faut souligner que l'acceptabilité sociale se pose surtout pour la technologie utilisant l'hydrogène. C'est la raison pour laquelle, ce consortium scientifique que nous avons créé autour de l'alimentation en énergie des véhicules électriques, se concentre sur les bornes à hydrogène et en particulier de l'acceptabilité sociale de cette technologie.

En effet, l'acceptabilité sociale est un point majeur pour le développement du véhicule électrique à hydrogène. Ainsi, la littérature sur les barrières à la mise en place d'énergies vertes souligne plusieurs types d'obstacles, allant des freins techniques, économiques, juridiques, environnementaux, aux freins socio-culturels [1-2]. Ces derniers ont été pointés par une méta-analyse récente comme une des limites majeures au déploiement des projets d'implantations d'énergies vertes, tant au niveau des pays développés, que des pays en développement [1-2-4].

Du côté des barrières sociologiques liées au déploiement de l'hydrogène, plusieurs éléments sont soulevés dans la littérature [3]. Des éléments liés aux risques de cette technologie plus exactement une « peur de l'hydrogène », des « interrogations fortes » sur les risques technologiques liés à son usage, ainsi que des perceptions et des attentes qui peuvent être pénalisantes si non-prises en compte. En outre, une autre question importante est la perception ou non de l'hydrogène comme une source d'énergie « verte ». A travers cette première communication nous exposons les résultats d'un modèle statistique d'une équation de régression linéaire multiple de l'acceptation sociale d'une borne à hydrogène vert.

Les résultats du test du modèle théorique testé sur un échantillon de 650 individus issus de trois pays différents (Belgique, France et Luxembourg) montrent que les individus qui ont un niveau d'engagement comportemental et attitudinal citoyen élevé sont plus susceptibles d'accepter les bornes à hydrogène en particulier les bornes vertes.

## 2 Cadre théorique et hypothèses de recherche

L'éclairage de la théorie du capital social de Putnam [5] sur le phénomène d'acceptabilité sociale peut apporter un cadre intégrateur de compréhension du processus d'acceptabilité. En effet, cette théorie s'appuie sur l'engagement citoyen et sur la réciprocité ressentie des différentes parties prenantes et qui pourrait être source de

succès d'implantation d'une borne à hydrogène verte dans un territoire donné.

S'appuyant sur la littérature sociologique et politique, le concept « local » est appréhendé ici non pas dans sa dimension géographique et physique telle que le lieu de vie d'un individu mais dans son sens « lien social » [8]. Ces auteurs soulignent l'importance des liens sociaux comme facteur de succès du développement économique d'un lieu de vie [7]. Les fondations de cette théorie reposent sur l'engagement et le soutien réciproque des individus qui composent le groupe au niveau d'un village, d'une ville, d'une communauté au sens nord-américain. Sans ces deux facteurs, l'engagement et la réciprocité entre les membres du groupe, le développement économique et social d'un lieu de vie, d'un projet économique s'avère difficilement accessible. Dans la continuité de ces recherches, certains auteurs ont montré que les individus engagés dans leur lieu de vie avaient une attitude favorable vis-à-vis des projets et acteurs économiques implantés dans ce lieu de vie [5]. L'engagement citoyen est défini comme les actes participatifs d'un individu au sein de son territoire. Ces actes citoyens peuvent être décrits comme des comportements d'engagement au sens de Kiesler [6]. Ce dernier définit l'engagement comportemental, comme « le lien qui unit un individu à ses actes comportementaux ». L'engagement dans une cause, dans un projet comme celui d'une borne à hydrogène verte, nécessite des sacrifices en termes de ressources, de temps, d'énergie, d'efforts dans ce projet parce qu'il répond dans sa finalité aux croyances ou aux valeurs des parties prenantes. L'éclairage de la théorie du capital social de Putnam [7] s'appuyant sur la réciprocité et l'engagement des membres d'un territoire permet de comprendre que les personnes ayant des comportements et une conscience d'engagement « citoyen » dans leur lieu de vie favoriseraient les actions-projets locaux implantés au sein de leur territoire. Ainsi, des projets d'implantation de bornes à hydrogène verte pourraient être favorisés dans un territoire dont les membres seraient engagés civiquement dans ce territoire conjointement avec une perception de réciprocité élevée par rapport à ce projet.

A la lumière de la théorie de l'engagement comportemental et attitudinal citoyen, différentes hypothèses peuvent être émises :

H1 : Un niveau d'engagement comportemental citoyen élevé peut favoriser l'acceptabilité sociales d'une borne à hydrogène (a) et ceci de manière plus forte pour les bornes à hydrogène vert (b).

H2 : plus le niveau d'engagement attitudinal est élevé plus peut favoriser l'acceptabilité sociale d'une borne à hydrogène (a) et ceci de manière plus forte pour les bornes à hydrogène vert (b).

## 3 Méthode

Un questionnaire a été diffusé de manière aléatoire à des panels de répondants (issus d'un bureau d'études de sondage). Le questionnaire comporte

plusieurs questions dont des questions relatives à l'engagement comportemental et attitudinal citoyen de l'individu. Les échelles de l'engagement comportemental et attitudinal sont issues de la littérature ainsi que celle de l'acceptation sociale d'une borne à énergie hydrogène et la seconde échelle de l'acceptation sociale d'une borne à hydrogène verte et locale. La mesure de l'engagement comportemental a été utilisée pour appréhender l'engagement de l'individu dans son lieu de vie. Cette liste répertorie les différents actes émis par un individu qualifié d'engagé envers son lieu de vie et s'ajoutent les conditions de Kiesler [8]. Ces conditions permettent d'évaluer le degré d'engagement d'un individu. Le dispositif de réponse de l'échelle est un dispositif du type Likert avec deux points d'ancrage, "pas du tout d'accord" à "tout à fait d'accord", et sept repères. Les trois conditions de Kiesler [8] de liberté, de publicité de l'acte et de coût ont été demandés auprès des consommateurs afin d'évaluer leur engagement au sein de leur.

Une équation structurelle a été menée afin d'analyser les différents liens entre les variables latentes. L'avantage de l'utilisation d'un modèle d'équations structurelles est l'évaluation simultanée de plusieurs chemins et liens entre variables observés les construits latents. Pour estimer les paramètres, nous avons utilisé le programme AMOS de SPSS, qui permet de traiter simultanément les variables continues et catégorielles.

#### 4 Résultats

Une analyse descriptive de l'échantillon montré qu'il est également réparti par sexe (44,9% d'hommes, 55,1% de femmes). En ce qui concerne l'âge des répondants, 19,7% de l'échantillon avait entre 15 et 24 ans, 56,6% entre 25 et 34 ans, 17,3% entre 35 et 44 ans, 4,6% entre 45 et 65 ans, avec 1,8% de l'échantillon ayant plus de 65 ans. Les indices d'ajustement de qualité du modèle structurel  $\chi^2=112$ , ddl=71,  $p=0,000$ ; CFI=0,991 ; TLI=0,988 ; RMSEA=0,027 ; SRMR=0,028 remplissent les exigences imposés par la littérature [9].

L'analyse des différents liens confirme l'ensemble des hypothèses posé. Après épuration, nous obtenons une structure factorielle satisfaisante pour le construit « ethnocentrisme » selon les indicateurs de validité imposés par la littérature

Tous les indices sont en effet dans les plages de valeurs recommandées par la littérature [9]. L'indice de la variance expliquée (AVE) montre que pour certains construits, nous n'avons pu expliquer que 46% du comportement auprès de la population ciblée par l'enquête. Ceci est due principalement aux facteurs situationnels qui altèrent au jugement de l'interviewé. Or, l'indice de Kaiser-Meyer-Olkin pour la mesure de la qualité de l'échantillonnage montre des résultats satisfaisants et significatifs à un degré de précision de 1%.

Les résultats de l'analyse causale du modèle d'équation structurelle montrent que l'engagement comportemental et attitudinal de l'individu est positivement relié à l'acceptabilité sociale d'une borne à énergie hydrogène H1 (a) ( $\beta = 0.211$ ,  $t = 2.63$ ,  $p < 0.000$ ) H2 (a) ( $\beta = 0.114$ ,  $t = 2.13$ ,  $p < 0.001$ ) et ceci de manière plus importante concernant une borne à hydrogène locale et verte (H1 (b) ( $\beta = 0.221$ ,  $t = 2.71$ ,  $p < 0.000$ ) H2 (b) ( $\beta = 0.124$ ,  $t = 2.35$ ,  $p < 0.001$ )). Ainsi, plus son engagement comportemental et attitudinal citoyen est élevé plus il est favorable aux bornes à hydrogène et encore plus à l'hydrogène locale et verte.

#### 5 Conclusion

Si de nombreux travaux sont consacrés aux problématiques de réchauffement climatique dans différents domaines scientifiques, rares sont ceux qui sont centrés sur les aspects managériaux. Cette étude exploratoire et confirmatoire tente de combler ce vide en analysant les mécanismes sous-jacents au processus d'acceptation sociale dans la mise en place d'une technologie telle que la borne à hydrogène. Pour atteindre cet objectif, nous avons mobilisé deux courants théoriques le capital social et l'engagement comportemental citoyen. Une méthodologie quantitative nous a permis d'analyser de façon approfondie l'engagement comportemental citoyen et l'engagement attitudinal sur le processus d'acceptation sociale d'une borne à hydrogène.

Les résultats obtenus à travers l'analyse quantitative, sur un échantillon de 650 répondants, a permis de souligner l'importance de l'engagement comportemental et attitudinal des résidents au sein de leur territoire sur leur acceptation sociale de projets innovants tels que la construction d'une borne à hydrogène verte.

#### Références

- [1] Ono, K., Kato, E. et Tsunemi, K. (2019). Does risk information change the acceptance of hydrogen refueling stations in the general Japanese population? *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(31), 16038-16047. doi : 10.1016/j.ijhydene.2019.04.257
- [2] Huijts, N. M. A. (2012). Psychological factors influencing sustainable energy technology acceptance: A review-based comprehensive framework. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(1), 525-531. doi : 10.1016/j.rser.2011.08.018
- [3] G. Walker, P. Devine-Wright, Community renewable energy: what should it mean? *Energy Policy* 36 (2008) 497–500.
- [4] Sarah Tahali, Régis Rouyer, Hélène Yidiz. Le processus d'acceptabilité d'une énergie verte à travers le prisme de la théorie du capital social. *Congrès National de la Recherche des IUT (CNR IUT)*, 2021.
- [5] Putnam, R.D. (2000), *Bowling alone: The collapse and revival of American community*, Simon and Schuster, New York, NY.
- [6] Coleman, J.S. (1988), "Social capital in the creation of

---

**Matériaux de construction biosourcés à base de granulats de maïs et de tournesol sur le territoire transpyrénéen. Méthodologie d'Analyse en Cycle de Vie pour évaluer les impacts environnementaux avant la construction et établir des perspectives de comparaison.**

---

Quentin Judalet<sup>1</sup>  
quentin.judalet@upc.edu

Marc-André Mequignon<sup>2</sup>  
marc-andre.mequignon@iut-tlse3.fr

Aurélie Laborel-Preneron<sup>3</sup>  
aurelie.laborel@iut-tarbes.fr

Alba Torres-Rivas<sup>1,4</sup>  
alba.torres.rivas@upc.edu

Méryl Lagouin<sup>3</sup>  
meryl.lagouin@iut-tarbes.fr

Camille Magniont<sup>3</sup>  
camille.magniont@iut-tarbes.fr

Dieter Boer<sup>4</sup>  
dieter.boer@urv.cat

Mariana Palumbo<sup>1</sup>  
mariana.palumbo@upc.edu

<sup>1</sup> ETSAV, Universitat Politècnica de Catalunya,  
Departament de Tecnologia de l'Arquitectura

<sup>2</sup> IUT, Université Toulouse III Paul Sabatier,  
Laboratoire d'Études et de Recherches Appliquées en Sciences Sociales

<sup>3</sup> IUT Tarbes, Université Toulouse III Paul Sabatier,  
INSA Toulouse, Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions

<sup>4</sup> Universitat Rovira i Virgili,  
Departament d'Enginyeria Mecànica

**Thèmes** – *Énergie - Environnement - Construction - Agriculture*

**Résumé** – *Le présent article détaille la méthodologie d'étude d'Analyse en Cycle de Vie des produits de construction développés dans le cadre du projet SAVASCO (StructurAtion d'une filière de Valorisation transfrontalière des tiges de maïs et de tourneSol pour la Construction). Les produits et procédés de construction biosourcés sont formulés à partir de co-produits agricoles, jusqu'à alors très peu valorisés, à savoir les tiges de maïs et de tournesol. L'intérêt de cette analyse est d'identifier les étapes les plus impactantes de la chaîne d'approvisionnement complète afin de repérer les potentiels domaines d'amélioration et de pouvoir ensuite comparer les impacts environnementaux avec d'autres matériaux « classiques » substituables. Les résultats de ces analyses constitueront également un outil d'aide à la décision pour développer durablement la filière en sélectionnant les processus présentant un impact environnemental moindre et ainsi retenir les formulations les plus performantes.*

**Mots-Clés** – *Analyse en Cycle de Vie (ACV), Impacts environnementaux, Construction, Matériaux biosourcés.*

## Introduction

Le secteur du bâtiment est l'un des principaux consommateurs d'énergie dans le monde, responsable d'un tiers des émissions de gaz à effet de serre (GES). Pour s'aligner sur les objectifs de l'Accord de Paris, à savoir diviser par 4 ses émissions de GES (objectif dit « facteur 4 ») d'ici 2050, des politiques sont entrées en vigueur en Europe et dans le monde au cours des dernières décennies, qui encouragent la réduction de la consommation d'énergie et des émissions de GES des bâtiments neufs et existants. Dans une démarche d'Analyse de Cycle de Vie (ACV), cela implique de réduire à la fois la consommation d'énergie dans la phase d'utilisation mais aussi de réduire l'énergie incorporée dans les matériaux de construction. L'utilisation de matériaux d'isolation biosourcés s'attaque à ces deux aspects, car ils peuvent agir comme des puits de carbone pendant leur durée de vie et contribuer à améliorer la performance énergétique des bâtiments. Cependant, leurs avantages dépendent de plusieurs facteurs, comme les distances de transport ainsi que les processus de fabrication, ce qui nécessite des analyses détaillées au cas par cas.

L'objectif de cette étude est d'analyser les impacts des différents produits d'isolation thermique à base de tiges de maïs et de tournesol : un panneau isolant et des bétons végétaux à projeter sur place ou à mouler pour produire des blocs légers préfabriqués. L'étude est basée sur des données réelles d'Espagne et de France qui couvrent les étapes de production et de processus de fabrication soit « du berceau à la sortie de l'usine ». Cette analyse permettra d'une part, d'identifier les points d'amélioration de la chaîne de valeur et d'autre part de comparer les impacts environnementaux avec d'autres produits présentant la même fonction et largement utilisés dans le bâtiment. L'analyse constituera également un outil d'aide à la décision quant aux différentes formulations expérimentées afin de retenir celles qui présentent le meilleur intérêt en termes de performances environnementales.

## 1 Méthodologie

### 1.1 Collecte des données

Pour cette étude, nous proposons une méthodologie d'évaluation basée sur l'ACV (suivant les normes ISO 14040, NF EN 15804+A1) visant à évaluer les différentes formulations développées dans le cadre du projet. L'inventaire initial de l'ACV est construit à partir des données collectées auprès des partenaires. Ces données proviennent des récoltes 2020 et 2021 de tiges de tournesol et de maïs en Espagne, au sein de coopératives agricoles de la Federació de Cooperatives Agraries de

Catalunya (FCAC), du transport des tiges jusqu'à la halle Agromat affiliée au Laboratoire de Chimie Agro-industrielle (LCA) de l'Institut National Polytechnique (INP) de Toulouse, et des processus de transformation nécessaires pour obtenir les différents types de granulats végétaux (moelle, écorces et broyats).

Deux questionnaires ont été élaborés pour recueillir les données de l'inventaire, l'un axé sur la phase agricole adressé à la FCAC et l'autre incluant les processus de transport et de transformation pour l'INP Toulouse.

Ces questionnaires ont permis d'obtenir les informations nécessaires pour lier l'ensemble des processus qui composent la chaîne de valeur de production des matériaux.

Les données concernant les différentes formulations de produits de construction ont été récoltées auprès des laboratoires et groupes de recherche partenaires français et espagnols. Les bétons végétaux impliquent trois composants principaux : le granulats (moelle, écorces, broyat) de maïs et tournesol, le liant (argile ou chaux) et l'eau, alors que les panneaux isolants sont constitués d'un seul type de granulats (moelle de tournesol), d'un liant (amidon) et d'eau.

### 1.2 Évaluation des impacts

Pour évaluer les impacts environnementaux, nous utilisons le logiciel SimaPro et la base de données associées Ecoinvent 3 allocation, cut-off by classification – unit.

#### 1.2.1 Choix des processus utilisés

Dans un premier temps, il a fallu identifier les processus existants utilisés dans la chaîne de valeur de production des produits de construction à base de granulats de maïs et tournesol. Pour cela, les questionnaires de données collectées pour l'étude auprès des partenaires ont servi de référence. L'aspect expérimental de certains de ces processus n'ont pas permis d'identifier systématiquement des processus assimilables dans la base de données. Finalement, il a été convenu que les impacts des étapes agricoles (production de la matière première et traitements agricoles), de transport ainsi que d'extraction des différentes matières qui composent les produits de construction seraient évalués à l'aide de processus existants car ils disposent de nombreux processus complets dans la base de données. D'autre part, les parties de transformation des tiges en granulats et de fabrication des produits de construction seront évaluées par une assimilation des consommations énergétiques mesurées à chaque étape. Pour ceux-ci, un processus de consommation électrique géolocalisé dans le pays de transformation (France) sera utilisé. Enfin, pour la fabrication des produits de construction, seuls les impacts liés à l'extraction et la production des différents composants ont été pris en compte.

### 1.2.2 Co-produits et allocations

Dans cette étude, nous sommes confrontés à une problématique propre aux matériaux biosourcés qu'est l'allocation des co-produits et/ou résidus agricoles pour déterminer leur charge environnementale. Même si l'allocation économique semble prédominer pour l'ACV, le manque d'étude disponible pour les co-produits générés et utilisés dans notre cas a conduit à favoriser une allocation massique pour laquelle des données ont pu être mesurées et dont certaines sont disponibles dans la littérature.

### 1.2.3 Catégories d'impact

La méthode de calcul d'impacts utilisée est EPD (2018) car c'est une méthode qui permet d'évaluer les catégories d'impacts cités dans la norme NF EN 15804+A1 pour assurer la comparabilité des résultats d'impacts avec les matériaux disposant d'une FDES (Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire).

## 2 Analyse et interprétation des résultats

Les formulations sont évaluées pour un mètre carré de produit d'épaisseur déterminée en fonction des résultats préliminaires de conductivité et des résistances thermiques selon les types de formulation. L'évaluation des formulations met en évidence la majeure contribution de la production de granulats ainsi que le transport des tiges de la coopérative à la halle de transformation Agromat qui n'est pas optimisée dans notre cas (440 km séparent le champ du laboratoire de transformation) pour toutes les catégories d'impact. En analysant dans le détail la production des granulats, il apparaît clairement que la phase la plus impactante est la partie de production agricole des tiges. Même si celle-ci a été comptabilisée avec une allocation massique - la tige de tournesol représente 33,3% en masse sèche de la partie aérienne de la plante de tournesol alors que les graines constituent 51,5% et les capitules 15,2% [1] - elle représente, l'impact le plus important pour toutes les catégories d'impact en comparaison avec la récolte des tiges et les étapes de transformation. Toutefois, l'affectation de la charge environnementale pour les tiges joue un rôle important dans ces résultats. En cas d'affectation différente, dans laquelle la tige serait, par exemple, considérée comme un déchet et où l'on attribuerait toute la charge environnementale de la production aux graines de tournesol/maïs (produit principal), l'étape la plus impactante serait alors la récolte des tiges au champ. L'impact des étapes de transformation des tiges en granulats semble être négligeable pour la majorité des catégories d'impact. Toutefois, cela mériterait une étude plus approfondie sur le comptage des impacts pour vérifier leur importance, car dans notre cas, seules les

consommations énergétiques associées sont comptabilisées.

## 3 Conclusions et perspectives

La partie agricole (production de matière première et méthode de récolte) ainsi que le transport semblent représenter la majeure partie des impacts environnementaux des produits de construction développés dans ce projet. Afin d'améliorer ce résultat, il faudrait continuer à optimiser les étapes de production des granulats et notamment se pencher sur l'aspect local de la production.

Cette étude sera d'autant plus intéressante lorsqu'elle sera couplée aux mêmes types d'analyses sur les volets économique et social.

Les mesures de conductivité associées à ces matériaux vont être finalisées et permettront ensuite de comparer les impacts environnementaux, à résistance thermique égale, avec d'autres matériaux substituables. Enfin, les étapes d'utilisation et de fin de vie pourront être analysées par des scénarii établis avec les informations existantes dans la bibliographie afin de construire le cycle de vie complet de ces matériaux et constituer, dans un futur, un dossier de candidature pour une éventuelle FDES.

Les nouvelles réglementations en vigueur pour le bâtiment, telle que la RE2020 en France, présentent également de nouvelles approches d'évaluation des impacts environnementaux des bâtiments via l'approche dynamique de l'ACV. Il sera intéressant d'étudier la variabilité des résultats d'impact en utilisant ces nouvelles méthodes de calcul, une fois le cycle de vie complet constitué.

## 4 Remerciements

Les auteurs remercient les partenaires du projet (FCAC, INP Agromat) pour leur contribution à la mesure et la collecte des données qui ont permis d'effectuer cette étude.

Ce projet (EFA353/19/SAVASCO) a été cofinancé par le Fonds européen de développement régional (FEDER) dans le cadre du programme POCTEFA (INTERREG V-A Espagne – France – Andorre 2014-2020).

## 5 Références

[1] Philippe Evon, *Nouveau procédé de bioraffinage du tournesol, plante entière, par fractionnement thermo-mécano-chimique en extrudeur bi-vis : étude de l'extraction aqueuse des lipides et de la mise en forme du raffinat en agromatériaux par thermomoulage*, Thèse, Tableau IV - 1, 2008, p. 186

# Optimisation de la durabilité et de la qualité environnementale d'un isolant à base de moelle de tournesol pour le bâtiment

---

Myriam Goutière<sup>1</sup>   Aurélie Laborel-Préneron<sup>1</sup>   Camille Magniont<sup>1</sup>

myriam.goutiere@iut-tarbes.fr   aurelie.laborel@iut-tarbes.fr   camille.magniont@iut-tarbes.fr

<sup>1</sup> IUT de Tarbes, Université de Toulouse,  
Laboratoire Matériaux Durabilité des Constructions, INSA, UPS

**THÈMES** – *Matériaux - Environnement*

**RÉSUMÉ** – *En France, le secteur du bâtiment génère des impacts environnementaux majeurs, en termes de consommations énergétiques et d'émissions de CO<sub>2</sub>. Afin de réduire ces effets, une des solutions est d'isoler les bâtiments. C'est un moyen efficace de réduire les dépenses de chauffage tout en améliorant le confort des utilisateurs. Un des matériaux isolants les plus connus est le polystyrène, fabriqué à base de ressources limitées telles que le pétrole. Il existe cependant des alternatives à ces isolants pétrosourcés, que sont les matériaux biosourcés. L'utilisation et le développement de matériaux à base de moelle de tournesol peut être une solution pour remplacer les isolants traditionnels. L'objectif de ce projet est de proposer un isolant thermique optimisé en ce qui concerne les propriétés d'usage et leur maintien dans le temps, tout en prenant en compte la qualité environnementale du produit ainsi que son coût.*

**MOTS-CLÉS** – *Génie civil, matériau biosourcé, isolation thermique, moelle de tournesol, analyse de cycle de vie*

## 1 Introduction

Un des défis majeurs dans le domaine du génie civil est la réduction de l'impact environnemental des bâtiments, de leur construction jusqu'à leur fin de vie, en passant par leur utilisation.

Pour diminuer cet impact, en réduisant les émissions d'équivalent  $CO_2$ , et lutter contre le réchauffement climatique, tout en diminuant la facture énergétique des ménages, l'isolation des bâtiments est un enjeu clé. La rénovation énergétique des bâtiments ainsi que le choix des matériaux isolants deviennent ainsi des paramètres déterminants. Ces dernières années, un regain d'intérêt pour les matériaux de construction à faible impact environnemental a émergé, mettant un coup de projecteur sur les matériaux biosourcés.

Les matériaux biosourcés présentent une alternative avantageuse aux solutions conventionnelles dans l'isolation thermique des bâtiments tant du point de vue de leurs propriétés d'usage que de celui de leurs qualités environnementales. Ils sont souvent largement disponibles localement, renouvelables, émettent peu de gaz à effet de serre et séquestrent le  $CO_2$  accumulé durant leur croissance pendant toute la durée de vie de l'ouvrage. Ces matériaux innovants présentent notamment un bilan carbone avantageux par rapport aux isolants synthétiques.

Plusieurs projets ont mis en évidence :

- l'intérêt d'utiliser des tiges, et plus particulièrement la moelle de tournesol (Figure 1) afin de développer des matériaux isolants aux propriétés hygrothermiques intéressantes [1], [2], [3],
- les performances d'usage très prometteuses d'isolants 100% biosourcés à base de moelle de tournesol et l'influence de différents liants organiques sur les propriétés [4],
- des résultats préliminaires concernant la durabilité de ces isolants biosourcés du point de vue de leur résistance microbienne [5].



FIGURE 1 – Plante de tournesol (gauche), intérieur de la tige de tournesol (droite)

Le projet de recherche QUAPBIO vise à proposer un isolant thermique à base de moelle de tournesol dont la formulation est optimisée en tenant compte d'une série de cri-

tères. Le matériau doit être durable, présenter de bonnes propriétés d'usage tout en conservant un coût raisonnable et une haute qualité environnementale.

Afin de pouvoir étudier la durabilité du matériau, un protocole de vieillissement accéléré sera proposé et validé sur des échantillons soumis à un vieillissement naturel. Enfin, une Analyse de Cycle de Vie (ACV) permettra d'évaluer de manière globale et multicritère les impacts environnementaux de ces isolants. Les résultats de cette ACV permettront d'orienter les choix lors du développement du produit pour limiter son impact final.

## 2 Matériaux

### 2.1 Moelle de tournesol

La moelle de tournesol a été choisie dans ce projet comme matière première pour sa disponibilité dans le Sud-Ouest. En France, 700 000 hectares de tournesol sont cultivés chaque année pour faire de l'huile de tournesol [6] et en 2018, la quantité totale de tiges de tournesol récoltées chez un agriculteur d'Ovalie Innovation (filiale R&D des groupes coopératifs Maisadour et Vivadour) dans le Gers était de 6 600 t [7].

L'utilisation de moelle de tournesol comme isolant a du sens, de par ses propriétés thermiques proches de celles d'autres matériaux conventionnels tels que le polystyrène extrudé ou la laine de verre (Figure 2).

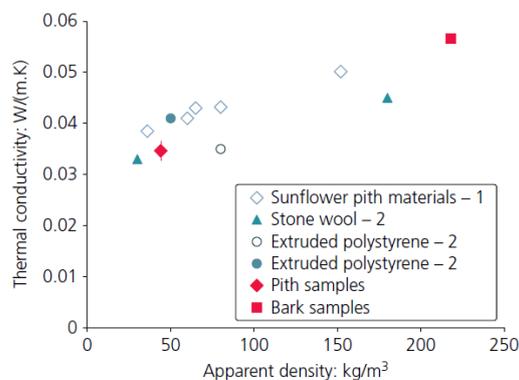


FIGURE 2 – Conductivité thermique en  $[W/(m.K)]$  de moelle (◆), d'écorce (■) ainsi que de matériaux comparables de la littérature mesurée autour de 21-25°C (moelle de tournesol ◇, laine de roche ▲, polystyrène extrudé ○ ●) [8]

### 2.2 Fabrication

La méthode de transformation pour l'obtention de la matière première est détaillée dans [4]. Les granulats légers ainsi obtenus peuvent ensuite être utilisés de diverses manières comme isolant thermique : en panneau, en vrac, ou insufflés.



FIGURE 3 – Panneau de moelle de tournesol

Les panneaux de ce projet seront composés de moelle de tournesol et d'un liant. Plusieurs liants biosourcés tels que l'amidon et le chitosane ont déjà été étudiés par [9] et [10]. Le protocole de fabrication des panneaux est le suivant :

1. Dissolution du liant,
2. Mélange du liant avec les particules de moelle de tournesol, puis malaxage jusqu'à homogénéisation,
3. Remplissage du moule avec le mélange moelle/liant,
4. Pressage à froid sous presse hydraulique,
5. Démoulage immédiat du panneau.

Le résultat est visible sur la Figure 3.

Le procédé d'isolation en vrac par des particules de moelle sera également étudié, il pourrait être utilisé pour l'isolation de combles par exemple. Les particules sont déversées ou soufflées sur le sol et réparties de façon homogène.

L'insufflation, quant à elle, consiste à injecter de l'isolant en vrac dans les cloisons et les planchers grâce à une buse spéciale.

### 3 Méthodologie

Les objectifs de la thèse sont l'optimisation des performances d'usage, de la durabilité (tests de vieillissement), de la qualité environnementale (ACV), tout en prenant en compte le coût.

Pour évaluer le maintien des performances d'usage dans le temps, les matériaux étudiés subiront un vieillissement accéléré. Le protocole d'accélération sera confronté à un vieillissement naturel afin de quantifier cette accélération et de vérifier qu'elle reste représentative et extrapolable. Différentes propriétés et dégradations seront évaluées sur les matériaux : stabilité dimensionnelle, conductivité thermique, comportement mécanique ou encore prolifération de micro-organismes. Une fois validé, le protocole de vieillissement accéléré sera utilisé pour étudier l'évolution des propriétés d'usage en fonction du temps. En réduisant la durée des essais de vieillissement, la durabilité du matériau pourra être optimisée de manière expérimentale.

Enfin, l'ACV sera un critère d'optimisation des matériaux et sera ainsi une aide au choix du produit final retenu. Cette ACV sera réalisée avec le logiciel SimaPro.

## 4 Conclusion

Aujourd'hui, les isolants thermiques sont majoritairement issus de matières pétrosourcées ou minérales, dont l'extraction pose d'importants problèmes environnementaux. Il existe cependant des coproduits agricoles valorisables, tels que les tiges de tournesol. L'utilisation de cette matière première biosourcée présente de nombreux atouts environnementaux mais les propriétés d'usage, l'impact environnemental sur l'ensemble de la durée de vie du produit ainsi que la durabilité et le coût de ces isolants doivent être analysés afin de caractériser la viabilité du produit.

## 5 Remerciements

Les autrices expriment leur gratitude aux partenaires et financeurs *Ovalie Innovation*, la région Occitanie, la Communauté d'Agglomération Tarbes-Lourdes-Pyrénées et l'IUT de Tarbes.

## Références

- [1] F Bacoup, A Mahieu, A Vitaud, P Drone, R Gattin, and N Leblanc. Various methods of binding light agricultural byproducts. *Academic Journal of Civil Engineering*, 37(2) :19–23, 2019.
- [2] M Palumbo, J Formosa, and AM Lacasta. Thermal degradation and fire behaviour of thermal insulation materials based on food crop by-products. *Construction and Building Materials*, 79 :34–39, March 2015.
- [3] N Mati-Baouche, H de Baynast, S Sun, A Lebert, E Petit, and P Michaud. Polysaccharidic binders for the conception of an insulating agro-composite. *Composites Part A : Applied Science and Manufacturing*, 78 :152–159, November 2015.
- [4] V Sabathier, A Ahmed Maaloum, C Magniont, P Evon, and L Labonne. Développement d'un panneau isolant 100% biosourcé à base de moelle de tournesol. In *Proceedings of the National Congress of Research in IUT (CNRIUT'2017)*, Auxerre, France, pages 4–5, 2017.
- [5] T Verdier, L Balthazard, M Montibus, C Magniont, P Evon, and A Bertron. Development of sunflower-based insulation materials coated with glycerol esters to prevent microbial growth. *Academic Journal of Civil Engineering*, 37(2) :50–56, 2019.
- [6] P Jouffret, F Labalette, and J Thibierge. Atouts et besoins en innovations du tournesol pour une agriculture durable. *Innovations agronomiques*, 14 :1–17, 2011.
- [7] H Ratsimbazafy. Evaluation du potentiel de co-produits agricoles locaux valorisables dans le domaine des matériaux de construction (palomac). 2021.
- [8] T Verdier, L Balthazard, M Montibus, C Magniont, P Evon, and A Bertron. Using glycerol esters to prevent microbial growth on sunflower-based insulation panels. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials*, 174(3) :140–149, June 2021.
- [9] A Laborel-Préneron, C Ampe, L Labonne, C Magniont, and P Evon. Thermal Insulation Blocks Made of Sunflower Pith Particles and Polysaccharide-Based Binders : Influence of Binder Type and Content on Their Characteristics. pages 43–50, Barcelona, Spain, January 2022.
- [10] M Palumbo, A Navarro, J Avellaneda, and AM Lacasta. Characterization of thermal insulation materials developed with crop wastes and natural binders. page 10, 2014.

## Plateforme dédiée à l'utilisation de l'hydrogène dans le cadre des énergies renouvelables et du stockage de l'énergie

---

Damien Guilbert<sup>1</sup>  
Michel Zasadzinski<sup>2</sup>

damien.guilbert@univ-lorraine.fr  
hugues.rafaralahy@univ-lorraine.fr  
rachid.belkacem@univ-lorraine.fr  
helene.yildiz@univ-lorraine.fr

Latifa Boutat-Baddas<sup>2</sup>  
Rachid Belkacem<sup>3</sup>  
Hélène Yildiz<sup>4</sup>

latifa.baddas@univ-lorraine.fr  
michel.zasadzinski@univ-lorraine.fr  
sara.tahali@univ-lorraine.fr

Hugues Rafaralahy<sup>2</sup>  
Sara Tahali<sup>4</sup>

IUT de Longwy, Université de Lorraine, 186 rue de Lorraine, 54400 Cosnes et Romain

<sup>1</sup> GREEN, UR 4366

<sup>2</sup> CRAN, CNRS UMR 7039

<sup>3</sup> 2L2S, UA 3478

<sup>4</sup> CEREFIGE, UR 3942

**THÈMES** – *Énergie - Automatique - Environnement*

**RÉSUMÉ** – *Dans le cadre de l'élaboration de stratégies technologiques pour s'opposer au réchauffement climatique, il est important de développer des solutions permettant de stocker l'énergie électrique, puis de la distribuer en fonction des besoins, car cette énergie ne peut pas être conservée sur le réseau EDF. L'hydrogène représente une solution at-tractive et prometteuse pour stocker et fournir une énergie électrique déjà produite. De plus, les technologies à base d'hydrogène sont bien adaptées à la modularité des sources d'énergie renouvelables. Le présent article présente les verrous technologiques et une plateforme dédiée à l'utilisation de l'hydrogène dans le cadre des énergies renouvelables et du stockage de l'énergie entre quatre laboratoires de l'Université de Lorraine ayant chacun une équipe hébergée dans les locaux de l'IUT de Longwy.*

**MOTS-CLÉS** – *Hydrogène, électrolyseur, sources d'énergies renouvelables, plateforme expérimentale.*

## 1 Introduction

Quatre équipes de recherche de laboratoires<sup>1</sup> de l'Université de Lorraine, localisées au sein des locaux de l'IUT de Longwy, collaborent actuellement dans un projet interdisciplinaire intitulé "Alimentation en énergie d'un véhicule électrique : bornes à hydrogène ou bornes électriques".

Ce projet concerne les stations de recharge à hydrogène "vert et local" pour les véhicules électriques. Nous nous focalisons sur les aspects technologiques (types d'électrolyseurs, alimentation avec des énergies renouvelables), sur les aspects gestion-économiques (territoire transfrontalier) et les aspects psycho-sociologiques (acceptabilité sociale). En effet, dans ce projet interdisciplinaire, nous nous concentrons sur l'analyse des incidences de la technologie de l'électrolyseur dans l'optimisation du fonctionnement d'une station à hydrogène. Nous nous intéressons également aux incidences territoriales sur le plan économique et sociologique de l'implantation de ces stations (spécificités de la région transfrontalière au nord de la Lorraine). Et enfin, le problème majeur de l'acceptabilité sociale des technologies à base d'hydrogène "vert et local" sera aussi analysé dans l'ensemble du processus d'implantation de ces stations de recharge à hydrogène.

Le présent article porte sur une partie de ce projet interdisciplinaire : la modélisation et la commande d'un convertisseur de puissance pour alimenter un électrolyseur au sein d'une chaîne de production d'hydrogène basée sur un système éolien. Le principal inconvénient d'un système éolien est son intermittence de production d'énergie électrique en raison des conditions météorologiques. Afin de garantir des bonnes performances de l'électrolyseur, le courant ou bien la tension à la sortie du convertisseur doit être contrôlé afin de faire face à la dynamique du système éolien. En particulier, il a été décidé de contrôler l'un de ses deux paramètres à un point de fonctionnement spécifique afin d'optimiser l'efficacité globale du système incluant le convertisseur de puissance et l'électrolyseur. Ce point de fonctionnement peut être déterminé en faisant une étude approfondie de l'efficacité énergétique du convertisseur de puissance et de l'électrolyseur.

## 2 Verrous scientifiques et objectifs du projet, méthodologies à mettre en place

Une borne de recharge ne peut pas être considérée indépendamment de son environnement, notamment de ses sources d'alimentation électrique, que ces sources proviennent d'énergies renouvelable (éolien, solaire, ...) ou du réseau EDF. De ce point de vue, une borne de recharge peut être vue comme un système ayant une architecture complexe combinant des dispositifs hétérogènes (l'électrolyseur, les sources d'énergie) interconnectés dont les mo-

dèles ont des fortes non linéarités et donc des comportements dynamiques et statiques différents selon les différents points de fonctionnement. Le volume d'hydrogène produit dépend fortement de la quantité d'énergie apportée à l'électrolyseur. Plus l'apport d'énergie est conséquent, et plus l'électrolyseur produit de l'hydrogène. Toutefois, cet apport conséquent d'énergie cause des échauffements au sein de l'électrolyseur, conduisant à la réduction de son rendement. En d'autres termes, une bonne partie de l'énergie apportée à l'électrolyseur est perdue et ne peut donc pas être convertie en hydrogène. Le choix de la stratégie de contrôle doit dépendre des performances souhaitées (débit d'hydrogène, rendement, ou bien compromis débit d'hydrogène-rendement), c'est-à-dire du point de fonctionnement souhaité et/ou prévisible, ainsi que de son évolution souhaitée et/ou prévisible.

Au vu des développements ci-dessus, le verrou scientifique auquel il nous semble pertinent de nous attaquer est le suivant : laquelle des deux technologies d'électrolyseurs, à savoir la technologie alcaline et celle à Membrane Echangeuse de Protons (PEM), est la mieux adaptée pour permettre un fonctionnement efficace et, si possible rentable, de la borne de recharge avec une alimentation électrique via des énergies renouvelables (éolien et panneau photovoltaïque). En effet, lorsque l'on souhaite produire de l'hydrogène vert, les électrolyseurs doivent s'accommoder des sources d'énergies intermittentes, être complètement autonomes et doivent s'adapter à des points de fonctionnement différents (voir le compromis entre le débit d'hydrogène et le rendement décrit au paragraphe précédent). De plus, il faut noter que le coût de l'hydrogène produit dépend également du type et de la puissance de la source, ce qui est un point clé lorsque l'on utilise des énergies renouvelables.

La méthodologie que nous envisageons de mettre en place se décompose en deux parties principales décrites ci-dessous.

- 1) Comparaison des performances des électrolyseurs alcalins et PEM.
  - a) Caractérisation expérimentale des performances des deux technologies d'électrolyseurs.
  - b) Développement de modèles dynamiques des électrolyseurs pour différents points de fonctionnement car le rendement et la production d'hydrogène sont des critères antagonistes qui dépendent du choix du point de fonctionnement de l'électrolyseur. Dans la littérature, très peu d'études ont été reportées sur le développement de ce type de modèle.
  - c) Validation expérimentale des modèles développés en utilisant la plate-forme H2-EnR développée conjointement par le GREEN, le CRAN et l'IUT de Longwy [1] (voir figure 1).

1. CRAN, GREEN, 2L2S, CEREFIGE

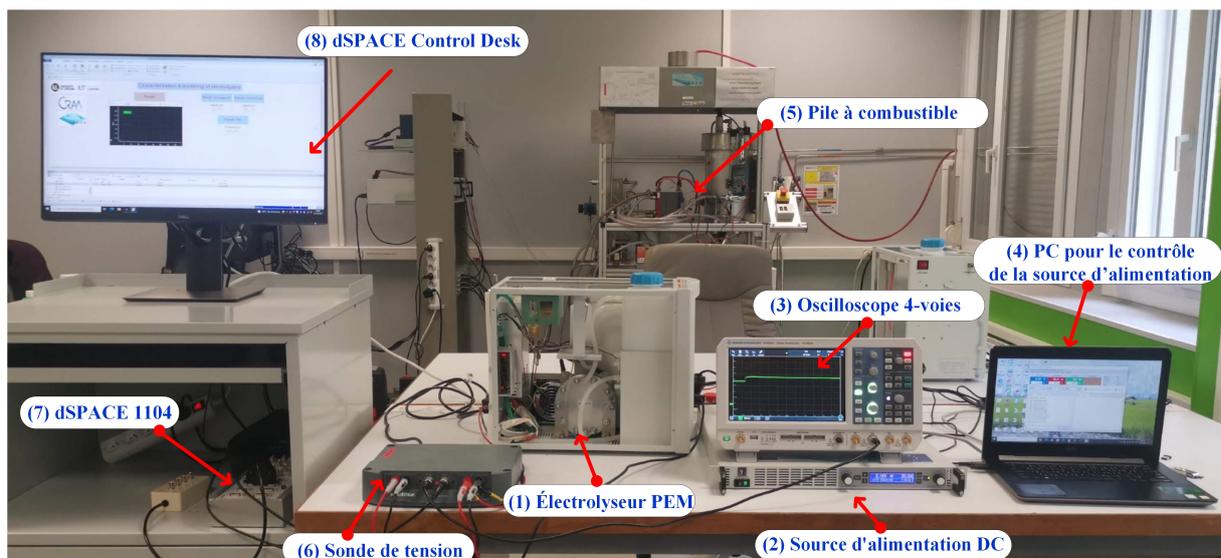


FIGURE 1 – Plateforme expérimentale H2-EnR

- 2) Couplage des électrolyseurs avec différentes sources d'énergie renouvelable : les performances de la station étant dépendantes de la source d'énergie électrique utilisée, une analyse du comportement des deux technologies en fonction des sources primaires d'électricité sera menée avec une recherche du point de fonctionnement optimal tenant compte de l'intermittence de la source d'électricité et de la demande.

- a) En simulation : validation numérique des modèles et analyse du comportement des technologies alcaline et PEM en fonction des sources d'énergie renouvelables.
- b) Recherche du point de fonctionnement optimal (rendement-production d'hydrogène).
- c) Détermination de critères à optimiser et synthèse de lois de commande.

### 3 Description de la plateforme expérimentale

Dans le cadre de cette action de recherche interdisciplinaire, une plateforme expérimentale, appelée H2-ENR, est en cours de développement et est dédiée à l'utilisation de l'hydrogène dans le cadre des énergies renouvelables et du stockage de l'énergie. Cette plateforme est actuellement utilisée pour caractériser et synthétiser des lois de commande pour deux technologies d'électrolyseurs, alcalins et PEM. Cette plateforme est composée des éléments suivants (voir figure 1) :

- un électrolyseur alcalin et un électrolyseur PEM avec des bouteilles de stockage pour l'hydrogène,
- une pile à combustible PEM,

- deux sources d'alimentation électrique et un transformateur d'isolation,
- des supercondensateurs,
- un module d'acquisition et de commande en temps réel,
- des oscilloscopes et des appareillages de mesure.

Des travaux traitant de la modélisation et de la commande d'un électrolyseur PEM qui ont été publiés dans [2] s'appuient sur cette plateforme.

### 4 Conclusions

Dans cet article, nous avons décrit une action de recherche interdisciplinaire sur l'utilisation de l'hydrogène dans le cadre des énergies renouvelables et du stockage de l'énergie et réunissant plusieurs équipes de recherche localisées à l'IUT de Longwy. Cette collaboration entre équipes de recherche a permis de développer une plateforme expérimentale.

### Références

- [1] H<sub>2</sub>-EnR. Utilisation de l'hydrogène dans le cadre des énergies renouvelables et du stockage de l'énergie. Plate-forme CRAN mutualisée avec le GREEN et l'IUT Henri Poincaré de Longwy. Université de Lorraine. [http://www.cran.univ-lorraine.fr/francais/plates\\_formes/29-hydrogene.php?codelangue=FR](http://www.cran.univ-lorraine.fr/francais/plates_formes/29-hydrogene.php?codelangue=FR) et <https://green.univ-lorraine.fr/fr/recherche/plateformes-techniques/hydrogene>.
- [2] R. Maamouri, D. Guilbert, M. Zasadzinski, and H. Rafaralahi. Proton exchange membrane water electrolysis : modeling for hydrogen flow rate control. *Int. J. of Hydrogen Energy*, 46 :7676–7700, 2021.

---

# Recyclage des déchets du BTP et développement de nouveaux matériaux en milieu insulaire

---

Hélène Caillet<sup>1</sup>

Edouard Lebon<sup>2</sup>

Laetitia Adelard<sup>3</sup>

helene.caillet@univ-reunion.fr edouard.lebon@univ-reunion.fr laetitia.adelard@univ-reunion.fr

<sup>1,3</sup> IUT de Saint-Pierre, Université de La Réunion  
Laboratoire PIMENT, EA 4518

<sup>2</sup> Laboratoire PIMENT, EA 4518

**Thèmes** – Environnement - Matériaux

**Résumé** – *La raréfaction des matières premières, la dépendance aux importations et la gestion des déchets sont des fléaux majeurs impactant grandement le secteur du BTP (bâtiment et travaux publics) dans les milieux insulaires. Face à ces problématiques, la valorisation des déchets du BTP par le réemploi (avec ou sans transformation) semble être une réponse adéquate et durable. Dans ce contexte, notre étude s'inscrit dans un projet plus large dont l'objectif principal est de développer une démarche technique et économique de la collecte à l'industrialisation de nouveaux matériaux issus du recyclage, à partir de matières issues de la déconstruction sélective. Nous présentons dans cet article, le projet RECYSUL (RECYclage des déchets de chantier du Bâtiment en milieu InSulaire), débuté en mai 2021. Le projet porte d'une part la conception de nouveaux matériaux de construction développés au niveau de La Réunion à partir de matériaux recyclés et d'autre part la réutilisation immédiate de matériaux issus de la démolition dans la phase de réhabilitation.*

**Mots-Clés** – Déchets BTP, matériaux recyclés, second-œuvre, insularité.

# 1 Introduction

## 1.1 Contexte du projet

La réhabilitation des bâtiments désigne un ensemble d'opérations effectuées en vue de rendre un site apte à un usage donné. Ces opérations impliquent des modifications complètes ou partielles de la structure du bâtiment et sont soumises à des contraintes de coût, mais également à des impératifs tels que la sobriété énergétique, et le respect des principes d'économie circulaire et de développement durable notamment via la gestion des déchets de démolition.

La loi sur la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) du 17 août 2015 visait à contribuer plus efficacement à la lutte contre le dérèglement climatique et à renforcer l'indépendance énergétique, tout en garantissant un accès à l'énergie à des coûts compétitifs. Plus spécifiquement dans le domaine du logement, de la construction et pour les territoires, elle portait les ambitions suivantes :

- Accélérer la rénovation énergétique des logements ;
- Réduire les émissions de gaz à effet de serre et la consommation énergétique du bâtiment ;
- Lutter contre la précarité énergétique des ménages ;
- Favoriser le recours aux énergies renouvelables et aux matériaux durables pour la construction ;
- Renforcer le rôle des collectivités locales pour mobiliser leurs territoires et réaffirmer le rôle de chef de file de la région dans le domaine de l'efficacité énergétique.

Parallèlement, la réglementation thermique nationale a évolué de 2012 à 2019 en fixant non seulement un niveau de consommation énergétique maximum par surface, mais également en imposant des impacts environnementaux (notamment sur les émissions de gaz à effets de serre).

D'après l'arrêté du 10 Avril 2020 relatif aux obligations d'actions de réduction de la consommation d'énergie finale des bâtiments à usage tertiaire, les consommations d'énergie finales devront être réduites de 40 % d'ici 2030, à 60 % d'ici 2050. Notamment par le développement des certificats d'économie d'énergie pour les bâtiments tertiaires pour les DROM-COM (Département et région d'outre-mer et Collectivité d'outre-mer).

Par conséquent, à La Réunion, de nombreuses constructions devront être réhabilitées pour répondre aux attentes réglementaires.

## 1.2 La gestion des déchets à La Réunion

Localement, la planification en matière de prévention et de gestion des déchets est traduite réglementairement par le Plan Régional de Prévention et de Gestion des Déchets

(PRPGD). Ce dernier suit les objectifs fixés par la directive 2008/98/CE, l'ordonnance n° 2010/1579 ainsi que la LTECV. L'objectif global visé est de protéger l'environnement et la santé humaine par la prévention des effets nocifs de la production et de la gestion des déchets. Cela se traduit, notamment par une hiérarchisation des moyens de gestion et de traitement des déchets : prévention, préparation à la réutilisation, recyclage, autre valorisation (valorisation énergétique) et élimination. Actuellement à La Réunion, les déchets du BTP sont principalement enfouis en ISDND (Installations de Stockage des Déchets Non Dangereux). Des filières de recyclage sont proposées pour les déchets de béton. Toutefois, l'utilisation de ces matériaux recyclés reste limitée sur le territoire réunionnais.

Par ailleurs, la LTECV, impose de « réduire de 50 % la quantité de déchets mis en décharge à l'horizon 2025 » et la valorisation de 70 % des déchets du BTP à horizon 2020. En 2017, La Réunion comptait 197 entreprises exerçant une activité dans le BTP. Cette activité a généré 2 384 072 tonnes de déchets (cf. Table 1), dont 57 % étaient revalorisés (cf. Table 2). On peut estimer à 1,6 Mt, la quantité de déchet ne transitant pas par des plateformes de traitement/gestion [1].

Une forte proportion n'est donc pas acheminée vers les filières réglementées, mais constitue des dépôts sauvages ou termine dans des installations illégales. Ce phénomène peut être imputé au prix du traitement de ces déchets pouvant atteindre 159 €/t pour les déchets non dangereux. Cette situation est comparable dans les autres DROM-COM, même si la typologie des déchets est variable.

Table 1 – tonnages de déchets de chantiers générés en 2017 à La Réunion

Type de déchets	Tonnage - hors démolition	Tonnage - démolition comprise
Déchets non dangereux	50 827	263 000
Déchets inertes	1 980 212	81 000
Déchets dangereux	2 033	7 000
Total	2 033 072	351 000

Table 2 – tonnages de déchets de chantiers valorisés en 2017 à La Réunion

Type de valorisation	Tonnage
Réemplois sur chantier	813 229
Valorisés par les installations	534 959

### 1.3 Objectifs du projet

L'objectif principal est de développer une démarche technico-économique de la collecte à l'industrialisation de nouveaux matériaux issus du recyclage, à partir de matières issues de la déconstruction sélective. Ce projet permettra notamment d'échanger et de transmettre de l'expérience à d'autres territoires ultramarins (Mayotte par exemple). En résumé les ambitions de ce projet sont les suivantes :

- Développer une économie circulaire en créant de nouvelles filières de recyclage, économiquement viables à l'échelle insulaire, pour les déchets du BTP ;
- Faciliter la démarche des projets d'écoconception en offrant aux maîtres d'œuvre le choix de produits durables et performants. Une étude de l'acceptabilité des matériaux recyclés produits à partir des déchets du BTP par la maîtrise d'œuvre et par les usagers sera réalisée ;
- Développer de nouveaux matériaux de construction performants et locaux en s'appuyant sur des travaux de recherche & développement ;
- Rendre concurrentiels et abordables les matériaux et matériels de constructions alternatifs (matériaux recyclés) ;
- Expérimenter l'utilisation de ces nouveaux matériaux sur des opérations pilotes dans un horizon de deux ans ;
- Développer la formation à différents niveaux (ouvrier, technicien, ingénieur) autour de la récupération, du conditionnement et du recyclage des matériaux ;
- Améliorer les conditions de vie de la population en créant des emplois pérennes pour des personnes éloignées du milieu de l'emploi, en créant de la richesse autour des déchets.

Le projet est articulé autour de trois axes :

- **Axe 1** : Ingénierie technique et économique de la déconstruction sélective ;
- **Axe 2** : **Développement de nouveaux matériaux de construction à partir des matières recyclées pour le second œuvre** ;
- **Axe 3** : Développement de la formation, des actions de sensibilisations, animation du projet.

## 2 Méthodologie de l'axe 2

L'axe recherche et développement aura pour principal objectif la réutilisation des matières produites au sein de l'entreprise porteuse du projet ou en tissant des liens avec d'autres opérateurs selon les principes de l'écologie industrielle.

Le volet R&D aura pour objectif le développement de

matériaux innovants issus des déchets du BTP. Ce volet se déroulera en plusieurs étapes :

- Estimation du flux de déchet, processus de fabrication existant pour les matériaux recyclés ainsi que les matériaux déjà existants ;
- Mise en place des protocoles expérimentaux de fabrication des nouveaux matériaux ;
- Développement de matériaux prototypes ;
- Analyses des performances des matériaux (acoustique, thermique, incendie et structurelle) à l'échelle du laboratoire ;
- Production des matériaux à petite échelle pour la mise en œuvre sur le chantier pilote ;
- Mise en place de protocoles techniques de mise en œuvre sur chantier.
- Analyse des impacts environnementaux sur les opérations de déconstruction/réhabilitation.

Les deux premières étapes citées sont actuellement en cours d'étude.

## 3 Premiers résultats

Une première identification des matériaux pouvant être recyclés a été effectuée. Les principales matières générées lors des opérations de réhabilitation sont le béton, la laine de verre et le plâtre.

La laine de verre et le plâtre peuvent être intégrés lors de l'élaboration de nouveaux matériaux de second-œuvre dont la fonction serait l'isolation.

## 4 Conclusions et perspectives

La difficulté de développer des matériaux innovants sur des territoires insulaires vient en partie de la rentabilité des procédés de fabrication si on applique directement les solutions de recyclage développées dans des territoires où les gisements sont plus importants (par exemple en Europe).

L'adaptation des filières de recyclage à des territoires insulaires constituera un enjeu important de ce projet ; et devra surmonter les difficultés liées au facteur d'échelle.

## 5 Remerciements

Nous remercions la société S2R, l'IUT de Saint-Pierre et le Laboratoire PIMENT de l'Université de La Réunion, partenaires de ce projet. Nous remercions également l'ADEME et S2R sont les financeurs du projet.

## Références

[1] Observatoire des déchets et matériaux recyclés du BTP, *Etude sur les volumes et les flux de déchets et matériaux recyclés du BTP définition du gisement des déchets générés par l'activité du bâtiment en 2017, 2020*

---

## **SIMUTEC : plateforme de modélisation et de simulation multisectorielle des effets systémiques des territoires urbains dans le cadre de leur transition écologique**

---

**Seghir Zerguini<sup>1,2</sup>**

seghir.zerguini@u-bordeaux.fr

**Simon Gorecki<sup>1,3</sup>**

simon.gorecki@u-bordeaux.fr

**Nathalie Gaussier<sup>2</sup>**

nathalie.gaussier@u-bordeaux.fr

<sup>1</sup> Département MLT, IUT de Bordeaux

<sup>2</sup> Université de Bordeaux, CNRS, BSE, UMR 6060, 33600 Pessac, France

<sup>3</sup> Université de Bordeaux, CNRS, IMS, UMR 5218, 33400 Talence, France

**Thèmes** – *Économie - Environnement - Informatique*

**Résumé** – *La plateforme de modélisation et de simulation SIMUTEC a pour objectif de rendre compte des effets intersectoriels et systémiques de différentes politiques publiques (transport, logement, aménagement, ...) sur le triptyque climat/air/énergie à l'échelle des territoires urbains. Cette plateforme fondée sur une approche multidisciplinaire (économie, géographie, urbanisme, environnement, ingénierie, informatique, ...) permettant ainsi d'intégrer la complexité du système urbain (ville) est conçue pour intervenir dans une démarche prospective d'aide à la décision et orienter la « trajectoire » des territoires urbains vers plus de durabilité et moins d'inégalités spatiales.*

**Mots-Clés** – *Localisation des ménages et des emplois, Mobilité et transport, Emissions de GES, Energie, Simulation agent.*

*Le projet SIMUTEC a bénéficié de soutiens financiers de la Région Nouvelle Aquitaine, de l'ADEME et de l'IUT de Bordeaux.*

## 1 Introduction

Afin de parvenir à limiter les émissions de gaz à effet de serre (GES) et atteindre les engagements internationaux de la France en matière de lutte contre le réchauffement climatique, le gouvernement français a mis en œuvre une série de plans (Stratégie bas-carbone, Programmation pluriannuelle de l'énergie...) et de lois comme l'adoption du Plan Climat-Air-Energie Territorial (PCAET). Par exemple, la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte impose à l'ensemble des territoires regroupant plus de 20 000 habitants d'adopter un PCAET au plus tard le 31 décembre 2018 et de le renouveler avec une fréquence de 6 ans. Les enjeux les plus importants de la transition énergétique se situent au niveau des territoires urbains qui participent à hauteur de 60 % à la production des émissions de GES.

Le projet SIMUTECH (SIMulation MULTisectorielle des effets systémiques pour l'accompagnement des collectivités territoriales dans leur Transition ECologique) déposé auprès de la Région Nouvelle Aquitaine dans le cadre de son appel à projets 2019, a pour but d'élaborer une plateforme de modélisation et de simulation visant à accompagner les collectivités territoriales dans la transition écologique de leurs territoires. Il s'agit d'aider les collectivités à prioriser leurs actions pour les articuler au mieux dans le cadre de politiques locales en faveur de la transition écologique et de leurs trajectoires de décarbonation.

## 2 Etat de l'art

On observe dans l'état de l'art plusieurs outils de simulation de l'interaction transport et occupation de l'espace désignés par l'acronyme LUTI (Land Use and Transport Interaction) [1]. Leurs objectifs ont principalement pour but d'étudier les interactions entre les transports et le développement urbain. En général, tous les modèles LUTI existants ont été développés du point de vue d'une seule discipline : urbanisme (URBANSIM [2]), économie (RELU-TRAN [3]), ingénierie (PIRANDELLO [4]), géographie (MOBISIM [5]), etc. Partant du constat de la complexité du phénomène urbain, nous avons choisi de travailler plutôt sur une approche multidisciplinaire (géographie, aménagement, urbanisme, économie, ingénierie) permettant de décrire les mécanismes du phénomène d'urbanisation. Tous ces mécanismes ont la particularité d'être liés à des phénomènes collectifs (populations, emplois, transports, économie, etc.). C'est pourquoi une des propositions de la plateforme SIMUTECH par rapport à l'état de l'art est d'utiliser le paradigme de la simulation à base d'agents.

## 3 Fondements et fonctionnement de SIMUTECH

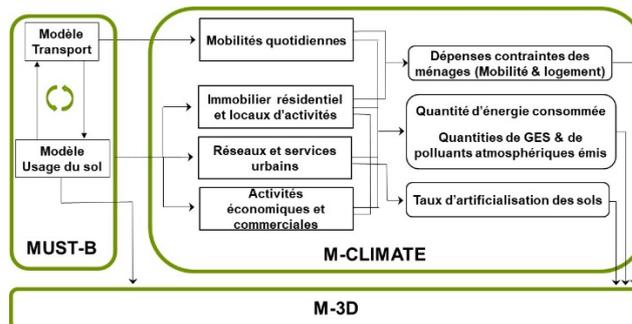


FIGURE 1 - ARCHITECTURE DE SIMUTECH

Comme on peut le voir sur la Figure 1, la plateforme SIMUTECH s'articule en plusieurs modules interdépendants:

- MUST-B modèle simulant l'interaction de la population au travers de ses choix résidentiels avec les choix de localisation des emplois, mais aussi les différents modes de transport pour satisfaire les mobilités quotidiennes [6]. L'interaction systémique entre les 2 modèles se fait selon cette boucle : le modèle Usage du sol utilise en « entrée » l'accessibilité des populations aux emplois (temps de trajets entre les zones) et détermine en « sortie » les relocalisations des ménages et des emplois qui sont injectées, à leur tour, dans le modèle Transport sous forme de matrices de flux de déplacements entre les zones. La modélisation de l'occupation du sol dans MUST-B est fondée sur une approche systémique à base d'agents permettant la prise en compte du comportement individuel des acteurs urbains : ménages, entreprises, promoteurs, aménageurs, politiques publiques, réglementations [7].
- M-CLIMATE, à partir des résultats d'une simulation d'un scénario par MUST-B, permet de déterminer les quantités d'énergie consommée, de polluants atmosphériques et de GES (gaz à effet de serre) émis par les différents secteurs caractérisant le métabolisme urbain comme les mobilités quotidiennes, l'habitat, les services/réseaux urbains et les activités économiques et commerciales. Ce module permet également l'estimation du taux d'artificialisation des sols (étalement urbain) et une évaluation spatialisée des dépenses contraintes des ménages (énergie, temps de transport, ...) selon leurs localisations, mais aussi tente de rendre compte, des inégalités

territoriales et fractures sociales qui peuvent être engendrées par le scénario.

- M-3D est une interface graphique (voir Figure 2) qui permet notamment aux décideurs et au grand public une visualisation spatiale 3D des résultats produits par MUST-B (formes urbaines, localisation des ménages et des emplois, flux des déplacements, inégalités territoriales/sociales, ...) et M-CLIMATE (énergie consommée, polluants, dépenses des ménages, ...).



FIGURE 2 - EXEMPLE DE SORTIE DE M-3D

Les mesures sectorielles et les scénarios prospectifs pouvant être modélisés, simulés et évalués par la plateforme SIMUTECH sont, à titre d'exemples :

Secteur de la mobilité et transport :

- Tarification des transports (péage urbain, stationnement, subvention/gratuité des TC, ...)
- Création de nouvelles infrastructures de transport structurantes (lignes de métro, tramway, BHNS, ...)
- Innovations technologiques et organisationnelles (autopartage, ...)

Secteur résidentiel et locaux d'activités :

- Rénovation énergétique du parc résidentiel existant
- Renouvellement urbain
- Augmentation de l'offre résidentielle (densification)
- Constructions de logements aidés et sociaux
- Réglementation de la construction
- Création de zones d'activités
- Plafonnement des loyers
- Interdiction du parc locatif des logements les plus énergivores

Autres secteurs :

- Renchérissement de l'énergie
- Accroissement de la population
- Création d'une trame verte
- Taxes et redevances

## 4 Conclusions

L'interdisciplinarité dans la conception et le développement de SIMUTECH est une caractéristique originale et déterminante où l'association de chercheurs pluridisciplinaires (économie, urbanisme, géographie, transport, informatique, ...) permet de prendre en compte les spécificités des différents secteurs (mobilité, logement/bâtiment, génie urbain, ...) en lien avec le métabolisme urbain.

La modélisation et la simulation basées sur les agents ont permis d'appréhender la complexité de la ville à partir des comportements individuels, mettant en lumière des phénomènes émergents difficilement accessibles par intuition ou par calcul analytique.

Des perspectives subsistent avec l'intégration de nouveaux enjeux sur les territoires urbains tels que les crises sanitaires de type COVID-19 au même titre que le défi de la transition écologique.

## Références

- [1] Wegener, M.: *Overview of land use transport models*. *J. Discrete Algorithms - JDA*. 5, (2004)
- [2] Hassan, M., Joo, Y., Jun, C.: *A Review of the Development and Application of UrbanSim Integrated Land-Use and Transportation Model*. *Int. J. Urban Sci.* 14, (2011). <https://doi.org/10.1080/12265934.2010.9693686>
- [3] Anas, A., Liu, Y.: *A Regional Economy, Land Use, and Transportation Model (RELU-TRAN©): Formulation, Algorithm Design, and Testing*. *J. Reg. Sci.* 47, 415-455 (2007). <https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2007.00515.x>
- [4] *PLateformes numériques INnovantes de Simulation Urbaines pour le Développement Durable*, <https://anr.fr/Project-ANR-08-VILL-0001>
- [5] Antoni, J.-P., Vuidel, G.: *MobiSim: un modèle multi-agents et multi-scalaire pour simuler les mobilités urbaines*. Presented at the January (2011)
- [6] Zeguini S, Gaussier N., 2020, *MUST-B : un modèle LUTI multidisciplinaire au service de la complexité du phénomène urbain*, *Canadian Journal of Regional Science*, Vol. 43, n°2, pp 50-59.
- [7] Gaussier, N., Zeguini, S., *MUST-B: a multi-agent LUTI model for systemic simulation of urban policies*. *Groupe de Recherche en Economie Théorique et Appliquée (GREThA)* (2019)

---

# Une nouvelle méthode de mesure de la conductivité thermique : application aux matériaux hétérogènes utilisés dans les piles thermiques

---

Thomas Ledevin<sup>1,2</sup> Léo Courty<sup>1</sup> Mame William-Louis<sup>1</sup> Dimitri Fabre<sup>2</sup> Luc Faget<sup>2</sup>  
[thomas.ledevin@etu.univ-orleans.fr](mailto:thomas.ledevin@etu.univ-orleans.fr) [leo.courty@univ-orleans.fr](mailto:leo.courty@univ-orleans.fr) [mame.william-louis@univ-orleans.fr](mailto:mame.william-louis@univ-orleans.fr)  
[d.fabre@asb-group.com](mailto:d.fabre@asb-group.com) [l.faget@asb-group.com](mailto:l.faget@asb-group.com)

<sup>1</sup> IUT de Bourges, Université d'Orléans  
Laboratoire PRISME, EA 4229

<sup>2</sup> ASB Aérospatiale Batteries  
Bourges

**Thèmes** – Énergie - Matériaux

**Résumé** – *Les piles thermiques sont des sources d'énergie électrique à forte densité de puissance utilisées dans l'industrie du spatial et de l'armement. La conductivité thermique des matériaux hétérogènes utilisés dans les piles thermiques est difficile à mesurer. Ces matériaux doivent être manipulés sous atmosphère contrôlée avec des méthodes adaptées à leur nature poreuse. La méthode présentée ici utilise des plateaux chauffants pour envoyer un signal de température sinusoïdal à l'échantillon. Le dispositif est placé dans une boîte à gants sous atmosphère et hygrométrie contrôlées. Une simulation numérique du dispositif faisant varier la conductivité thermique  $\lambda$  de l'échantillon et la résistance de contact  $h$  présente dans le dispositif permet de calculer les déphasages associés à deux épaisseurs d'échantillon. La mesure de ces deux déphasages permet l'identification du couple  $(\lambda, h)$  du matériau par comparaison avec les résultats de simulation. Cette méthode a été validée à différentes températures en utilisant le matériau de référence BK7. La conductivité thermique de plusieurs matériaux de pile thermique a été mesurée avec cette méthode, et un exemple sera présenté.*

**Mots-Clés** – Conductivité thermique – Matériaux poreux — Simulation numérique – Piles thermiques.

## 1 Introduction

Les piles thermiques sont des piles inertes à température ambiante utilisées dans le spatial et l'armement. Elles sont composées de plusieurs cellules électrochimiques entourées d'isolants contenus dans un boîtier métallique scellé hermétiquement sous atmosphère contrôlée. Une composition pyrotechnique est placée entre chaque cellule pour la faire fondre et activer la pile [1]. Les matériaux électrochimiques et pyrotechniques sont poreux, hétérogènes, anisotropes et doivent être manipulés sous atmosphère sèche et inerte. Ils sont fabriqués par compression de poudres métalliques et céramiques. La conductivité thermique est une grandeur permettant de caractériser la quantité de chaleur se propageant par conduction thermique. La connaissance de cette grandeur pour ces matériaux est cruciale pour modéliser le comportement des piles pendant leur activation et déterminer la durée de cette phase, qui est un critère de performance important.

Des méthodes de mesure de la conductivité thermique existent : le laser flash permet des mesures sans contacts entre l'échantillon et le dispositif expérimental qui pourraient perturber la mesure, mais la norme ASTM E1461-13 qui standardise son utilisation valide cette méthode seulement pour les matériaux homogènes. Le laboratoire SANDIA, qui travaille notamment sur les piles thermiques, a développé sa propre méthode de mesure «SITI» [2] basée sur le HOT-DISK pour prendre en compte les spécificités de ces matériaux. Cette méthode place l'échantillon en contact avec le dispositif. La nouvelle méthode présentée ici est aussi une méthode « de contact », qui utilise des résultats de simulation numérique pour minimiser l'erreur due aux contacts thermiques. Les résultats de validation sur le BK7 et une cathode de pile thermique sont présentés.

## 2 Méthodologie

### 2.1 Protocole expérimental

Le dispositif expérimental (voir figures 1 et 2) est placé dans une boîte à gants sous atmosphère d'argon à cause de la sensibilité des échantillons à l'humidité et à l'oxygène. L'échantillon prend la forme d'un disque de 45 mm de diamètre et est entouré de 2 feuillets de graphite pour améliorer la répétabilité des contacts et empêcher l'échantillon de réagir avec le cuivre. Deux disques de cuivre contenant chacun un thermocouple de type K entourent l'échantillon. Cet empilement est posé sur un disque d'isolant microporeux qui isole le thermocouple du bas du plateau chauffant. L'empilement est placé dans un support céramique pour faciliter sa manipulation et l'isoler thermiquement de l'extérieur. Il est ensuite disposé entre deux plateaux chauffants dans

une boîte à gants. L'empilement est soumis à une pression de 301 kPa pour le maintenir en position et minimiser les résistances de contacts en comprimant les composants du montage les uns contre les autres.

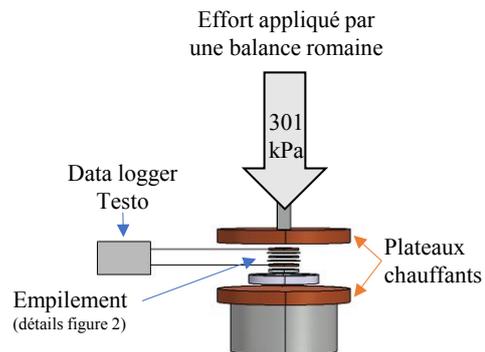


FIGURE 1: DISPOSITIF EXPERIMENTAL

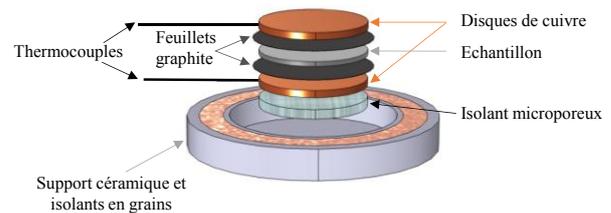


FIGURE 2: DETAIL DE L'EMPILEMENT

Le plateau du bas est maintenu à la température  $T_0$  pendant toute la durée de l'expérience. Le plateau du haut impose une température  $T_s$  qui varie selon la sinusoïde :

$$T_s = T_0 + 5 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot t / 1200)$$

de manière à avoir une sinusoïde d'une amplitude de 5 °C ayant une période de 1200 s. Cette consigne de température est maintenue pendant 12 périodes. Le déphasage entre les températures mesurées par les thermocouples permet de connaître les résistances de contact dans le montage et la conductivité thermique de l'échantillon.

### 2.2 Traitement des résultats

Le montage décrit précédemment est simulé grâce au logiciel de calculs éléments finis COMSOL. Différentes conductivités thermiques  $\lambda$  et résistances de contact  $h$  ont été simulées pour calculer le déphasage entre les signaux de températures mesurés dans les disques de cuivre. Chaque simulation donne un déphasage différent pour chaque couple ( $\lambda$ ,  $h$ ), ce qui permet d'associer une courbe à chaque couple (voir abaque figure 3). Deux épaisseurs d'échantillon sont nécessaires pour obtenir la conductivité. En faisant l'hypothèse que le contact thermique reste le même à chaque expérience, on recoupe les déphasages obtenus pour chacune des deux épaisseurs pour déduire la conductivité de l'échantillon. Un seul couple ( $\lambda$ ,  $h$ ) correspond aux déphasages mesurés pour les deux épaisseurs, ce qui donne la conductivité thermique du matériau testé et la résistance de contact entre l'échantillon et les feuillets de graphite (figure 4).

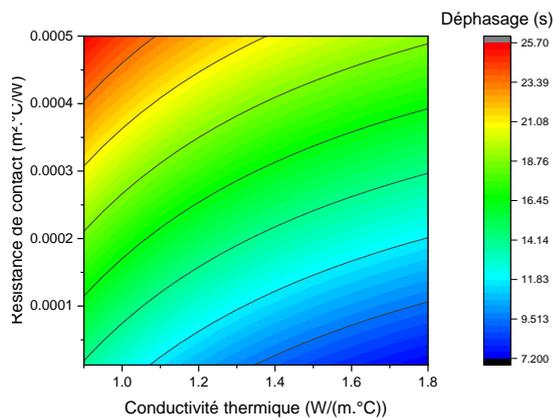


FIGURE 3: DEPHASAGE EN FONCTION DE LA CONDUCTIVITE THERMIQUE ET DE LA RESISTANCE DE CONTACT THERMIQUE – EXEMPLE D’UNE CATHODE DE 1 MM A 150 °C.

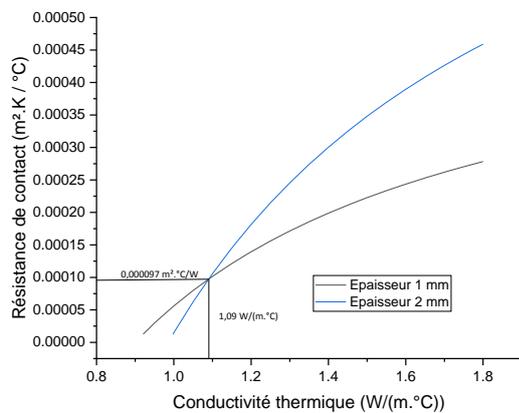


FIGURE 4: CROISEMENT DES RESULTATS DE DEUX EPAISSEURS D’ECHANTILLON POUR OBTENIR LA CONDUCTIVITE THERMIQUE

### 3 Résultats

La méthode a été validée sur le verre de référence BK7 en comparant avec les conductivités données par Antoniadis et al. [3]. Nos résultats sont similaires à ceux d’Antoniadis (3,1% de différence en moyenne, voir figure 5). Une régression linéaire de nos résultats en fonction de la température montre une pente très proche de la littérature (0,6 % de différence). Ces résultats valident notre méthode.

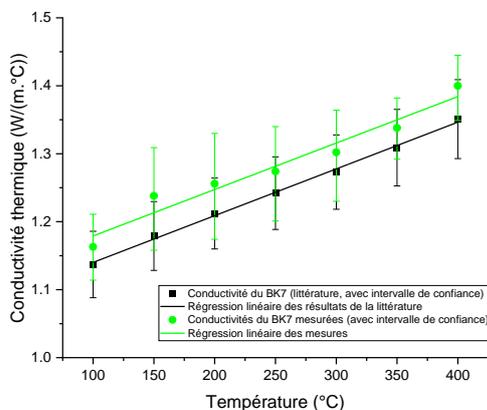


FIGURE 5: CONDUCTIVITE THERMIQUE DU VERRE BK7:

### MESURES ET VALEURS DE LA LITTERATURE

La conductivité d’une cathode de pile thermique à base de  $\text{FeS}_2$  a été mesurée entre 150 °C et 300 °C. La régression linéaire des résultats montre un  $R^2$  de 0,995 (figure 6) et les extrema mesurés donnent des barres d’erreurs de 4,8 % en moyenne : la répétabilité est jugée satisfaisante.

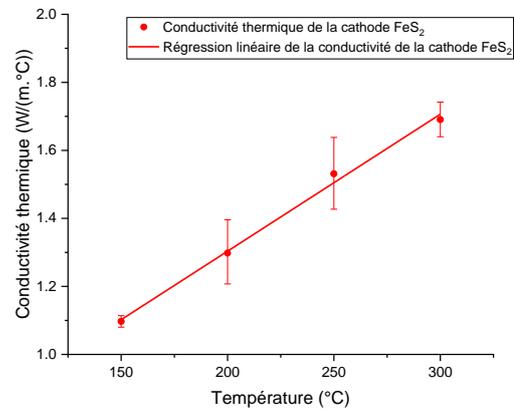


FIGURE 6: CONDUCTIVITE THERMIQUE DE LA CATHODE A BASE DE  $\text{FeS}_2$

### 4 Conclusions

La connaissance de la conductivité thermique des matériaux hétérogènes composant une pile thermique est essentielle pour modéliser l’activation d’une pile thermique. Une nouvelle méthode est présentée ici pour mesurer cette conductivité. Elle repose sur le déphasage d’un signal thermique sinusoïdal traversant le matériau que l’on mesure, et nécessite un logiciel de simulation pour le traitement des mesures. Cette méthode a été validée sur le matériau de référence BK7 et a déjà permis de caractériser plusieurs matériaux dont une cathode à base de  $\text{FeS}_2$ . À terme, l’objectif est de caractériser tous les matériaux hétérogènes utilisés en pile thermique pour modéliser précisément l’activation de ces piles et prévoir ce temps d’activation avant de la fabriquer.

### Remerciements

Les auteurs remercient l’ANRT (CIFRE N°2018/1675) et l’entreprise ASB Aérospatiale Batteries qui financent ce projet.

### Références

- [1] Lamb C M 2002, *Handbook of batteries*, 4e édition ed Linden D, Reddy T B (New York:McGraw-Hill Handbooks) chapitre 36, 36.1-36.20
- [2] Erikson W W, Cooper M A, Hobbs M I, Kaneshige M J, Oliver M S and Snedigar S 2014 *Int J. of Heat and Mass Transfer* 79 676-688
- [3] Antoniadis K D, Tyrou A, Assael M J, Li X, Wu J et Ebert H-S 2020 *Int. J. Thermophys.* 41 98

## Valorisation des Énergies Fatales en Zones Industrielles et Portuaires

**Anthony Roy<sup>1</sup>, Jean-Christophe Olivier<sup>1</sup>, François Auger<sup>1</sup>, Bruno Auvity<sup>2</sup>, Emmanuel Schaeffer<sup>3</sup>, Salvy Bourguet<sup>2</sup>, Jacques Perret<sup>4</sup>, Jonathan Schiebel<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> IUT de Saint Nazaire, IREENA, EA4642, 37 boulevard de l'université, BP406, 44602 Saint-Nazaire Cedex

<sup>2</sup> Polytech Nantes - LTEN, UMR CNRS 6607, La Chantrerie rue Christian Pauc BP 90604, 44306 Nantes Cedex 3

<sup>3</sup> IUT de La Roche Sur Yon, IREENA, EA4642, 37 boulevard de l'université, BP406, 44602 Saint-Nazaire Cedex

<sup>4</sup> MAN Energy Solutions France, Avenue de Chatonay – Porte 7, BP427, 44615 Saint-Nazaire

<sup>5</sup> AKAJOULE, La Station 18 Bd Paul Perrin, 44600 Saint-Nazaire

[Jean-christophe.olivier@univ-nantes.fr](mailto:Jean-christophe.olivier@univ-nantes.fr)

**Thèmes – Génie Électrique — Énergie — Environnement — Hydrogène**

**Résumé –** La transition énergétique en cours oblige à repenser les différents réseaux énergétiques (électricité, chaleur/froid ou gaz), historiquement pensés et dimensionnés de l'amont (production) vers l'aval (consommation). De nouveaux usages apparaissent, nécessitant l'émergence de vecteurs énergétiques tels que l'hydrogène. Il s'avère que les zones industrielles portuaires présentent un très fort potentiel dans le déploiement de ces nouveaux vecteurs, en particulier du fait de la conjonction des besoins croissants d'énergies alternatives dans le transport maritime et de la présence d'industries ayant un fort potentiel de valorisation d'énergies fatales ou renouvelables. La zone de Saint-Nazaire est un territoire particulièrement impacté par ces changements et souhaite donc à terme mettre en place des solutions de type Smart-Grid industrialo-portuaire, multi-énergies et multi-usages. Dans ce cadre, le projet ADEME Estuaire vise à chercher des scénarios de valorisation du potentiel de production des zones portuaires, qui soient économiquement viables et capables de répondre aux besoins potentiels, notamment en s'appuyant sur l'hydrogène comme futur vecteur énergétique pour la mobilité. Le travail présenté ici s'appuie sur des résultats d'études obtenus pour un industriel de la zone portuaire de Saint-Nazaire. Cette entreprise, qui fabrique des moteurs thermiques de très forte puissance (jusqu'à 26 MW), a un potentiel important de valorisation de l'énergie issue des essais moteurs. Nous avons ainsi proposé une architecture originale de valorisation de cette énergie fatale (essais moteurs complétée par une installation de panneaux photovoltaïques) sous différentes voies, voir Fig. 1, en intégrant les futurs usages en hydrogène, notamment pour les besoins de mobilité, mais aussi pour les différents industriels de la zone portuaire et l'injection directe dans le réseau de gaz. En recourant à une optimisation couplée dimensionnement-gestion, il a pu être montré l'opportunité que représente l'hydrogène comme vecteur de valorisation des énergies fatales sur un tel site industriel. Par ailleurs, l'utilisation de ces sources d'énergie fatale dans une opération d'autoconsommation collective, en tenant compte du cadre réglementaire et de la gouvernance, permet d'envisager une amélioration de la valorisation grâce à l'intégration de consommateurs supplémentaires.

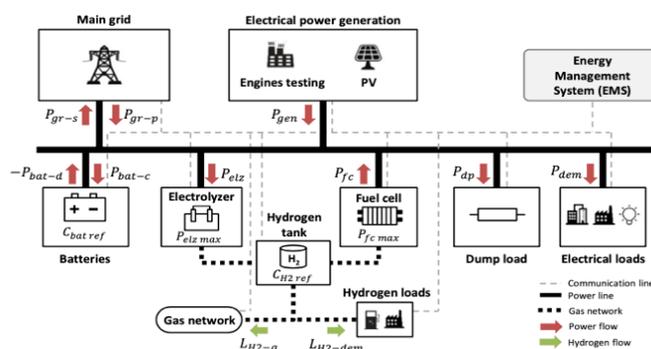


Figure 1 : Zone portuaire de Saint-Nazaire et architecture du micro-réseau envisagé pour l'entreprise MAN ES.

**Mots-Clés –** Autoconsommation collective, Smart-grid, réseau multi-énergies, optimisation technico économique, hydrogène.

## 1. Contexte scientifique

L'évaluation technico-économique d'une opération d'autoconsommation collective, dans le cadre d'une zone industrielle portuaire, nécessite d'étudier le fonctionnement du micro-réseau de chaque participant afin de pouvoir déterminer quels sont les échanges d'énergie possibles entre les participants (achat et vente d'électricité) [1,2]. Pour cela, il est nécessaire de disposer d'un modèle de simulation du fonctionnement du micro-réseau pour chacun des participants et de définir des lois de gestion de l'énergie adaptées. Quel que soit le participant, le micro-réseau individuel est caractérisé par :

- Un ensemble de composants interconnectés au sein de l'installation électrique, en aval du poste de livraison HT ou BT.
- Une tarification d'achat (et éventuellement de vente) d'électricité entre le participant et le fournisseur d'énergie.

Afin de disposer d'un outil de simulation modulable et utilisable pour n'importe quelle configuration de micro-réseau individuel, un modèle générique a été développé, en considérant l'ensemble des composants possibles liés à la production d'électricité, au stockage et aux usages (voir description ci-après). Ce modèle est ensuite utilisé pour la définition de règles de gestion de l'énergie régissant le fonctionnement de ce micro-réseau individuel, selon des critères d'optimisation. Les résultats obtenus par la simulation ce modèle sont ensuite utilisés pour aider au développement de solutions techniquement et économiquement viables. Les résultats obtenus montrent bien l'intérêt d'utiliser l'hydrogène comme vecteur de valorisation des énergies fatales intermittentes, en complément de l'autoconsommation.

## 2. Modélisation du micro-réseau

Le micro-réseau des participants à l'opération d'autoconsommation collective (ACC) peut être composé de plusieurs éléments liés à la production d'électricité et au stockage de l'énergie, ainsi qu'un ou plusieurs usages. Un schéma du micro-réseau possible, dans sa version la plus complète, est proposé sur la Figure 1 (droite).

Dans ce système, la production d'électricité peut provenir de panneaux solaires photovoltaïques et/ou des essais de groupes électrogènes (pour l'entreprise MAN ES). La puissance totale produite par ces deux sources est notée  $P_{gen}$  [W]. Cette production d'énergie électrique, qualifiée de fatale, peut être utilisée de différentes manières :

- Alimentation des consommations électriques du participant.
- Transformation en hydrogène [3] : une puissance est

injectée dans l'électrolyseur (dans la limite de sa puissance nominale). Cet électrolyseur produit de l'hydrogène pouvant être utilisé pour alimenter les besoins de mobilité et/ou les besoins industriels, caractérisés par un débit total [ $\text{Nm}^3/\text{h}$ ]. L'hydrogène produit peut aussi être injecté sur un réseau de gaz, selon un débit. Enfin, une transformation de l'hydrogène en électricité est possible grâce à une pile à combustible (PaC). L'hydrogène peut être stocké dans un réservoir d'hydrogène afin de permettre une utilisation ultérieure.

- Injection sur le réseau électrique (en amont du poste de livraison).
- Stockage dans des batteries.
- Dissipation du surplus dans un dissipateur (banc de charge résistif). Ce dissipateur est considéré pour le micro-réseau de l'entreprise MAN ES (écrêtage du surplus de puissance issue des essais moteur, dans le cas où toutes les autres voies de valorisation seraient pleinement utilisées).

## 3. Résultats d'optimisation

Pour l'optimisation de la gestion d'énergie, une formulation du problème par programmation linéaire MILP (*Mixed-Integer Linear Programming*) a été développée. Elle s'appuie sur une représentation vectorielle des séquences de chaque flux de puissance échangé entre différents organes. Sous l'hypothèse que toutes les données d'entrée sont connues, à savoir la puissance demandée par les charges électriques, l'énergie fatale produite par les groupes, l'ensoleillement et le coût d'achat et de vente des différents vecteurs d'énergie, il est possible de calculer les séquences optimales permettant de minimiser un critère technico-économique [4].

Un profil de fonctionnement et de répartition de l'énergie obtenus pour le participant 1 (MAN ES) est donné à la Figure 3. Les profils obtenus montrent une hiérarchisation des voies de valorisation possibles, selon la rentabilité de celles-ci et selon le niveau de production disponible :

1. Autoconsommation individuelle autant que possible, pour l'alimentation des consommations électriques (selon le participant : économie en heures pleines comprise entre 6.7 c€/kWh et 17.6 c€/kWh) ;
2. Production d'hydrogène, vendue pour les besoins locaux (15 c€/kWh, soit 5 €/kgH<sub>2</sub>) ;
3. Injection sur le réseau électrique, quel que soit l'acheteur (réseau principal : vente à 4 c€/kWh, vente à un participant de l'ACC : entre 4.2 c€/kWh et 9 c€/kWh en heures pleines, dépend du participant) ;
4. Charge des batteries pour alimentation des consommations électriques ultérieurement ;
5. Si surplus : injection dans un dissipateur.

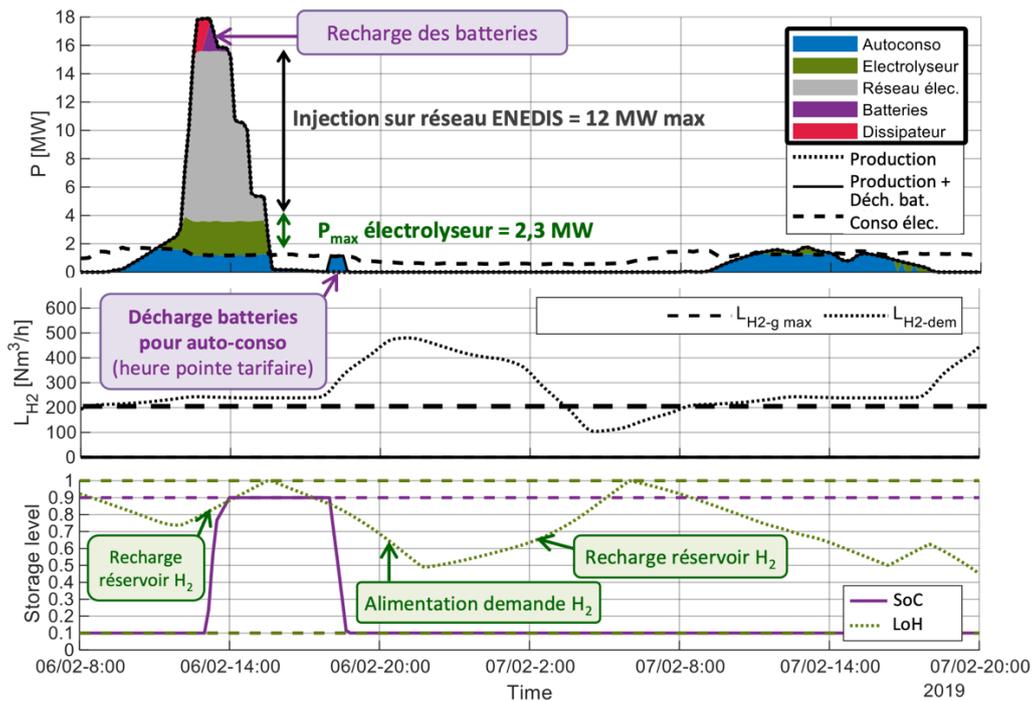


Figure 3 : Profil de fonctionnement optimisé pour le participant 1 (MAN ES avec production d'hydrogène).

Il a été possible d'étendre cette démarche d'optimisation de la gestion d'énergie d'un micro-réseau multi-énergies sur un horizon de temps de années, s'appuyant sur des données de mesures des charges de l'industriel MAN ES, de la ressource solaire et des différents essais moteurs avec leur profil de puissance. La Figure 4 montre la distribution des voies de valorisation de l'énergie fatale de MAN ES.

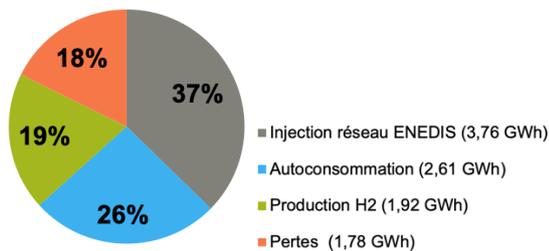


Figure 4 : Répartition de l'énergie fatale et renouvelable disponible (10 GWh/an).

On voit ici que le vecteur hydrogène représente presque 20 % de la valorisation des énergies fatales. Ce vecteur hydrogène permet en effet, du fait des contraintes réglementaires de limite d'injection réseau (3 MW réglementaire, qui peut être étendue à 12 MW par dérogation), de valoriser une part importante de l'excédent de production des essais moteurs, qui peuvent atteindre en puissance crête plus de 20 MW. Dans les solutions d'optimisation obtenues, il apparaît que la voie de valorisation Hydrogen-to-Power, par pile à combustible, n'est pas une solution économiquement viable (pas de pile à combustible dans les solutions optimales). Les coûts d'investissement sont trop élevés et les rendements de conversion trop faibles. Seul le stockage par batteries électrochimiques est à même d'offrir un complément économique viable, notamment pour chercher à augmenter la part d'autoconsommation.

## 6. Conclusion

Ce travail réalisé dans le cadre du projet ESTUAIRE, financé par l'ADEME et la région Pays de la Loire, vise à définir les possibilités de valorisation de l'énergie fatale produite au sein de zones industrielles en général, et de zones portuaires en particuliers. Les scénarios testés ont pu être intégrés à l'échelle d'une autoconsommation individuelle, puis collective (non présenté dans ce papier). Les voies de valorisation de l'énergie sont multiples, et concernent principalement l'autoconsommation, la production d'hydrogène et la revente au réseau. Les résultats obtenus montrent clairement l'intérêt de recourir au vecteur hydrogène pour améliorer la part d'autoconsommation énergétique, et ainsi réduire significativement le bilan énergétique et écologique de zones à très forte consommation. Ce travail a été étendu à des scénarios d'autoconsommation collective, où cette fois encore l'hydrogène tient une place importante dans le bilan d'autoconsommation, avec la possibilité d'améliorer les temps de retour sur investissement.

## Références

- [1] A. Roy, F. Auger, J.-C. Olivier, E. Schaeffer, B. Auvity. Design, Sizing, and Energy Management of Microgrids in Harbor Areas: A Review, *Energies*, 2020.
- [2] Ç. Iris, J.S.L. Lam. A review of energy efficiency in ports: Operational strategies, technologies and energy management systems. *Renewable Sustainable Energy Review*, 2019.
- [3] J. Kurtz, T. Bradley, E. Winkler, C. Gearhart. Predicting demand for hydrogen station fueling. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020.
- [4] A. Roy, J.-C. Olivier, F. Auger, B. Auvity, E. Schaeffer, S. Bourguet, J. Schiebel, J. Perret. A combined optimization of the sizing and the energy management of an industrial multi-energy microgrid: application to a harbor area, *Applied Energy*, 2021.

---

# Étude comparative entre deux sources d'allumage : Allumeur électrique et allumeur pyrotechnique

---

Chayma El gadha<sup>1</sup>

Stéphane Bernard<sup>1</sup>

Mame William-Louis<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IUT de Bourges, Université d'Orléans  
Laboratoire PRISME, EA 4229

**Thèmes** –Énergie

**Résumé** – *L'évaluation des risques liés aux poussières explosives combustibles est basée sur la détermination de la probabilité de dispersion des poussières, l'identification des sources d'inflammation potentielles et l'évaluation de la gravité de l'explosion. Elle est réalisée dans la plupart des cas avec les deux dispositifs expérimentaux principaux le tube de Hartmann (allumage par étincelle) et la bombe sphérique de 20L (avec les allumeurs pyrotechniques de 5 kJ). En raison des différents inconvénients des allumeurs pyrotechniques, plusieurs travaux cherchent à trouver des sources d'allumage alternatives. Cette étude se focalise sur la comparaison de deux sources d'allumage dans la sphère : les allumeurs électriques et les allumeurs pyrotechniques, afin d'évaluer la possibilité d'établir une correspondance entre les paramètres obtenus avec ces deux techniques d'allumage. La surpression maximale d'explosion  $P_{max}$  et l'indice de déflagration des poussières  $K_{st}$  ont été mesurés dans une large gamme de concentration permettant de chercher des corrélations entre les allumeurs pour une même poudre donnée.*

**Mots-Clés** – *Explosion de poussières, allumeur pyrotechnique, allumeur électrique.*

## 1 Introduction

Dans la dernière décennie, il y a eu plusieurs accidents majeurs dans des sites industriels causés par des explosions de poussières combustibles [1]. On désigne par poussière les petites particules solides qui se déposent sous l'effet de leur poids mais qui peuvent rester en suspension dans l'air pendant un certain temps [2]. Une explosion de poussières peut être définie comme étant une combustion rapide de matières inflammables organiques ou métalliques en suspension dans l'air, dans un milieu gazeux comburant et le plus souvent l'air. Dans le cadre d'une explosion de poussières, on parle « d'hexagone d'explosion de poussières » car six conditions doivent être réunies.

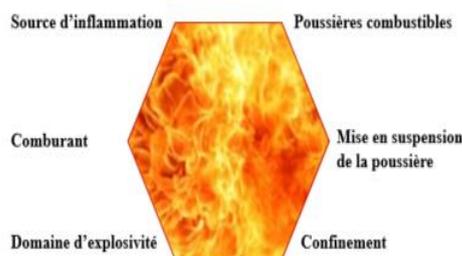


Figure 1- hexagone d'explosion

Tous les secteurs industriels qui utilisent des poudres combustibles (production, fabrication, stockage) sont soumis aux directives ATEX (Atmosphère Explosive). La réglementation n° 1999/92/CE du 16 décembre 1999, impose des mesures rigoureuses dans le but d'améliorer la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphère explosive. Elle a incité ces secteurs industriels à mener des travaux sur les poudres afin de déterminer les paramètres de sécurité relatifs à l'inflammation et à l'explosivité. Lorsque l'explosion de la poussière se produit dans un espace confiné, elle s'accompagne d'effets thermiques importants mais également d'effets mécaniques qui dépendent de la surpression induite par l'explosion  $P_{max}$  et de la vitesse d'augmentation de la pression  $K_{St}$ . Ces paramètres de sévérité ont été déterminés pour différentes poudres dans la sphère de 20L. Pour les essais d'explosion de poussières, on utilise principalement des allumeurs pyrotechniques d'une énergie de 1 kJ à 10kJ (EN 14034 ; ASTM1226).

Comme les allumeurs peuvent avoir une influence sur les résultats de l'essai, ils sont définis dans les normes. En raison de divers inconvénients des allumeurs pyrotechniques tels que l'apport d'énergie élevé par rapport à la plupart des sources d'allumage et des coûts élevés, l'axe Combustion-Explosion du laboratoire PRISME, situé sur le site de l'IUT de Bourges, a opté pour l'allumage électrique Bernard et al. [3]. Cette étude se focalise ainsi sur la comparaison entre ces deux types d'allumeurs. Le dispositif expérimental et la poudre

utilisée sont décrits dans la deuxième partie. La troisième partie est dédiée à la présentation des essais et de leurs résultats.

## 2 Dispositif expérimental et matériaux

Les explosions ont été réalisées dans une sphère de 20L développée au laboratoire PRISME (Bernard et al. [3]). La bombe sphérique permet d'avoir une approche sur la violence de l'explosion par la détermination de la pression maximale  $P_{max}$ , et la vitesse en montée de la pression  $(dp/dt)_{max}$ . La poudre d'aluminium utilisée dans le présent travail est une poudre d'aluminium commerciale de taille micronique (pureté >99,7%) fournie par la société M&C "Métaux & Chimie" et référencée AIF3915.

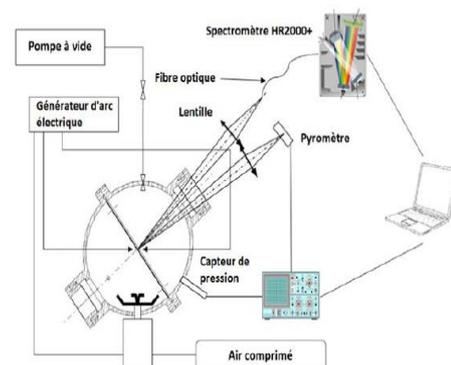


Figure 2- Bombe sphérique de 20L développée au laboratoire

Ce dispositif expérimental se compose d'une sphère en alliage d'acier, d'un réservoir de stockage de la poussière relié à la chambre par une électrovanne de sortie de la poussière. La poussière a été injectée au fond du réservoir avec l'injecteur dièdre du standard. Le signal d'explosion est mesuré par un capteur Kistler 701A et l'acquisition est réalisée par un oscilloscope numérique Keysight et enregistrée sur un ordinateur. Un spectromètre OceanOptics HR 2000+ est placé derrière sur une fibre optique.

Les tests avec les allumeurs pyrotechniques comme source d'allumage ont été réalisés en utilisant l'unité de contrôle standard de la sphère 20L. Pour les essais avec l'allumage électrique, un dispositif de générateur d'arc, fabriqué par le laboratoire lui-même selon les exigences de la norme, a été utilisé. Sa conception a été détaillée par Bernard et al. [3]. L'intensité et la tension de l'arc électrique sont fixées. Ainsi, l'énergie apportée au mélange est contrôlée par la durée de l'arc. Le générateur d'arc dispose, en plus, d'une sortie "trigger" (synchronisée sur le début du cycle à l'instant  $t_0$ ) qui permet de déclencher un appareil externe. La Figure 3 représente une photo de la face avant du générateur d'arc.

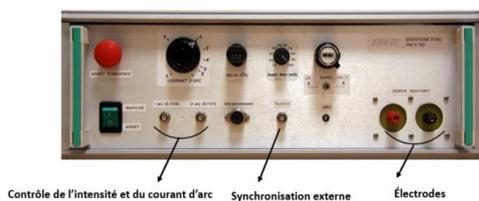


Figure 3- Présentation du générateur d'arc

### 3 Méthodes et résultats

Pour chaque condition expérimentale, au moins deux essais ont été effectués. La gravité de l'explosion a été déterminée en fonction de la pression maximale atteinte, qui reflète la libération d'énergie globale, et de l'indice de déflagration  $K_{st}$ , qui reflète la vitesse d'augmentation de la pression. La figure 4 et la figure 5 présentent les paramètres de sévérité d'explosion de l'aluminium.

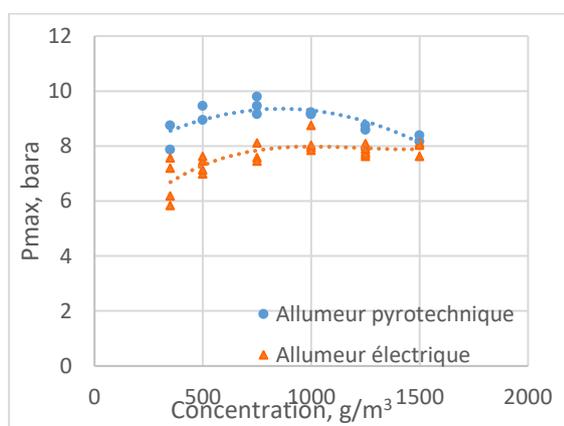


Figure 4- Evolution de la pression d'explosion de l'AlF3915 en fonction de la concentration

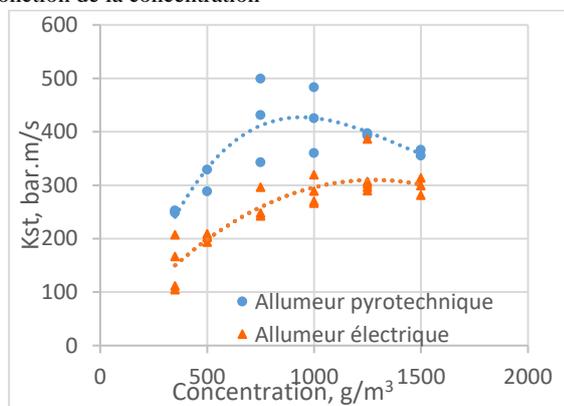


Figure 5- Evolution du  $K_{st}$  de l'AlF3915 en fonction de la concentration

Les deux courbes montrent une évolution comparable. La surpression maximale est de 9.8 bars atteinte à la concentration  $750\text{g/m}^3$  avec l'allumeur pyrotechnique alors qu'en utilisant l'allumeur électrique la surpression maximale est de 8.75 bars atteinte à  $1000\text{g/m}^3$ . Quant à l'indice de déflagration  $K_{st\text{ max}}$  est de  $386,6\text{ bar.m/s}$  atteint à une concentration de  $1250\text{g/m}^3$  pour l'allumeur électrique, le  $K_{st\text{ max}}$  est de  $500\text{ bar.m/s}$  atteint à  $750\text{g/m}^3$  pour l'allumeur pyrotechnique.

Les courbes ont été ajustées selon un polynôme d'ordre 3 et le  $K_{st}$  s'écrit de la manière suivante en fonction de la concentration  $C$  :

$$K_{st} = a_0 + a_1.C + a_2.C^2 + a_3.C^3$$

Table1- Coefficients d'ajustement

	$K_{st}$ , Allumeur électrique	$K_{st}$ , Allumeur pyrotechnique
$a_0$	2.068295	-1.307707 $10^2$
$a_1$	4,949636 $10^{-1}$	1.429021
$a_2$	-2,0900056 $10^{-4}$	-1.146972 $10^{-3}$
$a_3$	7.968969 $10^{-9}$	2.745672 $10^{-3}$

### 4 Discussion et conclusion

Dans ce travail, les paramètres de sévérité de l'aluminium ont été déterminés en utilisant les allumeurs pyrotechniques et les allumeurs électriques et une correspondance est désormais possible entre ces deux sources d'allumage sur une large gamme de concentration. Les résultats montrent que ces paramètres de sévérité sont plus élevés en utilisant l'allumeur pyrotechnique comparé à l'allumeur électrique. Ceci peut s'expliquer par l'utilisation d'une faible énergie d'allumage (étincelle électrique d'environ 66 J) comparé à l'allumeur pyrotechnique (5kJ) mais aussi par le fait que l'allumeur pyrotechnique est très loin de faire un allumage ponctuel contrairement à l'électrique. Ces résultats ne sont pas surprenant puisque l'allumeur pyrotechnique accélère aussi le taux de combustion donc le  $K_{st}$  du fait de la surpression initiale qu'il introduit lors de sa combustion. Concernant la surpression  $P_{max}$  Cela est dû en partie à la surpression fournie par l'allumeur (1,2 bar) juste avant le début de l'explosion. Aux fortes pressions l'écart est plus réduit du fait de la forte proportion d'imbrulés qui refroidi beaucoup le système et donc diminue la pression maximale d'explosion  $P_{max}$ .

### 5 Remerciements

Ce travail a été financé par le projet « *Chaire Industrielle AXCEME* » soutenu par l'ANR, en France.

### Références

- [1] G. Li, H.-X. Yang, C.-M. Yuan, R.K. Eckhoff, (2016), A catastrophic aluminium-alloy dust explosion in China, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 39, 121-130.
- [2] J.M. Petit. Les mélanges explosifs – partie 2 : Poussières combustibles. ED 944, INRS, 2006
- [3] S.Bernard, K. Lebecki, P. Gillard et al. (2010), Statistical method for the determination of the ignition energy of dust cloud-experimental validation, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 23, 404-411.

---

# Étude des technologies de l'hydrogène-énergie appliquées aux bâtiments à faible impact carbone

---

Mathieu Patin<sup>1</sup>

mathieu.patin@femto-st.fr

Sylvie Begot<sup>2</sup>

sylvie.begot@univ-fcomte.fr

Valérie Lepillier<sup>3</sup>

valerie.lepillier@univ-fcomte.fr

Frédéric Gustin<sup>4</sup>

frederic.gustin@univ-fcomte.fr

<sup>1</sup> Univ. Bourgogne Franche-Comté

Institut FEMTO-ST, CNRS, Département Énergie, UMR 6174

<sup>2</sup> Univ. Bourgogne Franche-Comté

Institut FEMTO-ST, CNRS, Département Énergie, UMR 6174

<sup>3</sup> IUT, Belfort-Montbéliard

Institut FEMTO-ST, CNRS, Département Énergie, UMR 6174

<sup>4</sup> Univ. Bourgogne Franche-Comté

Institut FEMTO-ST, CNRS, Département Énergie, UMR 6174

**Thèmes** – Énergie - Environnement

**Résumé** – *Le phénomène d'électrolyse de l'eau permet de produire, avec de l'électricité, de l'hydrogène pouvant ensuite être utilisé dans une pile à combustible pour produire de l'électricité ainsi que de la chaleur. Ce cycle de stockage d'énergie est intéressant pour stocker de l'électricité provenant de sources d'énergies renouvelables intermittentes et ainsi d'augmenter la proportion de la production pouvant être utilisée. L'étude présente se penche sur le potentiel de l'hydrogène-énergie pour réduire les émissions de gaz à effets de serre associés à la consommation électrique et thermique de bâtiments résidentiels. L'objectif est de développer l'optimisation des composants et de l'architecture de ces systèmes. Cet article décrit les premiers modules de simulations qui seront nécessaires à l'étude globale et notamment la simulation de la charge électrique et thermique de bâtiments suivant les nouvelles normes de construction RE2020 et pouvant prendre en compte les évolutions futures du secteur (augmentation de la charge de climatisation, recharge de voiture électrique, autres nouveaux usages...).*

**Mots-Clés** – Hydrogène-énergie, résidentiel, énergies renouvelables, modélisation énergétique

## 1 Introduction

Les risques associés au dérèglement climatique et aux réchauffements globaux sont de mieux en mieux connus et quantifiés. Sous les pressions progressives des acteurs du milieu, ces enjeux climatiques prennent une place de plus en plus importante dans les politiques d'avenir.

En France, le bâtiment représente le premier poste de consommation d'énergie avec environ 45% de la consommation française finale, dont 65% pour le résidentiel et 35% pour le tertiaire (commerce, administration...) [1], ce qui se transcrit en 18% des émissions nationales de gaz à effets de serre [2].

La réponse française aux enjeux climatiques passe donc nécessairement par une réduction dans ce secteur, grâce à la fois à une diminution de la consommation et à une réduction de l'utilisation de source d'énergie fortement carbonée comme le gaz naturel.

De nombreuses solutions sont explorées dans ce but. Le travail présenté ici étudie les solutions utilisant l'électrolyse de l'eau pour rentabiliser l'électricité produite en surplus par des panneaux solaires photovoltaïques (PV). Le cycle utilisé est le suivant : un électrolyseur produit de l'hydrogène (un gaz inflammable) lorsqu'un surplus d'électricité est produit (journée, été), l'hydrogène est ensuite stocké pour être réutilisé dans une pile à combustible produisant ainsi de l'électricité et également de la chaleur pour les périodes de sous-production (nuit, hiver). Les bâtiments consommant à la fois de l'électricité et de la chaleur se prêtent ainsi bien à l'utilisation de l'hydrogène énergie.

Bien connaître les valeurs des pics de consommation et la diversité des moments de leurs occurrences est extrêmement important. En effet, ces pointes poseront des contraintes sur le dimensionnement du système et selon leurs moments d'occurrence (jour, soirée, nuit) détermineront les systèmes à favoriser. Une grande consommation en journée demandera des surfaces de panneau solaire photovoltaïque plus importantes alors qu'une consommation importante en soirée et la nuit demandera une plus grande capacité de stockage (hydrogène).

Nous présentons ici les premiers résultats de l'étude liés à la simulation de consommation du bâtiment ainsi qu'aux apports thermiques de leurs occupants.

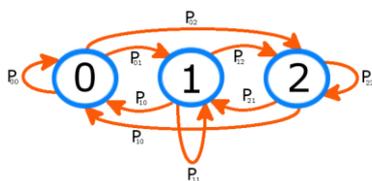


Figure 1 – Chaîne de Markov régissant le nombre d'habitants actifs

## 2 Revue de littérature

Les éléments principaux d'un système de ce type sont : l'appareil produisant de l'hydrogène à partir d'électricité et l'appareil produisant de l'électricité à partir d'hydrogène, respectivement l'électrolyseur et la pile à combustible. Notre étude cherche à optimiser les éléments du système (pile, électrolyseur, PV, réservoir d'hydrogène ...) pour répondre au mieux à des charges électriques et thermiques résidentielles.

Avant de commencer l'optimisation, le cahier des charges auquel va devoir répondre le système doit être bien défini, ici il correspond à la demande d'électricité et de chaleur. Pour cela, un modèle de simulation de charge a été recherché dans la littérature et le modèle développé par le Centre for Renewable Energy Systems Technology (CREST) a été choisi [3]. Ce modèle se base sur le principe mathématique des chaînes de Markov.

Une chaîne de Markov est un processus stochastique régissant les variations d'un paramètre entre plusieurs valeurs discrètes. La probabilité P de passer d'une valeur à une autre dépend uniquement de la valeur du paramètre au pas de temps précédent. Les variations du paramètre étudié sont ainsi régies par un nombre de probabilités égal au nombre de valeurs possibles au carré, ces probabilités sont réunies dans une matrice de transitions. Le comportement des habitants étant fortement dépendant de l'heure une matrice de transition différente pour chaque tranche de 10 minutes est utilisée. La Figure 1 illustre les 9 probabilités de la matrice de transition régissant la variation du nombre d'habitants actifs à un instant donné (pour 2 habitants).

Les matrices de transition pour chaque pas de temps sont paramétrées à l'aide de données issues d'études comportementales et sont utilisées pour produire des schémas de comportement (occupation de l'habitation, utilisation des appareils ménagers...).

Ces schémas sont ensuite transformés en demande thermique et électrique grâce aux caractéristiques des appareils ménagers, du système de chauffage/climatisation, de la météo, etc.

## 3 Premiers résultats

### 3.1 Modèle d'occupation

La base du modèle du CREST présenté ci-dessus est un schéma d'occupation qui permet d'identifier sur quelles périodes les habitants sont présents dans l'habitation et quand ils sont actifs. Ce schéma créé statistiquement permet par la suite de déterminer les besoins électriques et thermiques.

Sur la Figure 3, on peut observer une simulation

utilisant les schémas d'occupation créée stochastiquement pour estimer le gain thermique associé aux métabolismes des 40 occupants d'un immeuble sur une journée. Cette figure est créée en associant un gain thermique de 0 lorsque l'habitant est absent, 84 W lorsqu'il dort dans l'habitation et 147 W lorsqu'il est présent et actif. On y observe bien la diversité des comportements des habitants (heure de coucher, temps de sommeil, période d'absence en journée) ainsi que les tendances générales classiques (petit pic d'activité en matinée, creux dans la journée et grand pic en soirée). La différence de comportement entre la semaine et le week-end est également illustrée avec un nombre d'absences plus important le week-end.

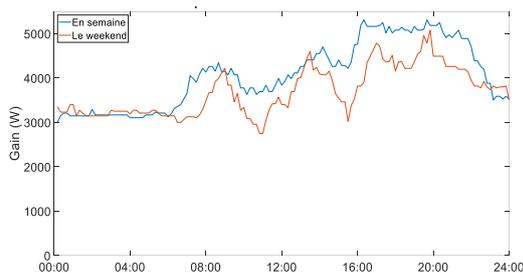


Figure 3 – Gain thermique dû aux 40 habitants d'un immeuble

### 3.2 Modèle électrique (hors chauffage)

La partie électrique du modèle du CREST se base sur ce schéma d'occupation pour obtenir des courbes de charge d'habitation en fonction du jour (semaine ou week-end), du nombre d'habitants, des données climatiques (température, irradiance...) et de la liste des appareils électriques présents dans l'habitation.

Au niveau d'une seule habitation, la charge est fortement influencée par l'activation d'un ou deux appareils très consommateurs. Ainsi la forme de la courbe de charge et les pics de consommation varient fortement d'un cas à l'autre selon le comportement des occupants.

Pour observer si les pics de demande sont répartis de manière cohérente sur la journée, il faut agréger les résultats d'un grand nombre d'habitations. La Figure 4 représente l'agrégation des courbes de charge de 100 habitations, l'équivalent d'un petit quartier. Cette courbe comporte des tendances similaires à une courbe de charge résidentielle typique (Figure 5).

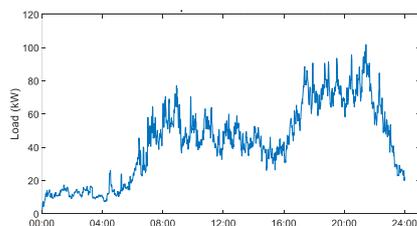


Figure 4 – Demande de puissance totale pour 100 habitations

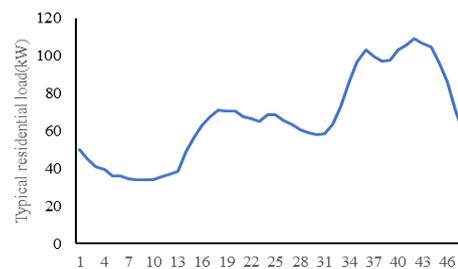


Figure 5 – Courbe de charge résidentiel typique [4]

## 4 Conclusions

Cette étude a pour objectif l'étude et l'optimisation des systèmes utilisant l'hydrogène-énergie pour réduire les émissions de gaz à effet de serre associé au secteur résidentiel. Pour cela, elle se base sur le modèle de bâtiment développé par le CREST [3] pour simuler précisément et dynamiquement la charge associée à la demande électrique et thermique à laquelle devra répondre le système.

Une fois le modèle complètement réimplémenté et reparamétré pour notre étude (localisation en France, norme de construction RE2020, appareils électriques récents...), le modèle sera modifié pour, dans un premier temps, prendre en compte les systèmes à hydrogène (pile, électrolyseur, réservoir, électronique de puissance) et la gestion de l'énergie (période de stockage, sources à utiliser selon les conditions...), puis pour permettre son utilisation dans un travail d'optimisation (gestion de l'aléatoire, dimensionnement des systèmes solaires et du stockage d'hydrogène, réduction des temps de calcul...).

## 5 Remerciements

Les auteurs souhaitent exprimer leur gratitude à l'EIPHI Graduate School (contrat ANR-17-EURE-0002) et à la région Bourgogne-Franche-Comté.

## Références

- [1] ADEME, *Expertises – Bâtiment*, 2018
- [2] Citepa, *Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France*, Format Secten©, 2021
- [3] McKenna Eoghan, Thomson Murray, *High-resolution stochastic integrated thermal–electrical domestic demand model*, Applied Energy, Vol. 165 p. 445-461, 2016
- [4] Fei Yunzhi, He Yongxiu, Chen Fenkai, You Peipei, Zhai Hanbing. *Optimal Planning and Design for Sightseeing Offshore Island Microgrids*, E3S Web of Conferences, 118. 02044, 2019

# ADEexplorer : logiciel de consultation et d'analyse d'emplois du temps

---

Vincent Raspal<sup>1</sup>

vincent.raspal@uca.fr

<sup>1</sup> IUT, Université Clermont Auvergne,  
5 avenue Blaise Pascal  
TSA 90 110  
63178 Aubière Cedex

**THÈMES** – *Informatique, gestion*

**RÉSUMÉ** – *Le logiciel ADEexplorer, écrit en python 3, est né des difficultés rencontrées par son auteur dans l'usage récurrent et poussé de l'outil d'affichage des emplois du temps, fourni par ADEcampus (de l'entreprise ADEsoft) et mis à disposition par l'université dans son ENT. ADEexplorer a été pensé pour être adaptable à divers usages et pour diverses composantes de l'université. Ses atouts sont principalement l'affichage sous forme graphique ou sous forme de liste des agendas, la possibilité offerte à l'utilisateur de créer sa propre arborescence de ressources (collègues, groupes d'étudiants et salles), la possibilité de rechercher des créneaux libres pour plusieurs ressources (utiles pour placer des séances) et surtout la recherche d'événements particuliers par application de nombreux filtres sans oublier l'export de données aux formats ods et xls. ADEexplorer fournit également un comptage des séances et du temps total cumulé pour un ou plusieurs agendas. L'utilisateur peut définir les périodes de travail (année universitaire et semestres), les périodes de vacances, les jours de la semaine et leurs horaires travaillés et affichés mais aussi la politique de téléchargement des agendas (le travail hors-ligne est possible). ADEexplorer est disponible au téléchargement sous la forme de code source ou de binaires exécutables pour GNU/Linux et MS Windows. Le code source est disponible sur gitlab (<https://gitlab.com/zigma12/ADEexplorer>) sous la licence GPL version 3.*

**MOTS-CLÉS** – *ADE, emploi du temps, interface graphique, ergonomie*

## 1 Introduction

L'entreprise ADESOFT propose une série logicielle permettant la gestion des ressources et des plannings dans diverses entités telles que l'entreprise, la maintenance, la défense et enfin l'enseignement supérieur avec ADECAMPUS. D'après le site d'ADESOFT, plus de 50 universités et 250 grandes écoles utilisent ADE Campus.

Allons droit au but : ADECAMPUS propose à l'utilisateur une interface de consultation des emplois du temps très peu conviviale et dont l'ergonomie est loin des exigences web actuelles. S'il souhaite consulter, comparer ou croiser divers plannings, l'utilisateur doit explorer l'arborescence généralement très étoffée des ressources de toute l'université à laquelle il appartient. Les déconnexions sont également fréquentes. L'utilisateur n'a pas la possibilité de créer sa propre arborescence, bâtie à partir de ressources favorites utilisées quotidiennement (collègues, groupes, salles ou matériels).

ADEexplorer est un logiciel libre, disponible gratuitement au téléchargement pour les plateformes Windows et Linux. Sa raison d'être est de faciliter la vie des enseignants dans la consultation et l'analyse des emplois du temps (le sien et ceux des collègues, groupes d'étudiants et salles).



## 2 Présentation de l'interface graphique d'ADEexplorer

La Figure 1 présente l'interface graphique d'ADEexplorer. Elle se compose :

- d'un panneau central affichant les emplois du temps (sous forme graphique, de liste ou de statistiques) ;
- une barre de menu (Fichier, Édition, ... ) ;
- d'une barre d'outil supérieure permettant de sélectionner le mode d'affichage et la vue ;
- un panneau à gauche contenant des arborescences de ressources (intervenants, groupes, salles, matériels, etc.) ;
- un panneau à droite contenant les filtres ;
- une barre d'état (en bas) contenant des données numériques sur les emplois du temps affichés.

## 3 Les différentes vues

### 3.1 Vue graphique

Elle reprend le principe d'affichage d'ADE en ligne. Chaque ressource correspond à une colonne au sein d'un jour. Une seule semaine est affichée à la fois. Chaque semaine est placée dans un onglet. L'étiquette de l'onglet fait apparaître le numéro de semaine et le nombre d'événements qu'elle contient. Les événements sont représentés par des boutons sur lesquels l'utilisateur peut cliquer pour afficher plus de détails et accéder à des actions plus poussées.

### 3.2 Vue en liste

Elle reprend le principe du tableur. Chaque événement est représenté par une ligne. Les détails de l'événement sont découpés en différentes colonnes. Les colonnes peuvent être triées, des lignes colorées selon leur contenu, tout le tableau ou une partie au choix peuvent être exportés aux formats ods ou xlsx.

### 3.3 Vue statistiques

Cette vue donne une représentation en camembert de la répartition des événements d'un agenda selon divers critères (nom, module, SAÉ, ressource, durée, jour de la semaine, mois de l'année, ...)

## 4 Les différents modes d'affichage

### 4.1 Mode simple

L'affichage simple permet d'afficher un ou plusieurs emplois du temps sans traitement particulier. Les événements communs aux différentes ressources sont fusionnés automatiquement.

### 4.2 Mode créneaux libres

Ce mode permet de rechercher et d'afficher les créneaux horaires sur lesquels toutes les ressources sélectionnées sont libres simultanément. Ceci s'avère très pratique lorsque l'on souhaite déplacer une séance. Par exemple rechercher une liberté commune à un enseignant, un groupe d'étudiants et une salle.

### 4.3 Mode séances communes

Ce mode permet de n'afficher que les séances auxquelles participent toutes les ressources sélectionnées. Cela peut être utile à un enseignant pour visualiser rapidement quels enseignement il/elle fait à un groupe tout au long d'un semestre ou d'une année.

## 5 Les filtres

Le filtrage (panneau latéral de droite) constitue certainement l'outil le plus puissant et intéressant d'ADEexplorer. Combiné aux différentes vues et aux différents modes d'affichage présentés précédemment, il permet de rechercher et sélectionner des événements particuliers.

### 5.1 Période calendaire

Lorsqu'ADEexplorer télécharge un agenda depuis le serveur d'ADE, il le fait pour l'année universitaire complète. Toutefois, il est rare qu'on s'intéresse à la totalité de cette période. On peut choisir de limiter l'affichage à celui d'un semestre (1 ou 2) complet, à la fin de la période en cours (aujourd'hui jusqu'à la fin du semestre en cours) ou encore à une période particulière définie par l'utilisateur.

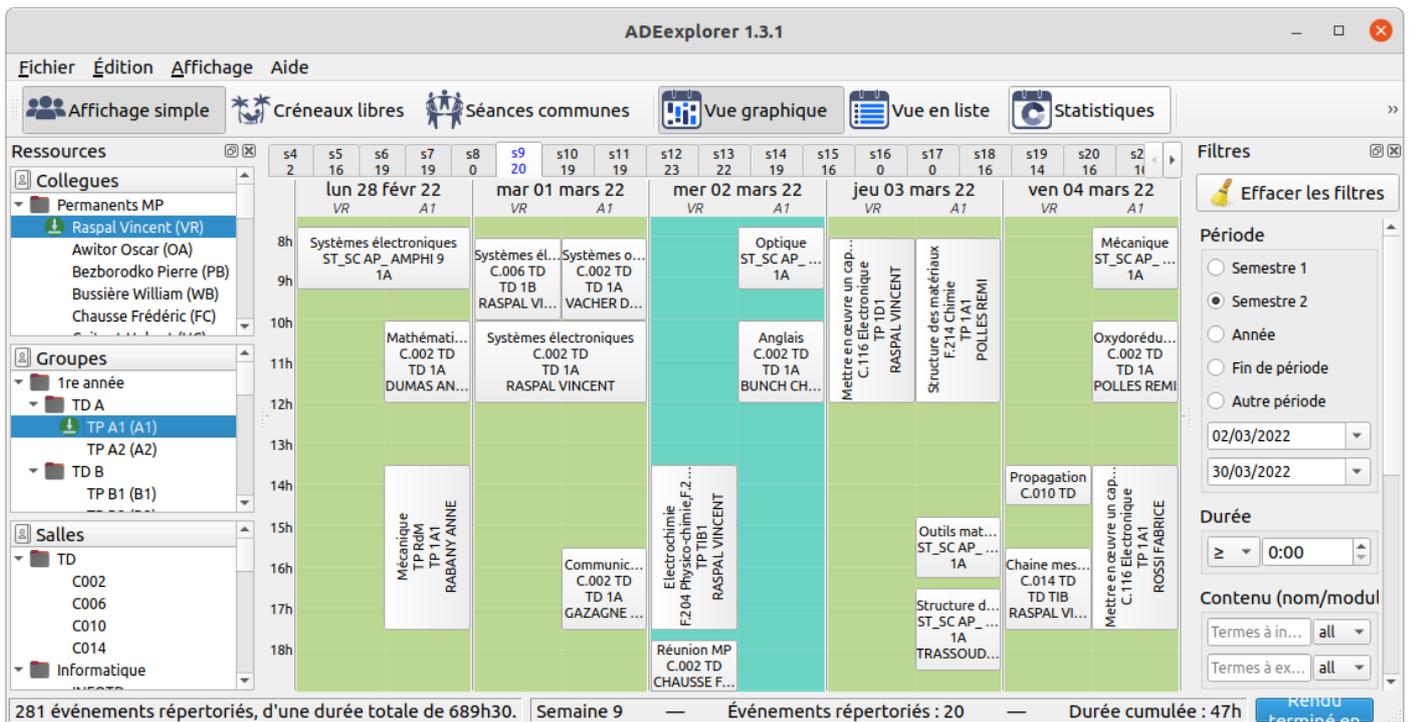


FIGURE 1 – Interface graphique d’ADEexplorer (mode d’affichage *simple* et vue *graphique*).

## 5.2 Durée

Ce filtre permet de ne conserver que les événements dont la durée répond au critère défini par l'utilisateur ( $<$ ,  $\leq$ ,  $=$ ,  $\geq$ ,  $>$ ). Par exemple, lors de la recherche d'un créneau libre, on peut limiter les résultats à une durée minimum.

## 5.3 Contenu, participants et lieu

Ces trois filtres fonctionnent de façon identique mais s'adressent à trois attributs différents du même nom. Ils peuvent être combinés. Chaque filtre est composé de deux lignes :

- une ligne pour les termes à inclure : *filtre inclusif*
- une ligne pour les termes à exclure : *filtre exclusif*

Chaque ligne comporte deux champs.

- Une zone de texte dans laquelle l'utilisateur entre un ou plusieurs termes séparés par des espaces.
- Un quantificateur : *all* ou *any*.

Si le quantificateur est *all*, tous les termes entrés par l'utilisateur doivent être présents simultanément dans un événement pour activer le filtre (inclusif ou exclusif). Si le quantificateur est *any*, au moins un des termes entrés par l'utilisateur doit être présent dans un événement pour activer le filtre (inclusif ou exclusif). Pour rester affiché, un événement doit avoir activé le critère inclusif et ne pas avoir activé le critère exclusif.

## 5.4 Jour de la semaine

Ce filtre consiste en 7 cases à cocher, une par jour. En décochant une case, les événements dudit jour de la semaine sont exclus.

## 6 L'arborescence des ressources

L'arborescence d'ADEexplorer est totalement personnalisable. L'utilisateur n'y fera apparaître que celles qui l'intéressent. Elle est stockée dans un fichier *.csv*. Elle est structurée de la manière suivante.

1. Les **catégories** : par exemple *Collègues*, *Groupes*, *Salles* (cf. Figure1).
2. Les **conteneurs** qui sont dédiés à regrouper des ressources. Exemple un groupe TD peut contenir 2 ressources qui sont des groupes TP.
3. Les **ressources** ou qui sont caractérisées par leur identifiant numérique qui permet à ADEexplorer de télécharger un agenda.

## 7 Conclusion

Le logiciel libre ADEexplorer simplifie la vie au quotidien de l'enseignant d'IUT, fréquemment obligé de consulter et d'ajuster les emplois du temps de ses groupes pour maintenir la cohérence pédagogique. Il est actuellement utilisé à l'IUT de Clermont et l'IUT du Creusot.

## Analyse statistique pilotée par la QoE sur des données encéphalographiques

---

Joshua Bègue<sup>1</sup> Mohamed-Aymen Labiod<sup>2</sup> Abdelhamid Mellouk<sup>3</sup>

joshuabegue@gmail.com mohamed-aymen.labioud@u-pec.fr mellouk@u-pec.fr

<sup>1,2,3</sup> IUT de Créteil-Vitry, Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne (UPEC),  
LISSI - EA 3956, TincNET (CIR), France.

**THÈMES** – *Informatique - technologie dans la santé - traitement de l'information*

**RÉSUMÉ** – *Dans cet article, l'étude porte sur les données collectées au travers de dispositifs comme l'électroencéphalogramme afin de mesurer efficacement le retour d'une Qualité d'Expérience (QoE) non contrôlée (niveaux d'attention) dans le cadre d'applications de visionnage à distance. Nous présentons ici la manière générale de caractériser l'attention à travers les signaux électroencéphalographiques (EEG), en couvrant les caractéristiques extraites, et leur corrélation avec le niveau d'attention subjectif. Concernant les caractéristiques importantes et leur extraction, une grande variété est observable dans la littérature. En effet, il existe de nombreuses techniques dans le traitement des signaux, applicables aux signaux EEG. Ces caractéristiques comprennent : la puissance/énergie spectrale, les caractéristiques liées à l'entropie, les dimensions fractales, et bien d'autres encore. Au travers de notre étude, des résultats encourageants ont pu être observés, utilisant la transformation de Hilbert-Huang (HHT) ainsi que l'observation d'une corrélation entre ces caractéristiques des signaux EEG et le niveau attentionnel.*

**MOTS-CLÉS** – *Électroencéphalogramme (EEG), traitement du signal, analyse statistique*

## 1 Introduction

Récemment, des outils de détection du niveau attentionnel ont vu le jour, entre autres ceux basés sur l'électroencéphalographie [1], [2], entre beaucoup d'autres. Ainsi, en observant quelques caractéristiques des signaux EEG, il est possible d'évaluer au moins partiellement la présence d'attention ou d'inattention [3]. La concentration, ou plus précisément l'attention, est un mécanisme vital pour un processus d'apprentissage efficace, notamment pendant les cours, mais aussi dans un large éventail de domaines.

Par exemple, pour un conducteur ou un pilote, une simple erreur d'inattention peut avoir des conséquences dramatiques. Il y a aussi ce niveau de criticité pour les emplois liés à la santé, où des vies peuvent être en jeu. Concernant l'éducation en ligne, l'absence de caméra/microphone, ou une mauvaise connexion internet, aura un impact drastique sur les informations dont dispose l'enseignant sur le niveau d'attention des étudiants qui suivent son cours, entraînant une perte de temps pour s'assurer que certains suivent, ou pire encore : l'impossibilité pour lui d'adapter son cours au niveau de compréhension estimé des étudiants.

Étant administré dans le cerveau, le mécanisme d'attention peut éventuellement être détecté à l'aide des signaux électroencéphalographiques (EEG). C'est donc pour cette raison qu'une investigation empirique a été entreprise pour essayer de trouver un marqueur objectif du niveau attentionnel dans ces signaux.

## 2 Les signaux EEG et leur interprétation

L'électroencéphalogramme est un système mesurant le potentiel électrique en plusieurs points du cuir chevelu. Ces potentiels sont le reflet de l'activité électrique sous la peau, donc de l'activité des zones du cerveau. Ce système est de plus en plus utilisé pour diverses raisons : son faible coût par rapport à d'autres systèmes de neurologie, sa portabilité, mais aussi les très bons résultats qu'il est possible d'obtenir avec celui-ci, dans une vaste variété de sujets. [3], [2] montrent comment les signaux EEG peuvent être interprétés, par 5 bandes de fréquences :

- $\delta$  (delta) : Cette activité se manifeste généralement lors d'un sommeil profond, d'une perte de conscience, d'une anesthésie ou d'un manque d'oxygène ; elle est surtout liée aux états inconscients.
- $\theta$  (theta) : Cette activité se produit principalement dans les régions pariétale et temporale du cerveau. Ces ondes sont produites lorsque les personnes subissent une pression émotionnelle, des interruptions de conscience ou une relaxation physique profonde.
- $\alpha$  (alpha) : Ce type d'onde est surtout produit dans les régions pariétale et occipitale du cerveau en état de conscience, de calme ou de repos. Lorsque l'on pense, que l'on cligne des yeux ou que l'on est sti-

mulé, les ondes alpha disparaissent. C'est ce qu'on appelle un blocage alpha.

- $\beta$  (beta) : Cette activité se produit principalement dans la région frontale lorsque les personnes sont conscientes et alertes. Ces ondes sont particulièrement apparentes lorsqu'une personne réfléchit ou reçoit une stimulation sensorielle.
- $\gamma$  (gamma) : Des études ont mis en évidence que cette activité est liée à la cognition et à l'activité perceptive.

Le Tableau 1 liste la fréquence, l'aire de détection ainsi que la fonction de chaque bande de fréquence.

Nom	Fréquence	Aire de détection	Fonction
Delta	0.5~3.5 Hz	Aire Frontale pour les adultes et occipitale pour les enfants.	Sommeil profond et autres états inconscients profond.
Theta	3.5~7.5 Hz	Aire temporale moyenne.	Somnolant et sommeil léger, plus visible durant l'enfance.
Alpha	7.5~12.5 Hz	Aire postérieure et grande amplitude en région occipitale.	Somnolant, fermeture des yeux, relaxé, éveillé.
Beta	12.5~30 Hz	Aires frontales et centrales.	Vigilant, concentration.
Gamma	30~60 Hz	Cortex sensoriel.	Formation des fonction perceptuelles, de la mémoire, de l'apprentissage associatif.

Tableau 1 - Interprétation des bandes de fréquences des signaux EEG de l'article [2]

## 3 Extraction des données EEG

### 3.1 Expérience

Afin d'étudier l'évaluation du niveau attentionnel, il est nécessaire de commencer par le design d'une expérience lors de laquelle le niveau attentionnel subjectif est relevé ainsi que les données d'EEG.

Dans le cadre de l'expérimentation, une acquisition type dure 1h, avec toutes les 5 minutes une fenêtre demandant au sujet de noter son niveau d'attention durant les 5 dernières minutes. Durant toute la session, les données EEG du sujet sont récoltées. De cette manière, les données EEG et les réponses des différents sujets sont récoltées. Ces derniers seront qualifiés par la suite "labels".

De cette manière, une base de données de 9 acquisitions à été constituée en utilisant un casque d'acquisition des signaux EEG de OpenBCI muni de 8 canaux d'acquisition (voir figure 1).

Le casque utilisé dispose d'un circuit d'électrodes humide permettant une acquisition des signaux optimale ainsi qu'une fréquence d'acquisition de 250 HZ, tout en respectant le système international 10-20 pour le placement des électrodes [5]. Les canaux acquis durant les expérimentations sont : O1, O2, T4, P4, P3, T3, F8 et F7 qui seront représentés sur la figure 2 respectivement de channel1 à channel8.



FIGURE 1 – Casque EEG utilisé durant les acquisitions

### 3.2 Métrique EEG

Les métriques sont des caractéristiques pouvant être calculées à partir des signaux bruts. Leur but est de mettre en évidence des variations dues à un mécanisme, ici le niveau attentionnel.

Spectral Power/Energy Density : La caractéristique la plus souvent utilisée est la puissance de chacune des cinq bandes de fréquences, ou bien l'énergie de celles-ci. Elles peuvent être utilisées telles quelles (leur corrélation, forte ou faible, à grand nombre de mécanismes neuronaux a été montrée) ou bien utilisée pour calculer d'autres métriques similaires, tel qu'un ratio entre deux bandes de fréquences [4].

Entropie : D'autres métriques populaires sont celles dérivées du concept d'entropie. Elles sont introduites par l'entropie de Shannon dans la théorie de l'information comme une mesure en informations moyenne contenue dans un signal. À partir de l'entropie sont nées un grand nombre de variations, telle que l'entropie spectrale (SE), l'entropie différentielle (DE), l'entropie Approximative (ApEn), et bien d'autres. Bien qu'il en existe bien d'autres, il ne sera testé ici que certaines caractéristiques énoncées, moyennés sur 30 secondes (Figure 2) : la puissance spectrale (PSD) pour chaque bande de fréquence, le différentiel d'entropie (DE) pour chaque bande de fréquence, ainsi que le maximum d'alpha sur la période de moyennage.

Sur la figure 2, il est visible que les bandes Delta (que ça soit le PSD ou le DE) et Gamma uniquement en PSD possèdent une grande corrélation positive et Beta (surtout en DE) est la plus corrélée négativement avec l'attention subjective. Concernant les canaux, les trois se démarquant le plus sont les canaux O1, O2 et F7 représentés sur la figure 2 par Channel 1, Channel 2 et Channel 8.

## 4 Conclusions

Au travers de notre étude, une corrélation entre certaines des features calculées (notamment DE-delta, DE-beta et PSD-gamma) et l'évaluation subjective du niveau attentionnel à été observée. Il est actuellement investi-

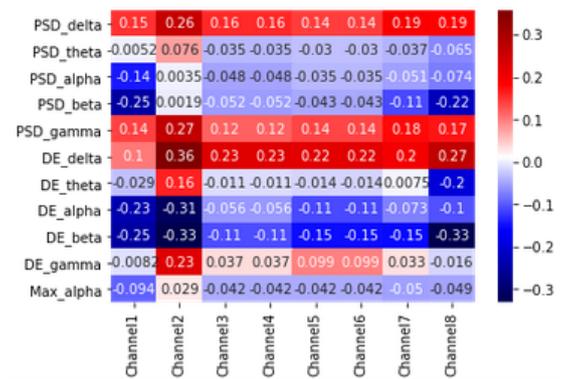


FIGURE 2 – Corrélation linéaire (Pearson) entre les métriques calculées et le niveau attentionnel subjectif

gué l'entraînement divers modèles d'apprentissage automatique afin de déterminer l'attention à travers ces caractéristiques EEG. En effet, divers modèles d'apprentissage machine et profond qui ont prouvé leurs efficacités avec des données similaires sont essayés.

## 5 Remerciements

Nous tenons à remercier les collègues médecins neurologues du service de neurologie du CHU Mondor à Créteil, en particulier Dr Yann Senova, pour notre intronisation dans ce domaine et les nombreuses explications qu'ils nous ont fournies.

## Références

- [1] Mridha, M. F., Das, S. C., Kabir, M. M., Lima, A. A., Islam, M., Watanobe, Y. *Brain-computer interface : Advancement and challenges*. Sensors, 21(17), 5746. 2021.
- [2] Sebastian Arndt, Jean-Nicklas Voigt Antons, Robert Schleicher, Tiago Falk, *Neurophysiological experimental facility for quality of experience assessment* - January 2013
- [3] Chia-Ju Peng, Yi-Chun Chen, Chun-Chuan Chen, Shih-Jui Chen, Barthélemy Cagneau, Luc Chassagne, *An EEG-Based Attention Recognition System Using Hilbert-Huang Transform and Support Vector Machine* - Journal of Medical and Biological Engineering, 26 Novembre 2019
- [4] Xiaowei Li, Bin Hu, Dong Qunxi, William Campbell, *EEG-based Attention Recognition* - October 2011
- [5] Sazgar, Mona, and Michael G. Young. *Overview of EEG, electrode placement, and montages*. Absolute epilepsy and EEG rotation review. Springer, Cham, 2019.

## Analyse vibratoire avec un téléphone portable pour découvrir la recherche en classe de CM1 - CM2

---

Frédéric Bonnardot<sup>1</sup>, Benoit Jullien<sup>2</sup>, Sandrine Bayet<sup>3</sup>, Nicolas Doctobre<sup>3</sup>

frederic.bonnardot@univ-st-etienne.fr

Univ Lyon, UJM Saint Etienne, LASPI, EA 3059, F-42334, Roanne, France.<sup>1</sup>

Ecole primaire Publique, Charlieu.<sup>2</sup>

Inspection de l'éducation nationale, DSDEN de la Loire, Saint Etienne.<sup>3</sup>

**THÈMES** – *Santé - Informatique - Mathématiques*

**RÉSUMÉ** – *Cet article décrit un dispositif permettant d'enregistrer les vibrations perçues par un téléphone portable (Androïd) ou de les diffuser sur un ordinateur en temps réel. Ce dispositif est d'une part didactique pour permettre aux élèves de faire le lien entre signaux mesurés et vibrations. Il fournit d'autre part un outil pratique pour enregistrer des signaux pour l'analyse de la marche.*

*L'utilisation à des fins didactique est illustré par deux exemples. Le premier exemple consiste à secouer lentement le téléphone successivement suivant ses trois axes. Le second exemple est un enregistrement d'un signal de marche.*

*Ce dispositif a été mis en œuvre dans le cadre d'un projet sciences avec l'école primaire de Charlieu.*

**MOTS-CLÉS** – *Analyse Marche, Androïd, Vibrations.*

# 1 Introduction

Actuellement, de nombreux outils connectés dédiés à notre santé voient le jour. Ainsi, votre téléphone portable peut vous espionner et vous informer sur votre activité quotidienne. Le fonctionnement de ces objets reste un peu mystérieux pour certains et excite la curiosité.

Afin de profiter de cette curiosité pour montrer les possibilités de l'analyse vibratoire, un outil à but pédagogique permettant de visualiser les accélérations perçues par un téléphone portable a été développé. Cet outil est utilisable par toute personne simplement munie d'un téléphone Android et d'un PC.

La première partie décrit le matériel (logiciel pour le téléphone et pour l'ordinateur). Une deuxième partie montre quelques applications.

## 2 Matériel

### 2.1 Présentation

Le système de découverte de la marche se présente sous la forme d'un logiciel à installer sur un téléphone portable Android (Figure 1) ainsi que d'une application développée en Python.

Plusieurs utilisations sont possibles :

- utilisation en autonomie : l'application enregistre les signaux vibratoires dans un fichier sur le téléphone (bouton enregistrer) et permet une fois l'enregistrement terminé de visualiser directement le fichier sur le téléphone (bouton observer menant à la figure de droite),
- mise en commun des enregistrements : les fichiers présents sur le(s) téléphone(s) sont transférés sur un ordinateur et affichés avec un logiciel dédié,
- affichage en direct : le téléphone transfère instantanément à l'aide du réseau wifi les signaux qu'il recueille à un ordinateur qui les affiche simultanément (bouton voir sur ordinateur).

L'utilisation en autonomie est la plus simple à mettre en œuvre, l'affichage en direct requiert plus de manipulations et est un peu plus complexe. Le téléphone peut être mis dans une poche ou un sac pendant l'enregistrement.

Les trois courbes affichées correspondent aux vibrations perçues suivant les trois directions par le téléphone (latérale, verticale, longitudinale).

### 2.2 Limitations

La fréquence d'acquisition des accéléromètres inclus dans les téléphones est limitée environ à  $100\text{ Hz}$  ce qui n'est pas gênant pour analyser la marche mais est très limitatif pour analyser des signaux vibratoires mécaniques (fréquence d'engrènement, ...).

L'application doit interdire la mise en veille du téléphone ce qui en limite son autonomie.

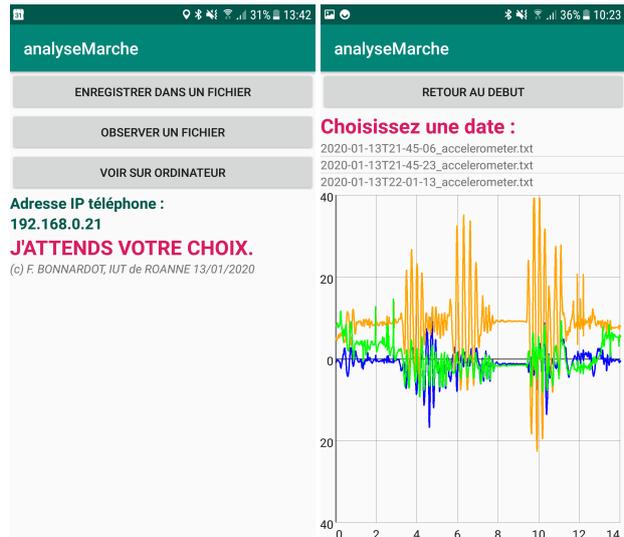


FIGURE 1 – Application pour le téléphone

## 3 Applications

Cette partie illustre l'intérêt pédagogique de ce dispositif à l'aide d'expériences simples permettant de découvrir les vibrations.

### 3.1 Etude d'un mouvement simple

Pour visualiser le lien entre les signaux et le sens du mouvement, un enregistrement a été réalisé avec le téléphone pendant lequel il a été secoué (lentement) suivant :

- l'axe latéral (mouvement lent de gauche à droite),
- puis l'axe vertical (mouvement de haut en bas),
- puis l'axe longitudinal (mouvement d'avant en arrière),
- puis en diagonal.

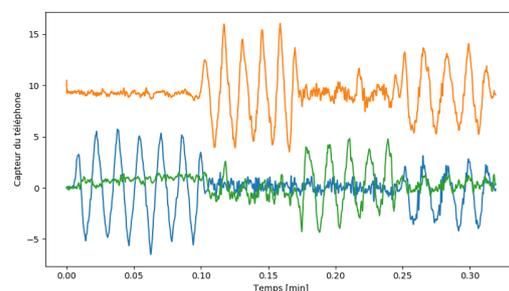


FIGURE 2 – Vibrations associées à un mouvement simple

Les trois courbes de la figure 2 montrent les vibrations perçues par le téléphone dans chacune des directions (bleu : latérale, orange : verticale, vert : longitudinale).

Pour chaque courbe on peut distinguer :

- des zones où la courbe est stable (par exemple entre 0 et 0,1 minutes sur la courbe orange),
- une ou des zones où la courbe évolue beaucoup (par exemple entre 0,1 et 0,17 min sur la courbe orange).

Dans les zones stables, le capteur ne perçoit pas de mouvement sur l'axe, les autres zones correspondent au mouvement effectué sur l'axe associé. En observant conjointement les trois signaux, on peut voir :

- un mouvement entre 0 et 0,1 min sur l'axe latéral (bleu),
- un mouvement entre 0,1 min et 0,17 min sur l'axe vertical (orange),
- un mouvement entre 0,17 min et 0,25 min sur l'axe longitudinal (vert),
- un mouvement entre 0,25 min et 0,32 min conjointement sur l'axe latéral et vertical (bleu et vert) correspondant au déplacement en diagonal.

On peut également voir que le signal orange est décalé par rapport aux autres de  $10 m/s^2$ . Ce n'est pas une erreur. Ces  $10 m/s^2$  correspondent à l'accélération terrestre (de  $9,8 m/s^2$ ) présente uniquement suivant l'axe dirigé vers le sol. Si on tourne le téléphone, ce décalage apparaîtra donc sur un autre axe du téléphone et nous permettra de savoir une indication sur son orientation par rapport au sol.

### 3.2 Etude de la Marche

Lorsque l'on marche avec le téléphone dans la poche, on va le faire bouger. On percevra alors les mouvements du fémur. Ces mouvements seront répétitifs pour chaque pas. L'observation de cette répétition nous permettra de visualiser chaque pas.

Le téléphone est positionné dans la poche gauche pendant que l'on marche.

L'axe latéral correspond donc au sens de la marche (bleu), l'axe longitudinal (vert) correspond aux mouvements de la gauche vers la droite, l'axe vertical (orange) correspond aux variations d'altitude du fémur. Attention : en réalité le fémur et donc le téléphone s'incline durant la marche, les orientations données sont donc approximatives...

On peut voir sur les trois courbes de la figure 3 des motifs qui se répètent 4 fois. On voit donc le caractère répétitif du motif de marche.

Le motif orange associé aux mouvements sur l'axe vertical est le plus simple à interpréter : on peut voir des pics orientés vers le bas. Ces pics sont associés à la pose du talon sur le sol. Lorsque l'on pose le talon, la vitesse suivant l'axe vertical passe brutalement à 0 (décélération) provoquant ainsi ce pic. Plus ce pic est élevé, plus le choc encaissé par le corps sera violent. Ici le pic est situé environ  $7 m/s^2$  plus bas que la valeur moyenne du signal.

Le téléphone étant positionné dans la poche gauche, le gros pic correspond donc à la pose du talon gauche. La

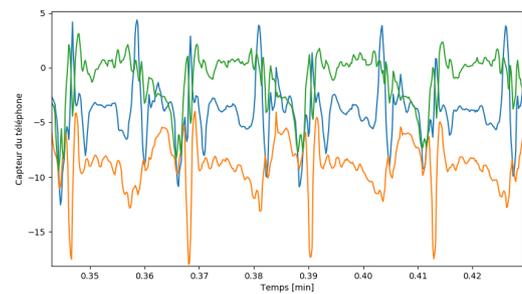


FIGURE 3 – Vibrations associées à la marche

pose du talon droit provoque quant à elle une décroissance du signal mais plus faible car le téléphone n'est pas dans la poche droite. Chaque pic correspond à une foulée soit 2 pas. On peut donc voir que dans cet exemple, la durée de la foulée est de 1,4 s soit 1 pas tous les 0,7 s.

On voit ainsi qu'il est possible de détecter les pas à l'aide d'un téléphone et de mesurer le nombre de pas par secondes. Si l'on regarde le motif bleu (sens de la marche), on peut remarquer deux pics vers le haut associés à chaque pas : on est moins sensible à la position du téléphone (poche gauche ou droite).

Le signal vert mouvement longitudinal est périodique mais moins riche.

## 4 Conclusions

Cet article illustre les possibilités offertes par un téléphone portable pour étudier la marche ainsi que les phénomènes cycliques. Il a été utilisé pour montrer à des élèves de CM1-CM2 comment un téléphone portable pouvait obtenir des informations sur notre activité quotidienne.

Après cette démonstration, les élèves ont proposé avec l'aide de leur instituteur des expériences où ils mesureraient les vibrations (manipulation de fenêtré, mouvement d'une éponge de tableau, vibration d'une voiture télécommandée). Ils ont ensuite essayé d'interpréter avec succès les différentes informations associées à ces signaux.

## Références

- [1] Bonnardot F., *Techniques de synchronisation de signaux de marche*, CNRIUT'2019 Toulon, 6-7 Juin 2019.
- [2] Taiar, R. and Bittencourt Machado, C. and Chiementin, X. and Bernardo-Fildo, M., *Whole Body Vibrations Physical and Biological Effects on the Human Body*, CRC Press, 2018.
- [3] Le Progrès, *Des chercheurs à la rencontre des élèves*, Le Progrès, 10 Février 2022.

---

## Conception d'un corset robotisé pour le traitement de la scoliose

---

Rahul Ray<sup>1,2</sup>

rahul.ray@etu.univ-orleans.fr

Laurence Nouaille<sup>1</sup>

laurence.nouaille@univ-orleans.fr

Briac Colobert<sup>2</sup>

briac.colobert@proteor.com

Laurine Calistri<sup>2</sup>

Laurine.calistri@proteor.com

Gérard Poisson<sup>1</sup>

gerard.poisson@univ-orleans.fr

<sup>1</sup> IUT, Bourges

Laboratoire PRISME, Université d'Orléans - INSA Centre-Val de Loire

<sup>2</sup> PROTEOR, Dijon

**Thèmes - Robotique et Santé**

**Résumé -** Dans cet article, nous présentons le corset robotisé, dédié au traitement de la scoliose, que nous avons conçu et prototypé. La scoliose est une courbure anormale, en forme de S, de la colonne vertébrale qui touche 3 % de la population et les techniques pour la traiter restent principalement passives. L'approche robotique que nous avons envisagée, en apportant flexibilité et individualisation, ainsi qu'un meilleur suivi des patients, s'avère être une voie efficace pour ledit traitement. Nous décrivons, pour commencer, un indicateur qui permet de la caractériser, puis les deux techniques usuelles pour la corriger. Nous détaillons ensuite le robot à 12 degrés de liberté que nous avons développé. Celui-ci comporte 3 anneaux, disposés sur le torse du patient et agissant tel un corset. Ils sont reliés entre eux par 12 actionneurs linéaires, contrôlables en force et/ou en position. Nous évoquons les expérimentations qui ont été menées, en laboratoire avec ce dispositif et dressons les perspectives à ce travail, préalables à une utilisation clinique de routine.

**Mots-Clés –** Scoliose, Exosquelette, Réhabilitation, Robotique

## 1 Introduction

La scoliose est une affection vertébrale qui survient chez environ 3 % de la population [1]. Elle se développe à l'adolescence et touche majoritairement les filles. Elle consiste en une courbure anormale de la colonne vertébrale, en forme de S, voir Figure 1. L'angle de Cobb caractérise l'importance de cette déformation. En fonction de la valeur de cet angle, la scoliose peut être traitée par deux approches : *i*) par la pose d'un corset si l'angle de Cobb est inférieur à  $50^\circ$  ou *ii*) par la chirurgie de la colonne vertébrale pour les cas plus sévères. Le premier type de traitement repose sur la prescription d'orthèses rigides qui maintiennent la colonne vertébrale dans la position corrigée et qui peuvent empêcher la progression de la courbure vertébrale lorsque ces orthèses sont portées pendant 12 à 14 heures par jour jusqu'à ce que l'adolescent atteigne la maturité squelettique.

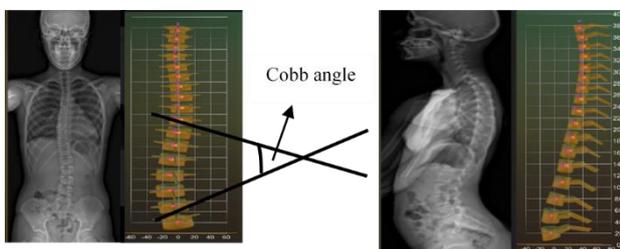


Figure 1 - Coupes scanner d'une colonne vertébrale avec scoliose et angle de Cobb correspondant

Bien que de nombreuses études aient révélé l'efficacité des corsets, en général on ne sait pas quelles forces ces corsets appliquent au corps et quelle force est nécessaire pour modifier la position du torse et de la colonne vertébrale [1]. Trop peu de force appliquée par le corset peut ne pas atteindre le seuil nécessaire pour réduire la progression de la courbure. Un effort trop important peut provoquer une gêne pour le patient, une dégradation de la peau, voire une déformation des côtes [2].

Une gestion appropriée des caractéristiques de force et de déplacement à appliquer à l'ensemble torse et colonne vertébrale peut conduire à l'amélioration des techniques de traitement [3]. De plus, le corset doit être porté durant une longue période de la journée et limite la mobilité du patient, ce qui est très contraignant. Peu de corsets ont été robotisés. Les plus connus sont le robot Atlas [4], commercialisé par la société Japet Medical Devices et le robot RoSE [5], conçu à Columbia University.

Dans le but d'améliorer la qualité de vie du patient, en apportant de la mobilité au corset tout en exerçant continuellement des efforts pour corriger la courbure de la colonne vertébrale, nous avons conçu un corset robotisé [6], puis en avons réalisé deux versions prototypes.

Le corset présenté est un dispositif articulé et actionné. Il

autorise les mouvements du patient et est capable d'appliquer forces et moments sur le corps de ce patient.

## 2 Conception du corset robotisé

L'approche réalisée pour le traitement de la scoliose via corset est appelée « 3 points-de-pression ». Elle consiste à appliquer des pressions sur certaines parties choisies de la colonne vertébrale, en fonction du type de déformation observé Figure 2, [7].

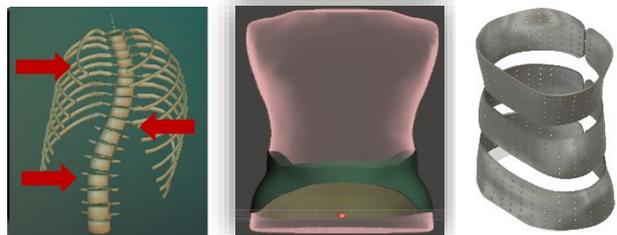


Figure 2 - Méthode des « 3 points-de-pression » ; Scanner 3D du torse ; Base du prototype de corset à 3 anneaux

Pour atteindre cet objectif, le corset que nous avons conçu est composé de trois anneaux en matière plastique fixés au bassin et au thorax sur deux zones. Ces éléments sont de forme elliptique, ouverts pour le montage, adaptés au corps du patient et réalisés par fabrication additive. Le torse du patient est scanné pour créer le modèle 3D, voir Figure 2. Chaque anneau présente une série de trous le long de la circonférence avec des incréments de  $10^\circ$  pour faciliter le montage des actionneurs. Les anneaux doivent présenter entre eux la capacité d'une mobilité complète (6 degrés de libertés).

Les actionneurs devant être fixés sur l'extérieur du torse du patient et le corset devant avoir un espace de travail centré sur la colonne de faible dimension, nous avons choisi une structure cinématique parallèle de type « plateforme de Stewart » pour apporter la mobilité à chaque anneau. Celui posé sur le bassin, étant considéré fixe, Figure 3.

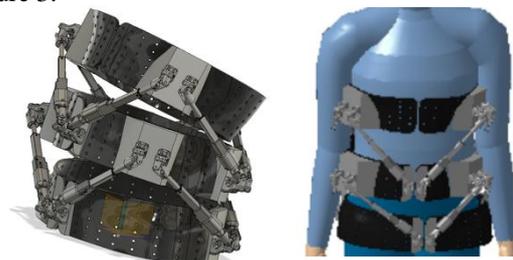


Figure 3 - Vues CAO du prototype de corset

Chaque plateforme de Stewart est une structure parallèle comportant 6 actionneurs linéaires, reliés à la base par une liaison universelle (cardan) et au sommet par une rotule. Les actionneurs, qui possèdent une course de 50 mm, sont capables d'exercer une force maximale de 45 N et ont une vitesse maximale de 5 mm/s.

Des capteurs d'effort, disposés sur chacun des 12 actionneurs, fournissent des mesures en temps réel, qui permettent d'identifier les forces appliquées sur le patient. Ainsi, le système de contrôle peut ajuster en permanence le schéma de rééducation en fonction de l'état du patient, en contrôlant de manière flexible le corset robotique.

### 3 Validation du corset robotisé

#### 3.1 Suivi des mouvements sur le corset passif

Deux prototypes de corset ont été réalisés. Un premier prototype articulé, mais passif, pour valider le concept et vérifier les mobilités et un second prototype actif, Fig. 4.

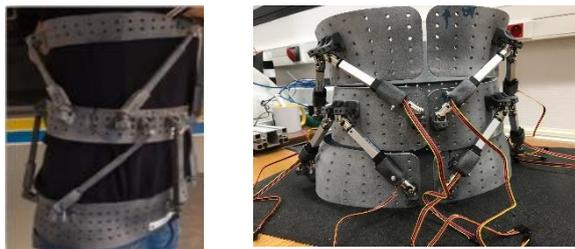


Figure 4 - Corset passif (gauche), corset actionné (droite)

Le premier prototype nous a permis de valider la mobilité de la structure à double plate-forme de Stewart.

Pour cela, une étude des mouvements du patient a été réalisée à l'aide du système de capture de mouvements *Qualysis®*. Des marqueurs ont été posés sur le corps d'un patient sain, puis sur ce patient portant le prototype, voir Figure 5. Plusieurs mouvements ont été étudiés : flexion, extension (avant et arrière), flexion latérale (gauche et droite) et rotation axiale. L'erreur de position de la partie supérieure du corset la plus importante (6 mm) a été remarquée pour la flexion avant et la flexion latérale. Pour les autres mouvements, cette erreur était de l'ordre du millimètre, ce qui montre que le corset passif permet un bon suivi des mouvements du patient.



Figure 5 - Suivi de la mobilité du corset pour un mouvement de rotation autour de l'axe vertical

#### 3.2 Contrôle du corset robotisé à 12 mobilités

Sur le second prototype, actionneurs et capteurs ont été intégrés. La commande bas-niveau est assurée par des cartes à microcontrôleur, programmée sous Matlab. Le haut-niveau, développé sous *Labview*, gère les mouvements du robot et l'interface utilisateur.

Dans un premier temps, via l'implémentation du modèle

géométrique du dispositif, une loi de commande en position a été intégrée. Les mouvements relatifs des anneaux du corset, en translation et/ou en rotation, selon les 3 directions de l'espace, sont contrôlés en modulant les déplacements des actionneurs linéaires. La Figure 6 montre le dispositif dans deux configurations différentes obtenues par la translation des 12 actionneurs.

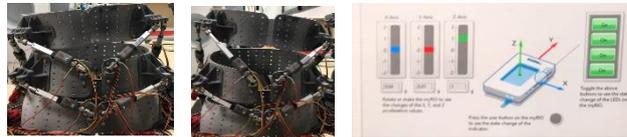


Figure 6 - Corset robotisé dans 2 positions ; Interface utilisateur

### 4 Conclusions et perspectives

Cet article présente un corset robotisé pour les patients atteints de scoliose. Deux prototypes ont été développés puis testés, en mobilité et position, sur des volontaires sains. Afin d'adapter de manière continue l'effort exercé sur le torse et sur la colonne vertébrale, il sera nécessaire d'implémenter la commande en effort. Une contrainte à respecter également est celle de la portabilité du corset actif sur une longue durée. Un travail d'optimisation de masse du prototype, lorsqu'il sera complètement fonctionnel, est en prévision. Des essais sur patients souffrant de douleurs lombaires pourront être par la suite effectués. Ce dispositif contribuera à une amélioration significative de la qualité de vie du patient.

### 5 Remerciements

Cette recherche est supportée par l'Association Nationale de la Recherche et de la Technologique (ANRT) et l'entreprise PROTEOR à Dijon.

### Références

- [1] S. L. Weinstein, L. A. Dolan, J. G. Wright, and M. B. Dobbs, *Effects of bracing in adolescents with idiopathic scoliosis*, *New England J. Med.*, vol. 369, 2013, p. 1512–1521.
- [2] J. M. Carlson, *Clinical biomechanics of orthotic treatment of idiopathic scoliosis*, *J. Prosthetics Orthotics*, vol. 15, 2010, p. 17–30.
- [3] A. Jalalian, I. Gibson, and E. H. Tay, *Computational biomechanical modeling of scoliotic spine: Challenges and opportunities*, *Spine Deformity*, vol. 1, 2013, p. 401–411.
- [4] Japet medical device company, Japet brace, <https://www.japet.eu>, 2016, Accessed: 2019/03/16.
- [5] J. Park, P. Stegall and S. K. Agrawal, *Dynamic brace for correction of abnormal postures of the human spine*, in *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, Seattle, WA, 2015, p. 5922–5927.
- [6] R. Ray et al, *Design of Robotic Braces for Patients with Scoliosis*, *RAAD 2020, Mechanism and Machine Science*, vol. 84, 2020, 1-8.
- [7] C. L. Chang, D. M. Kelly, J. R. Sawyer, D. Diangelo, *Mechanical Testing of a Novel Fastening Device to Improve Scoliosis Bracing Biomechanics for Treating Adolescent Idiopathic Scoliosis*, *Applied bionics and biomechanics*, 2018, p.1-10.

---

## Estimation du Risque de Chute chez les Personnes Âgées

---

Reem Brome<sup>1</sup> Frédéric Bonnardot<sup>1</sup> Jad Nasreddine<sup>2</sup> Mohamad O. Diab<sup>2</sup>  
Mohamed El Badaoui<sup>1</sup>

reem.abou.marak.dit.brome@univ-st-etienne.fr frederic.bonnardot@univ-st-etienne.fr  
nasreddinejn@rhu.edu.lb diabmo@rhu.edu.lb Mohamed.elbadaoui@univ-st-etienne.fr

<sup>1</sup> Univ Lyon, UJM Saint Etienne, LASPI,  
EA 3059, F-42334, IUT de Roanne, France

<sup>2</sup> Computer & Information Systems Department,  
Rafik Hariri University, Meshref, Lebanon

**Thèmes Santé - Électronique**

**Résumé** – *Les chutes sont une cause de mortalité importante chez les personnes âgées, il est donc nécessaire d'être capable d'identifier les personnes susceptibles de chuter ("chuteurs") afin de mettre en place ou non des mesures préventives. Nous proposons ici d'évaluer ce risque à l'aide d'une intelligence artificielle entraînée par une base de données constituée de 520 sujets "chuteurs" et "non-chuteurs". Cette base contient pour chaque sujet des mesures de pression réalisées à l'aide de semelles instrumentées dans trois conditions de marche en plus de données personnelles. Ces mesures sont alors traitées afin de construire des indicateurs (tirant notamment parti de la cyclostationarité). Nous comparons ensuite les résultats de différents outils de classifications afin de choisir le meilleur (précision de 89,81 %) et retrouver les indicateurs les plus pertinents.*

**Mots-Clés** – *Classification, analyse cyclostationnaire, intelligence artificielle, analyse de la marche.*

## 1 Introduction

Il ne faut pas se demander si une personne âgée chutera mais plutôt quand elle chutera. Il est donc important d'être capable de reconnaître si une personne a un risque de chuter ou pas.

Pour cela nous proposons une approche basée sur l'intelligence artificielle et expliquons comment nous avons trouvé le meilleur indicateur et le meilleur algorithme de classification (reconnaissance).

Dans une première partie, nous décrivons la méthodologie : la collecte des données, le calcul des indicateurs, la sélection des plus pertinents, et comment tester les algorithmes de classification permettant de faire la différence entre un chuteur ou un non chuteur.

Enfin, nous discutons des résultats et indiquons le meilleur algorithme pour notre cas.

Le but de cet article n'est pas d'expliquer les méthodes de classification et les indicateurs mais plutôt de montrer la démarche utilisée pour les sélectionner.

## 2 Méthodologie

### 2.1 Recueillir des données expérimentales

Nos travaux s'appuient sur des mesures réalisées auprès de 520 patients âgés par le LPE (Laboratoire de Physiologie de l'Exercice) et le CHU (Centre Hospitalo-Universitaire) de l'Université Jean Monnet de St-Etienne [3,4]. Durant un entretien médical préalable 54 de ces patients ont déclaré avoir déjà chuté.

Pendant le test les patients ont marché dans un long couloir droit de 20 m munis de semelles de chaussure instrumentée mesurant la pression exercée par leurs talons et leurs orteils sur les semelles gauche et droite. Chaque patient a fait 3 fois le parcours : en marche simple (MS), en énumérant des noms d'animaux (MF), en faisant un compte à rebours (MD).

Au vu de la disproportion de non chuteurs. Nous avons réduit notre jeu de données à 54 chuteurs et 54 non-chuteurs aléatoirement afin de ne pas induire en erreur nos algorithmes lors de la phase d'entraînement.

Ce groupe de 2x54 personnes est ensuite réparti en deux jeux de données. Un premier nous permettant d'entraîner nos algorithmes de classification (reconnaissance) à trouver les chuteurs et non chuteur. Un deuxième jeu permettant de présenter des données qu'il ne connaît pas à l'algorithme entraîné et de tester s'il est capable de trouver si la personne est chuteur ou non. On peut alors mesurer les performances de l'algorithme.

### 2.2 Extraire des indicateurs

Chaque signal de pression a été résumé en 14 indicateurs les caractérisant (pression moyenne, variation

de pression moyenne, ...) dans le tableau n°1 [2]. Chaque indicateur a été recalculé pour les 3 conditions de marche. En ajoutant le genre, on totalise 43 indicateurs !

L'utilisation d'outils statistiques (ANOVA), nous a permis d'évaluer pour chaque indicateur si les variations observées entre les mesures pour des chuteurs et non chuteurs étaient plutôt significatives ou plutôt dues à des erreurs (bruit) de mesure.

Tableau 1 – Indicateurs (calculés pour les essais MS, MF, MD)

Indicateur	Description
PW_R	Durée du pic - pied droit
US_R	Dépassement négatif du pied droit
US_L	Dépassement négatif du pied gauche
DTC_L	Rapport cyclique pied gauche
SR_R	Pente du pied droit
SR_L	Pente du pied gauche
Range_R	Etendue - pied droit
Range_L	Etendue - pied gauche
Skw_R	Assymétrie du (signal du) pied droit
Skw_L	Assymétrie du (signal du) pied gauche
Genre	Homme ou Femme
M_ST	Durée moyenne de la foulée
STD_ST	Variation moyenne de la foulée
Diff_P	Différence de pression entre talon et orteils
DC	Degré de Cyclostationnarité

### 2.3 Sélection des indicateurs

Utiliser beaucoup d'indicateurs peut complexifier les modèles utilisés dans les algorithmes, demander des temps de calculs plus long, et les rendre inefficaces à cause d'éléments inutiles ou redondants.

Grâce à l'algorithme SBS (Sequential Backward Selection) précédemment utilisé dans [3], il a été possible de sélectionner les indicateurs les plus pertinents de notre liste.

L'algorithme SBS teste tout d'abord l'algorithme de reconnaissance avec tous les indicateurs et mesure la précision (utilisation d'un jeu de données d'entraînement puis de test). Il recommence ensuite mais en enlevant un des indicateurs (test de tous les cas possibles) jusqu'à trouver le moins impactant et l'enlève définitivement [3]. On répète le procédé pour réduire le nombre d'indicateurs et obtenir le meilleur jeu d'indicateurs.

Évidemment, suivant la méthode utilisée pour déterminer si la personne est chuteuse ou non, les meilleurs indicateurs ne sont pas les mêmes (résultats dans le tableau 2).

Tableau 2 – Indicateurs sélectionnés par SBS

Méthode	Description
KNN	M_ST(MS), DC(MD), Genre, SR_R(MF), STD ST(MD), M_ST(MD), Diff_P(MD), US_L (MD)
SVM	Diff_P(MD), DC(MD), Genre, Diff_P(MF), M_ST(MS), SR_L(MD), STD_ST(MD), DTC_L (MD), PW_R (MD)
Réseau de neurones	DC(MD), Genre, Diff_P(MD), US_L(MD), SR_R(MD), M_ST(MS), Diff_P(MF), M_ST(MF), STD_ST( MD)
Arbres de décision	DC (MD), Genre, Diff_P (MD), M_ST(MD), STD_ST(MD), US_L(MF), Skx_R (MS), Diff-P (MF), Range_L (M), M_ST(MS)
Régression Logistique	M_ST (MS), Genre, PW_R (MD), M_ST(MD), STD_ST(MD), Diff_P (MD), Diff_P (MF), DC (MD),Skw_L(MF),DTC_L(MS), Range_R (MF)

## 2.4 Algorithmes de classification (reconnaissance)

5 méthodes de classification sont utilisées : KNN, SVM, Réseaux de neurones, Arbres de décision, et Régression Logistique.

Afin d'éviter un paramétrage manuel et empirique de chacune de ces méthodes, une technique d'optimisation « Grid Search » automatique de paramètre est utilisée. Cette technique est appliquée pour trouver les meilleurs paramètres pour chaque algorithme de classification.

## 3 Résultats et Conclusion

En utilisant pour chaque algorithme de classification les indicateurs préconisés par la méthode SBS et les réglages obtenus par optimisation nous obtenons les résultats présentés dans le tableau 3. Les indicateurs les plus pertinents sont : la différence de pression entre le talon et les orteils, la durée moyenne d'une foulée, la variation moyenne de la durée de la foulée, et le dépassement négatif du pied gauche, le degré de cyclostationarité et le genre. Les résultats montrent également que les indicateurs associés à la marche MD donnent les meilleurs résultats. C'est-à-dire que solliciter le cerveau (compte à rebours) permet d'obtenir des indicateurs plus discriminants.

Les résultats du tableau 3 classés suivant 4 critères (meilleur score = le plus élevé) montrent que la classification basée sur les réseaux de neurone est la meilleure ici. A titre indicatif l'algorithme SBS nous a permis d'augmenter ce score de 10%.

Afin de voir si les écarts de performance entre les différents algorithmes sont significatifs, un test statistique

de Student a été réalisé. Il a confirmé que les résultats pour les réseaux de neurones sont significatifs avec 95% de confiance.

Tableau 3 – Résultats de la classification

Méthode	Exactitude	Sensibilité	Spécificité	Précision
KNN	84.26%	90.74%	77.78%	80.33%
SVM	85.19%	83.33%	87.04%	86.54%
Réseau de neurones	<b>89.81%</b>	<b>90.74%</b>	<b>88.89%</b>	<b>89.09%</b>
Arbres de décision	83.33%	81.48%	85.19%	84.62%
Régression Logistique	80.56%	83.33%	77.78%	78.95%

## 4 Conclusions

Cette contribution montre notre démarche pour optimiser les méthodes de classification. Il est important de sélectionner les meilleurs indicateurs et de limiter leur nombre. Par ailleurs, il est possible de régler automatiquement les paramètres des méthodes de classification afin de pouvoir les comparer. Suivant les cas, ce ne sera pas la même méthode qui sera la meilleure, il faut donc en tester plusieurs.

Dans notre cas, le « degré de cyclostationarité », le genre, la moyenne et la variation de la durée de la foulée sont les indicateurs les plus significatifs. Les meilleurs résultats sont obtenus grâce aux réseaux de neurones.

## 5 Remerciements

Nous remercions le Professeur Frédéric Roche du Laboratoire de Physiologie de l'Exercice et du Centre Hospitalo Universitaire de l'Université Jean Monnet St-Etienne pour nous avoir fourni cette base de données pour cette étude.

## Bibliographie

- [1] R. Brome, J. Nasreddine, F. Bonnardot, M. O. Diab, and M. El Badaoui, "Identifying Elderly Patients at Risk of Falling using Time-Domain and Cyclostationarity Related Features ", *ijie*, vol. 13, no. 5, pp. 57–66, May 2021.
- [2] R. Brome, J. Nasreddine, F. Bonnardot, M. O. Diab, and M. El Badaoui, "Prediction of Elderly Falls Using the Degree of Cyclostationarity of Walk Pressure Signals". In 2020 IEEE-EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES). IEEE 2021, pp. 477-482
- [3] G. Chandrashekar and F. Sahin,(2014). A survey on feature selection methods. *Computers Electrical Engineering*, 40(1), 16-28.

# Implémentation d'un réseau de neurones artificiels pour le traitement temps-réel de signaux cérébraux

---

Ulysse Rançon<sup>1</sup>      Serge Le Tanh<sup>2</sup>      Timothée Lévi<sup>1</sup>

ulysse.rancon@u-bordeaux.fr    lethanh.serge2@gmail.com    timothee.levi@u-bordeaux.fr

<sup>1</sup> IUT, Université de Bordeaux

<sup>2</sup> INP Phelma, Grenoble

Laboratoire de l'Intégration du Matériau au Système, UMR 5218

**THÈMES** – *Biologie - Santé - Informatique - Robotique - Électronique*

**RÉSUMÉ** – *Les neurosciences ne cessent de faire des progrès par l'avènement de l'intelligence artificielle, le développement de capteurs toujours plus performants, et l'implication grandissante de nombreux acteurs industriels et académiques. Les retombées scientifiques et technologiques ne manquent pas: meilleure compréhension du cerveau, prévention médicale, neuroprothèses pour la réhabilitation... Cependant, la mise en place de tels systèmes est particulièrement ardue, sachant qu'ils nécessitent le traitement très rapide (temps réel) de grandes quantités d'information provenant de capteurs embarqués, et ce à moindre coût énergétique. Les réseaux de neurones artificiels de troisième génération (Spiking Neural Networks ou SNN) constituent une solution technique efficace et palliant précisément à ces contraintes. Nous proposons une implémentation électronique sur FPGA (Field Programmable Gate Array) d'un SNN pour la détection et la classification temps-réel de potentiels d'actions provenant d'enregistrements de capteurs MEA (Micro-Electrode Array). Notre travail, faisant le pont entre les domaines du vivant et de la machine, se situe à la base de technologies innovantes comme les interfaces cerveau machines (Brain-Machine Interfaces, BMI).*

**MOTS-CLÉS** – *Réseaux de neurones biomimétiques, intelligence artificielle, systèmes bio-hybrides, interfaces cerveau-machine*

## 1 Introduction

Avec l'amélioration et l'allongement des qualité et espérance de vie dans le monde, des pathologies neurodégénératives autrefois rares affectent désormais des millions de personnes. Chercheurs et industriels de la santé s'affairent aujourd'hui à comprendre les mécanismes se cachant derrière l'épilepsie, la maladie d'Alzheimer ou encore celle de Parkinson. Une solution thérapeutique de plus en plus envisagée est celle de l'*électroceutique* [1]. Son objectif est d'employer des microsystèmes pour délivrer des stimulations électriques adaptatives au système nerveux, en fonction de son état, observé par le biais de capteurs. En référence à leur communication bidirectionnelle avec les organes défectueux (e.g., partie du système nerveux), ces systèmes peuvent être qualifiés de *bio-hybrides* [2].

Cette approche, dont l'étendard est porté par les neuroprothèses et autres interfaces cerveau-machine (BMI), se heurte tant à des difficultés éthiques que techniques. En effet, ces systèmes doivent répondre à plusieurs contraintes :

- **précision** : traiter des quantités massives de données de natures différentes, sans compromis de qualité
- **rapidité** : proposer un temps de traitement négligeable à l'échelle biologique
- **portabilité** : être mécaniquement légers, peu invasifs et économes en énergie

Ces exigences peuvent être satisfaites par les *Spiking Neural Networks (SNNs)*, algorithmes d'intelligence artificielle bio-inspirés et ultra-légers. Ces derniers présentent des performances proches des réseaux de neurones conventionnels, pour un coût énergétique inégalé lorsqu'ils sont portés sur du hardware spécifique [3].

## 2 Les capteurs MEA

Les MEAs (Micro-Electrode Arrays, voir Figure 1) sont des capteurs constitués d'une matrice d'électrodes densément et régulièrement réparties. Ils sont voués à l'enregistrement de l'activité électrique de populations de neurones, aussi bien *in vitro* que *in vivo*. Plus précisément, ce sont les potentiels d'action des neurones qui sont observables. Leurs caractéristiques techniques peuvent varier grandement selon les modèles, mais un standard est d'un nombre de 60 électrodes enregistrant des signaux quantifiés sur 16 bits à des fréquences d'échantillonnage de 25 à 40 kHz. Par conséquent, nous pensons notre design électronique de SNN pour être compatible avec ces caractéristiques.

Nous utilisons les MEAs comme source de données à traiter : la tâche est de détecter et classifier en différentes catégories les potentiels d'action présent dans les signaux de chaque électrode. Ce problème central en neurosciences expérimentales et électrophysiologie est plus communément connu sous le nom de *spike sorting* [4].

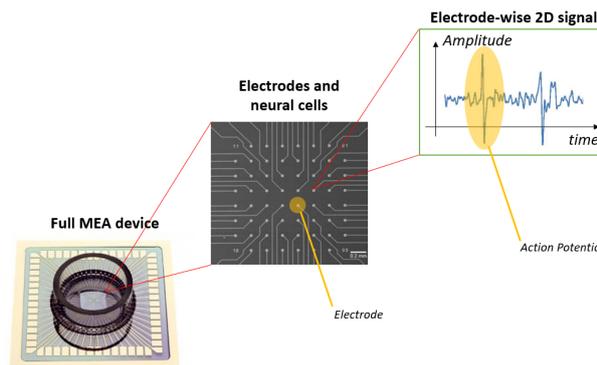


FIGURE 1 – Les MEAs permettent l'observation du potentiel extracellulaire de populations de neurones, reflet de leur activité. Chaque électrode enregistre un signal 1D sur lequel les potentiels d'action d'un ou plusieurs neurones adjacents peuvent apparaître.

## 3 Réseau de neurones artificiels

Les SNNs, en tant que réseaux de neurones artificiels, suivent une architecture bien spécifique, taillée sur mesure pour le problème à résoudre. Nous reprenons celle de [5], comprenant quatre parties, ou *couches*.

La première consiste à encoder le signal d'une électrode dans une représentation plus "compréhensible" par le reste du réseau. Les neurones de cette couche d'entrée sont ensuite connectés à un neurone d'attention ayant pour rôle de détecter des potentiels d'action dans le signal d'entrée. Une fois ces spikes détectés, les deux couches de neurones suivantes (couche intermédiaire et de sortie, voir Figure 2) se chargent de les classifier par leur forme.

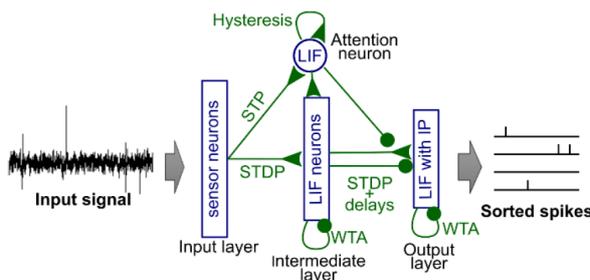


FIGURE 2 – Architecture du réseau de neurone, d'après [5].

Cet algorithme résout la tâche du spike sorting avec précision. Cependant, c'est son déploiement sur carte électronique qui détermine si les contraintes de rapidité et portabilité sont bel et bien relevées.

## 4 Implémentation matérielle

Les FPGAs (Field-Programmable Gate Array) sont des circuits intégrés constitués d'une matrice d'éléments lo-

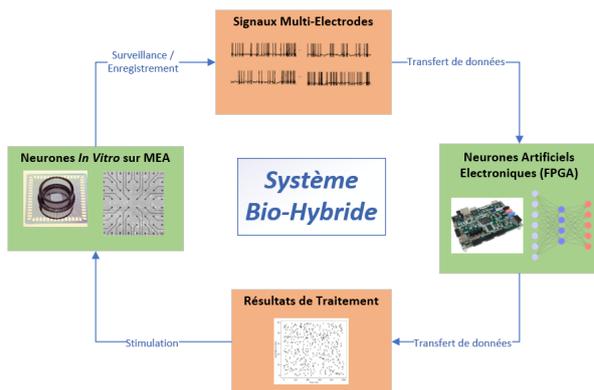


FIGURE 3 – Schéma bloc de notre design électronique, intégré dans un système bio-hybride.

giques très nombreux et reconfigurables. La parallélisation du traitement qu'ils permettent les rendent extrêmement compétitifs en termes de vitesse comparés au (micro)processeurs classiques, agissant de manière séquentielle. Bénéficiant également d'un temps de développement réduit par rapport aux ASICs (Application Specific System on Chip), les FPGAs constituent donc une cible hardware idéale pour la recherche et le développement de systèmes bio-hybrides.

#### 4.1 Transferts de données

La communication entre le producteur de données (ici, capteur MEA) et la partie de traitement (ici, SNN) est essentielle pour la viabilité d'un système temps réel. Dans le cas des MEAs, la quantité de données à transmettre jusqu'à notre design est conséquente. Dans les conditions de fonctionnement que nous nous sommes imposées, le débit maximum requis est de :

$$\begin{aligned}
 Q &= N_{\text{electrodes}} \times F_{\text{sampling}} \times N_{\text{quantization}} \\
 &= 60 \times 40,000 \times 16 \\
 &= 38.4 \text{ Mbit/s}
 \end{aligned}$$

L'importance de ce débit, couplée au mode de transfert en *stream* (i.e., flux de données constant) inhérent aux capteurs MEA, nous a orienté vers une solution tirant profit de l'architecture mixte des SoCs Zynq de Xilinx. Ces derniers sont composés de deux parties distinctes à vocations différentes : un processeur (*Processing System*, PS) et une partie en logique programmable (*Programmable Logic*, PL). Dans notre cas, la source de données communique via le protocole USB 2.0 avec la PS, qui sert de relais avant de renvoyer les données reçues vers la PL (contenant le SNN pour le traitement) à travers le protocole AxiStream. Les débits maximaux permis par ces deux protocoles permettent d'atteindre la vitesse de communication minimale énoncée ci-dessus.

#### 4.2 Architecture électronique

Dans notre approche, chaque électrode est traitée indépendamment des autres. Le nombre à traiter (60) est trop important pour permettre une simple duplication d'un design fonctionnel pour un seul canal : en effet, les ressources matérielles (logiques) qu'embarquent les FPGAs ne sont pas infinies. Afin de traiter les différentes électrodes à vitesse suffisante et sans consommer trop de ressources, nous adoptons une architecture matérielle sous forme de *pipeline* : il s'agit de décomposer le traitement des données de chaque électrode en plusieurs modules élémentaires, qui sont réutilisés d'un canal à l'autre.

### 5 Conclusions

Nous avons présenté notre travail d'implémentation matérielle sur FPGA d'un SNN pour le traitement temps réel de données issues de capteurs MEA. Nous voulons notre système léger, compact, robuste et polyvalent. Il s'agit d'un bloc central pour la mise en place de systèmes bio-hybrides à but thérapeutique ou de recherche. A l'issue de son développement, nous souhaiterions l'utiliser et le mettre à la disposition d'autres laboratoires pour le développement d'expériences de neurosciences.

### 6 Remerciements

Ce projet de recherche a été fondé par l'Agence Nationale de la Recherche (Project-ANR-20-CE45-0005).

### Références

- [1] Famm, Kristoffer et al. "Drug discovery : a jump-start for electroceuticals." *Nature* vol. 496,7444 (2013) : 159-61. doi :10.1038/496159a
- [2] Chiappalone, M. and Pasquale, V. and Frega, M. "In Vitro Neuronal Networks From Culturing Methods to Neuro-Technological Applications : From Culturing Methods to Neuro-Technological Applications.", 2019, doi : 10.1007/978-3-030-11135-9.
- [3] Davies et al., "Loihi : A Neuromorphic Manycore Processor with On-Chip Learning," in *IEEE Micro*, vol. 38, no. 1, pp. 82-99, January/February 2018, doi : 10.1109/MM.2018.112130359.
- [4] Magland et al., "SpikeForest, reproducible web-facing ground-truth validation of automated neural spike sorters", *eLife*, vol. 9, May 2020, doi : 10.7554/eLife.55167
- [5] M. Bernert and B. Yvert, "An Attention-Based Spiking Neural Network for Unsupervised Spike-Sorting", *International Journal of Neural Systems*, vol. 29, December 2018, doi : 10.1142/S0129065718500594

# Le rôle de Big Data Analytics dans l'amélioration de la durabilité des entreprises en réseau

---

Lahcen Tamym<sup>1</sup> Ahmed Nait Sidi Moh<sup>2</sup> Lyes Benyoucef<sup>3</sup> Moulay Driss El Ouadghiri<sup>4</sup>

l.tamym@edu.umi.ac.ma ahmed.nait@univ-st-etienne.fr lyes.benyoucef@lis-lab.fr d.elouadghiri@umi.ac.ma

<sup>1,4</sup> Université Moulay Ismail  
Laboratoire IA , Meknès, Morocco.

<sup>2</sup> Université de Lyon, Université Jean Monnet Saint-Etienne  
Laboratoire LASPI, IUT de Roanne, France.

<sup>3</sup> Aix-Marseille Université, Université de Toulon  
CNRS, LIS, Marseille, France.

**THÈMES** – *Informatique - Management - Environnement*

**RÉSUMÉ** – *De nos jours, le monde connaît un développement et une évolution rapides des technologies, des environnements économiques vulnérables, des changements de marché et des tendances de consommation personnalisées. Les problèmes et les défis liés à la conception des entreprises en réseau (ERs) sont de plus en plus critiques. Ces réseaux sont souvent conçus à court terme car leurs stratégies doivent être compétitives et mieux adaptées à l'environnement et aux changements sociaux et économiques. Pour faire face à ces défis, les données en masse ou Big Data (BD) offre à la gestion des ERs la capacité de traiter le compromis entre des critères qualitatifs et quantitatifs conflictuels tels que le coût, la qualité, le délai de livraison, la compétitivité et le développement durable. À cette fin, nous présentons dans cet article un aperçu de la manière dont les ERs envisagent d'intégrer la durabilité dans leurs opérations, leurs activités. Nous étendons cette intégration pour couvrir les parties prenantes directs et indirectes dans leurs processus business. En outre, nous présentons certains avantages de l'utilisation de la technologie BD dans la gestion de la durabilité des ERs.*

**MOTS-CLÉS** – *Gestion des entreprises en réseau, Big Data, durabilité, réseau des chaînes logistiques.*

## 1 Contexte et motivations

Aujourd'hui, Big Data Analytics (BDA) a été considérée comme "game-changer" pour la gestion des ERs [1]. Ainsi, BDA pourrait être utilisée pour développer des stratégies intelligentes qui permettent d'améliorer les performances organisationnelles via l'innovation, la prise des décisions efficaces, la compétitivité, la création d'une valeur durable, pour mentionner quelques-unes. Alors que le monde se dirige vers un avenir plus durable, les gouvernements et les parties prenantes (partenaires business, clients, régulateurs, institutions, entreprises) collaborent entre eux pour exécuter ce plan et promouvoir la solidarité mondiale [2]. Il existe de nombreux types de ERs dans la littérature, tels que les entreprises étendues (EEs), les réseaux des chaînes logistiques (RCLs), et les clusters industriels (CI). Dans ces types de réseaux, les entreprises travaillent en collaboration pour atteindre des objectifs communs. De plus, ce processus de collaboration est connu par goal-oriented network (GON). Ce dernier (GON) est caractérisé par des relations fortes entre les entités du réseau, un processus de production continu, une stabilité et des responsabilités dans le temps [3]. Les ERs du monde entier sont conscientes de la pression exercée par les parties prenantes, des restrictions gouvernementales, de la nécessité d'adopter un comportement transparent dans l'utilisation des ressources naturelles, de leur influence sur les écosystèmes locaux et mondiaux, ainsi que de la protection des gens et du développement des communautés [2]. De plus, ce type d'entreprises est confronté à de nombreux problèmes de la durabilité liés à des défis environnementaux, sociaux ou économiques. Cela nous amène à répondre à notre première question de recherche que nous nous posons dans ce contexte : quels sont les plans de ces entreprises pour répondre aux problèmes de durabilité économique, sociale et environnementale ?.

Par ailleurs, de nombreuses études ont été menées pour étudier l'utilisation de BDA afin d'améliorer la gestion de la durabilité des ERs. Compte tenu du fait que BDA est un sujet encore prééminent, et que son exploitation dans le domaine de la durabilité est encore plus récente, il existe peu d'informations sur la façon d'appliquer BDA de manière efficace pour atteindre les objectifs et faire face aux défis de la durabilité. Sans une compréhension assez claire et approfondie de ce concept, les parties prenantes dans les domaines importants de la durabilité pourraient se trouver dans l'impossibilité d'atteindre les objectifs de développement durable (ODD) d'ici 2030 [2]. Dans ce contexte, nous répondons dans ce travail à notre deuxième question de recherche : Comment les applications BDA peuvent-elles permettre aux ERs de construire des réseaux à long terme qui sont socialement, économiquement et environnementalement durables ? Par conséquent, nous identifions les motivations suivantes : 1) La durabilité des entreprises est un problème émergent, 2) La collaboration entre les ERs leur permettra d'atteindre le développement durable, et 3) L'intégration de BDA dans la gestion des ERs est une clé pour aborder les problèmes de la durabilité économique, sociale et environnementale.

## 2 Aperçu

### 2.1 Durabilité

La durabilité consiste à répondre aux demandes actuelles sans compromettre la capacité des générations fu-

tures à satisfaire leurs propres besoins. De plus, c'est en général l'interaction qui existe entre les aspects environnementaux, sociaux et économiques, qui sont considérés comme les piliers de la durabilité [4]. Plus précisément, il s'agit de réaliser le développement économique, l'inclusion sociale et la conservation de l'environnement [5]. L'aspect économique fait référence à la capacité d'une entreprise ou une ER à réaliser des bénéfices durables. L'aspect social, quant à lui, concerne la capacité d'une entreprise ou une ER à offrir des avantages sociaux à la communauté. Quant à l'aspect environnemental, il s'agit des mesures prises par une entreprise ou une ER pour protéger les ressources naturelles de son écosystème. Dans le monde d'aujourd'hui, la durabilité pourrait être considérée comme un indicateur de performance pour les entreprises. En conséquence, des difficultés sociales et environnementales telles que la pollution, la pauvreté, les préjugés, les crimes et les changements climatiques sont apparus dans la majorité des villes du monde [6]. Il est difficile de guider les activités visant à atteindre les ODD pour la durabilité mondiale car chaque objectif de développement aborde une variété de problèmes et implique un large éventail des parties prenantes.

### 2.2 Des entreprises durables en réseau

Les ERs font de plus en plus de promesses publiques de durabilité en réduisant les déchets, en investissant dans les énergies renouvelables et en soutenant les organisations qui s'ouvrent pour un avenir plus durable. Les normes de la durabilité sont utilisées dans les ERs dans une variété de secteurs et d'industries, y compris l'agriculture, l'exploitation minière, la foresterie, les produits chimiques et les pêcheries. Selon les règles de l'ITC (International Trade Centre), les articles agricoles sont les produits les plus souvent couverts, suivis par les aliments transformés [7]. Ainsi, la création de biens verts et de nouveaux services moins nocifs pour l'environnement et la société rendra les entreprises plus compétitives sur le marché mondial moderne [8]. Les problèmes environnementaux et sociétaux, tels que l'abus des travailleurs ou des parties prenantes, l'absence d'investissement dans les technologies du futur, conduisent les entreprises à une zone de mauvais jugement, ainsi qu'à des plans à court terme et à une perspective uniquement financière. De même, de mauvaises politiques environnementales, l'absence d'investissement dans les communautés de population les pousseront à un coût élevé, mettant ainsi leur survie et leur réputation en danger. Les ERs sont donc conscientes de l'importance de la création de valeur durable, qui peut être décrite comme la capacité de l'entreprise à utiliser son capital (c'est-à-dire tangible, intangible et naturel) pour générer de la valeur et des bénéfices dans le présent. Ceci tout en maintenant la viabilité à long terme de son capital et son potentiel de développement de la richesse [9].

## 3 Big Data pour la gestion de la durabilité des entreprises en réseau

La BDA pour le développement durable a reçu une grande attention de la part des chercheurs en tant que sujet prometteur et d'actualité, désigné sous le nom "sustainability analytics (SA)". Ainsi, de nombreuses innovations méthodologiques importantes ont été proposées pour résoudre les problèmes de durabilité à l'aide de la technologie BDA

[10]. En outre, SA permet aux entreprises de rationaliser leurs opérations, de fournir des informations importantes et d'améliorer la qualité de leurs services, l'évolution vers des biens et services écologiques, ainsi qu'une valeur commerciale durable.

BD est souvent définie par les cinq V (volume, véricité, variété, vélocité et valeur). Ainsi, les BD sont générées par diverses sources tout au long des opérations et des activités des ERs. Ces données peuvent provenir de l'intérieur des entreprises, de leurs parties prenantes directes ou indirectes, ainsi que des aspects sociétaux et environnementaux. En effet, les entreprises collectent et analysent ces données sur un large éventail de facteurs liés à la durabilité, tels que l'utilisation de l'énergie et des ressources, les émissions des gaz, la performance logistique, en s'appuyant sur des outils et des techniques de BDA. Cela leur permettra d'obtenir les informations nécessaires pour guider leurs initiatives en matière de durabilité et améliorer l'efficacité globale des ressources et le développement durable, comme le montre la figure 1. En outre, la BDA permettra aux entreprises d'effectuer des analyses de durabilité en temps réel sur des volumes massifs de données et de maintenir des liens entre les éléments économiques, sociaux et environnementaux. À cette fin, afin de reconnaître les opportunités que la BDA offre à la société, à l'environnement et à l'économie, les Nations Unies ont créé en 2017 le programme " BDA pour le développement durable " afin de réaliser les ODD [11], également appelés grands défis (GC).

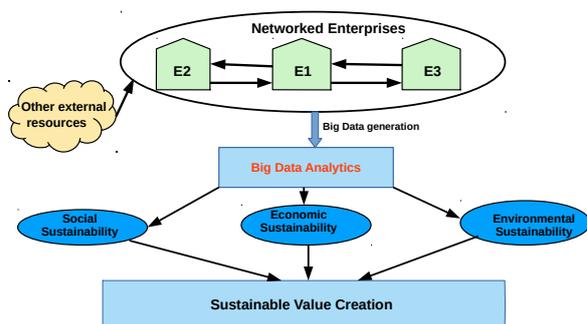


FIGURE 1 – Création de la valeur de durabilité au sein des ERs

Numériser et perpétuer leurs business modèles (BMs), les entreprises sont de plus en plus conscientes des avantages de la technologie BD. Ainsi, l'exploitation de la BDA sur des données générées par diverses sources (Internet des objets, systèmes d'information d'entreprise, contenu du web, réseaux sociaux, rapports environnementaux, etc.) transformera de manière significative les BMs durables des entreprises. En outre, l'intégration de la BDA dans le BM durable de l'entreprise améliorera ses processus commerciaux internes, enrichira ses produits et services en les faisant répondre aux besoins environnementaux et sociaux, et enrichira les expériences des clients.

## 4 Conclusion

Le business conventionnel d'un RE se concentre sur la réalisation de bénéfices et la valeur économiques uni-

quement. Par contre, le monde actuel est en train d'évoluer vers des business modèles durables qui prennent en considération de plus les aspects social et environnemental. En effet, les ERs qui n'intègrent pas les mesures de la durabilité dans leurs opérations, leur processus décisionnel ou leur BMs ne peuvent être considérés comme des entreprises durables réussies. Pour combler cette lacune, nous avons montré dans cet aperçu comment différents types des ERs travaillent en collaboration pour atteindre leur durabilité, ainsi que les avantages de l'intégration de la technologie de la BD dans la gestion de la durabilité des ERs. En outre, nous avons démontré le rôle de BDA dans la résolution des problèmes économiques, sociaux et environnementaux des ERs durables.

## Références

- [1] S.F. Wamba and S. Akter. Big data analytics for supply chain management : A literature review and research agenda. *Lecture Notes in Business Information Processing*, 231 :61–72, 2015.
- [2] United Nations. Transforming our world : the 2030 agenda for sustainable development. Accessed 20/03/2022.
- [3] Lahcen Tamym, Lyes Benyoucef, Ahmed Nait Sidi Moh, and Moulay Driss El Ouadghiri. A big data based architecture for collaborative networks : Supply chains mixed-network. *Computer Communications*, 175 :102–111, 2021.
- [4] Liam Magee, Andy Scerri, Paul James, James Thom, Lin Padgham, Sarah Hickmott, Hepu Deng, and Felicity Cahill. Reframing social sustainability reporting : Towards an engaged approach. *Environment, Development and Sustainability*, 15, 02 2013.
- [5] Tom Kuhlman and John Farrington. What is sustainability? *Sustainability*, 2(11) :3436–3448, 2010.
- [6] Gerard George, Jennifer Howard-Grenville, Aparna Joshi, and Laszlo Tihanyi. Understanding and tackling societal grand challenges through management research. *Academy of Management Journal*, 59 :1880–1895, 12 2016.
- [7] Niematallah E.A. Elamin and Santiago F. de Córdoba. The trade impact of voluntary sustainability standards : A review of empirical evidence. 2020.
- [8] Chris Laszlo and Patrick Cescou. *Sustainable Value : How the World's Leading Companies Are Doing Well by Doing Good*. 09 2017.
- [9] Danone. Creating and sharing sustainable value. Retrieved 21.09.2021.
- [10] Zhihan Lv, Rahat Iqbal, and Victor Chang. Big data analytics for sustainability. *Future Generation Computer Systems*, 86 :1238–1241, 2018.
- [11] Dan Zhang, Shan L. Pan, Jiixin Yu, and Wenyan Liu. Orchestrating big data analytics capability for sustainability : A study of air pollution management in china. *Information & Management*, page 103231, 2019.

# Méthodes de détection de défauts de tissages métalliques en vue d'une démarche contrôle qualité

---

Olivier Caspary<sup>1</sup>      Samia Kechir<sup>1</sup>      François Devillard<sup>1</sup>  
olivier.caspary@univ-lorraine.fr    samia.kechir@univ-lorraine.fr    francis.devillard@univ-lorraine.fr

<sup>1</sup> IUT Saint-Dié-des-Vosges  
Laboratoire de Conception, Optimisation et Modélisation des Systèmes  
EA 7306, Université de Lorraine UFR MIM Ile du Saulcy 30309 57000 METZ, Cedex 1

**THÈMES** – *Informatique - Imagerie*

**RÉSUMÉ** – *Cet article présente différentes méthodes de détection de défauts appliquées à des images de tissages métalliques. L'approche se veut aussi bien pédagogique que recherche afin de répondre à un besoin industriel. La première réflexion consiste à exploiter la géométrie des tissages constituée d'un quadrillage de mailles régulières carrées. Dans un second temps, nous recherchons des caractéristiques des images issues de la matrice GLCM (Grey Level Co-Occurrence Matrix) d'Haralick, comme entrées d'algorithmes de classification (SVM, KNN). L'étude porte ensuite sur la détection à l'aide de modèles d'intelligence artificielle pré-entraînés de type réseaux de neurones convolutifs (CNN). Nous concluons sur la possibilité d'employer ces méthodes pour une détection temps réel.*

**MOTS-CLÉS** – *détection, images, classification, IA.*

## 1 Introduction

L'analyse de textures dans les images et leur classification représentent un champ de recherche exploré depuis quelques décennies [1]. Il connaît un regain d'intérêt notamment avec les techniques d'apprentissage profond qui mettent en oeuvre des réseaux de neurones convolutifs (CNN) [2]. Un domaine d'application possible est celui de la détection de défauts dans les tissages ou toiles métalliques pour la mise en place d'une détection automatique, plutôt qu'une analyse visuelle réalisée par une personne. La base à notre disposition est constituée d'images de deux types de toiles dites TM48 et TM81\_69 avec, pour chaque type de toiles : 50 images sans défaut et 50 images avec défauts, subdivisées en fond sombre et en fond clair, sauf pour TM81\_69. Les images sont au format JPEG sur 3 canaux en 256 niveaux de gris et ont une dimension de 1280x960 pixels.

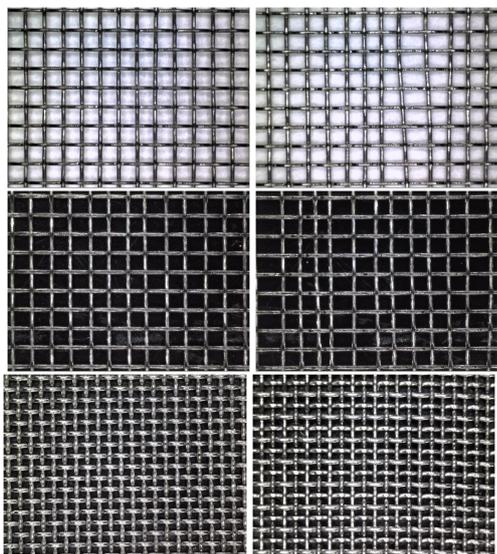


FIGURE 1 – Exemple de toiles (gauche : sans défaut, droite : avec défaut)

Les toiles contiennent toutes un quadrillage de mailles régulières carrées mais la résolution des images et les reflets sur le métal rendent ce quadrillage moins apparent pour les toiles TM81\_69 et donc ses défauts également (voir figure 1). Le quadrillage peut être légèrement incliné. Le contraste est moindre avec un fond sombre. Les sections suivantes illustrent différentes possibilités de détections selon les informations traitées : surface carrée de l'ouverture de la maille par contours, répétitions de motifs par corrélation (caractéristiques de la matrice GLCM) puis classification, approche globale par réseaux CNN pré-entraînés.

## 2 Détection de défauts à l'aide des contours

La méthode appliquée s'appuie sur les informations disponibles à savoir, dans notre cas, l'ouverture d'une maille qui correspond à un carré d'environ 80x80 pixels et un fil à une épaisseur de 20 pixels ; l'orientation des fils est hori-

zontale et verticale. Les étapes sont les suivantes :

- Binarisation des images en noir et blanc
- Opération morphologique d'érosion puis de dilata-tion avec un élément carré inférieur à 20 px
- Détection des contours des mailles
- Suppression des valeurs aberrantes (ouvertures in-complètes en bordure d'images)
- Calcul des différences maximales en largeur et en hauteur des contours (en pixels)
- Classification (sans défaut si différences < 40 px)

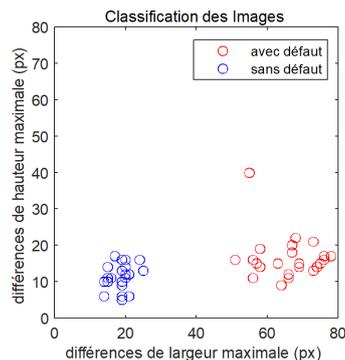


FIGURE 2 – Détection de défaut (images avec un fond clair)

Dans la figure 2, pour les images avec défaut, les différences élevées en largeur indiquent l'orientation des défauts (déviations verticales de fils métalliques). La classification s'effectue simplement, par exemple avec un seuil des différences fixé à 40 px, et permet une bonne séparation entre les images avec et sans défauts. Pour les images avec un fond sombre, on procède par complément de niveaux de gris avant d'appliquer les étapes décrites précédemment. Cependant, le manque de contraste et les reflets peuvent parfois conduire à des résultats peu significatifs.

## 3 Détection à l'aide de la matrice GLCM

Pour améliorer la détection quel que soit le fond, nous calculons la matrice GLCM (Gray Level Co-occurrence Matrix) d'Haralick pour chaque image. Celle-ci utilise des paires de pixels pour lesquels on choisit la distance et l'angle entre eux. [3]. Nous estimons ensuite la corrélation des niveaux de gris pour l'ensemble constitué des paires de pixels, en faisant varier la distance et l'angle pour trouver une corrélation maximale proche de 1. La binarisation des images accentue les corrélations. Quand un défaut se produit, la corrélation diminue de manière significative pour les angles concernés. Au niveau des calculs, il suffit de trouver le premier pic de corrélation autour de 100 pixels. Pour la base d'images TM48, un premier jeu d'entraînement composé de 80 images est présenté en figure 3 avec des mesures de corrélation à 45° et 135° et une classification SVM (Support Vector Machine) de ces mesures. Le principe des SVM consiste à ramener un problème de classification ou de discrimination à un hyperplan dans lequel les données sont séparées en plusieurs classes dont la fron-

tière est la plus éloignée possible des points de données. Le jeu de test comprend 20 images. Le tableau 1 donne les précisions moyennes obtenues avec ce jeu et des méthodes de classification. A noter qu'une image a mis en défaut ces méthodes.

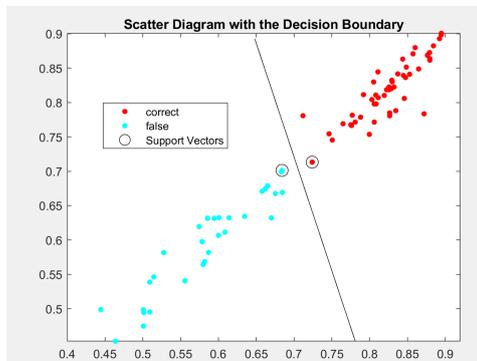


FIGURE 3 – SVM (Train) des mesures de corrélation

TABLEAU 1 – résultats de méthodes de classification

Modèle	% (Train)	% (Test)
SVM Linéaire	98,475	95
Régression logist.	96,875	92,5
KNN* Cubique	99,1	95

KNN\* (K-Nearest Neighbors) : pour un nouveau point d'entrée, on regarde ses k voisins les plus proches, puis quelle classe constitue la majorité de ces points, afin d'en déduire sa classe d'appartenance.

La détection à l'aide des corrélations s'applique aussi bien pour les images de fond clair que celles de fond sombre de la base TM48. Cependant, la résolution étant trop faible avec la base TM81\_69 avec des reflets plus importants sur fond sombre, une approche globale est proposée ci-après.

#### 4 Détection par modèles CNN Pré-entraînés

Comme modèles CNN pré-entraînés, nous utilisons AlexNet et ResNet18 avec les partitions des bases d'images : 80% Train, 20% Test [2] [3]. Ils présentent la particularité de réduire la perte de gradient, notamment par la fonction d'activation ReLU dans les différentes couches du modèle. Un redimensionnement des images a lieu en entrée. Les résultats sont présentés dans le tableau 2.

TABLEAU 2 – résultats AlexNet et ResNet18 (Test)

Modèle	% (TM48)	% (TM81_69)
AlexNet	95,5	100
ResNet18	95,5	100
AlexNet aug.	93,5	100
ResNet18 aug.	98	100

Bien que les bases d'images soient petites, nous obtenons 100% de détection de défauts pour la base TM81\_69 avec les modèles pré-entraînés AlexNet et ResNet18

(TM81\_69 : 30 epochs, SGDM, lr=0,01, TM48 : 30 epochs, Adam, lr=0.001) mais une performance légèrement moindre pour la base TM48. Un "epoch" est le nombre de passages de l'ensemble des données d'entraînement que l'algorithme d'apprentissage automatique a effectué. SGDM (Stochastic Gradient Descent with momentum) est une méthode de descente du gradient pour minimiser l'erreur lors de l'apprentissage, lr (learning rate) est la valeur initiale pour SGDM afin d'assurer sa convergence.

L'augmentation artificielle de la base d'images par une rotation de 2° et une translation horizontale et verticale de 1,5 pixel permet d'améliorer la détection de 2,5% pour ResNet18 mais pas pour AlexNet. La moindre performance sur la base TM48 s'explique par le fait que cette base comprend la moitié d'images avec un fond sombre et l'autre moitié avec un fond clair, alors que la base TM81\_69 ne comprend que des images avec un fond sombre. Autrement dit, ces 2 bases ne sont pas exactement de même nature ce qui se traduit par une légère différence des taux de détection des défauts.

Maintenant, nous proposons de redimensionner les images en une taille 168x224x1 pixels, sans modifier les motifs, afin d'appliquer un modèle CNN avec 3 ensembles (Conv2d, MaxPool2d, ReLU) et les conditions [30 epochs, SGDM, lr=0,01], soit un modèle 4 couches. Les résultats sont moindres mais corrects avec 98,5% de classification pour la base TM81\_69. Cependant, pour la base TM48, la convergence n'est obtenue qu'en augmentant le nombre de classes à 4 pour prendre en compte les fonds. Le nombre d'images s'avère alors insuffisant pour obtenir une bonne performance de classification.

#### 5 Conclusions

Parmi les méthodes, celle par contours présente l'avantage de la robustesse, d'un unique seuil à fixer et de la possibilité d'étiqueter les contours si on souhaite une localisation plus précise des défauts, à condition d'avoir un contraste sur fond clair. Les résultats sont directement liés à la géométrie des tissus métalliques, ce que préfère l'industriel pour l'implantation. S'il s'agit de caractériser précisément des défauts, la détection par CNN, voire même en ajoutant un autoencodeur, permet de les saisir, encore faut-il disposer des bases d'images appropriées.

#### Références

- [1] L. Liu et al., *From BoW to CCN : Two decades of texture representation for texture classification*, Int. J. of Computer Vision, 127(1) :74-109, 2019.
- [2] R. Yamashita et al., *Convolutional neural networks : an overview and application in radiology*, Insights into Imaging, 9 :611-629, 2018.
- [3] L. Armi and S. Fekri-Ershad, *Texture image analysis and texture classification methods - a review*, Int. Online J. of Image Processing and Pattern Recognition 2(1) :1-29, 2019.

---

## Ordonnancement et séquençement des opérations de décollage et d'atterrissage des véhicules de mobilité aérienne avancée (AAM) aux vertiports

---

Julián Alberto Espejo-Díaz<sup>1</sup> Edgar Alfonso-Lizarazo<sup>2</sup> Jairo R. Montoya-Torres<sup>3</sup>

julian.alberto.espejo.diaz@univ-st-etienne.fr edgar.alfonso.lizarazo@univ-st-etienne.fr  
jairo.montoya@unisabana.edu.co

<sup>1,2</sup> Université de Lyon, Université Jean Monnet-St-Etienne  
LASPI, EA3059, 42023 Saint-Étienne, France

<sup>1,3</sup> Universidad de La Sabana, Facultad de ingeniería, Colombia  
Grupo de Investigación en Sistemas Logísticos

**Thèmes** – *Modélisation mathématique, Recherche opérationnelle*

**Résumé** – *Les progrès dans le domaine des véhicules électriques à décollage et atterrissage verticaux suggèrent, que dans un future proche, ces véhicules pourraient transporter efficacement et en toute sécurité des personnes et des marchandises dans les zones urbaines. Ces dernières années, des organisations et des gouvernements ont manifesté un intérêt considérable pour l'établissement d'un marché rentable pour des services tels que les taxis aériens. Malgré cet intérêt, il y a peu de travaux sur des décisions opérationnelles relatives au décollage et à l'atterrissage de ces véhicules dans les vertiports, qui sont considérés comme les aéroports des véhicules de mobilité aérienne avancés (AAM). Dans ce travail, nous proposons différents modèles de programmation linéaire mixte en nombres entiers (MILP) pour l'ordonnancement et le séquençage des opérations de décollage et d'atterrissage des véhicules AAM dans les vertiports, en tenant compte des différentes contraintes liées aux règles de séparation, les contraintes de blocage et les contraintes de fenêtres de temps.*

**Mots-Clés** – *Mobilité aérienne avancée, optimisation, vertiport, Ordonnancement et séquençement*

## 1 Introduction

Au cours des dernières décennies ont existé des multiples initiatives avec l'objet de développer et établir des nouveaux services de transport aérien dans le monde. Un exemple de ces initiatives est le taxi aérien S-A1 développé par Uber and Hyundai qui aura une capacité de quatre passagers et pourra réaliser des vols autonomes [1].

D'une autre part, il y a des initiatives gouvernementales telles comme le programme « Advanced air mobility » de la NASA portant sur les marchés d'aviation émergents qui utilisent des véhicules de décollage et atterrissage verticaux (eVTOL par ses sigles en anglais) [2]. Ces nouveaux services de transport font partie du concept de mobilité aérienne avancée (AAM par ses sigles en anglais). Celle-ci réunit les systèmes responsables afin que les opérations d'aviation émergentes soient sûres, efficaces et accessibles dans les aires urbaines, sous-urbaines et rurales [3]. Un élément important des services d'AAM sont ses aires d'atterrissage et de décollage connues comme « vertiports ». La compagnie de transport UBER considère l'administration des vertiports comme un des défis les plus grands pour établir les services AAM dans le monde [4].

Pour affronter le grand nombre d'aéronefs qui utiliseront les AAM, les contrôleurs aériens devront compter avec des outils permettant une opération efficace pour l'ordonnancement et le séquençement des décollage et atterrissage des véhicules. Pour cela nous proposons dans ce travail un modèle d'optimisation pour ordonnancer les opérations de décollage et atterrissage des aéronefs sur les vertiports.

Notre proposition considère des caractéristiques opérationnelles telles que les temps de séparation minimale et les créneaux horaires pour atterrir et décoller. D'autre part, notre modèle mathématique évite que deux aéronefs utilisent la même zone du vertiport simultanément. L'objectif du modèle mathématique est de minimiser le temps d'achèvement de la dernière opération (makespan), soit de décollage ou d'atterrissage. Nous détaillons par la suite le problème à résoudre.

## 2 Description du problème

Selon [5], un vertiport est composé d'une aire de parking (hangar), des portes pour charger ou décharger des passagers ou des marchandises, aires de décollage et atterrissage (TLOF pad par ses sigles en anglais) et des pistes de circulation qui communiquent les zones précédentes. Pour décoller, un aéronef sort de l'aire de parking, charge ses passagers ou marchandises à une porte et décolle depuis un TLOF pad. Le processus

d'atterrissage est l'opposé. Les aéronefs atterrissent dans un TLOF pad, déchargent ensuite les marchandises ou les passagers pour finalement se garer dans le hangar.

Afin de réaliser le séquençement, les contrôleurs aériens doivent affecter, à chacun des aéronefs, une porte, un TLOF pad et l'autoriser à faire le roulage sur les pistes à un moment donné. Pour cela, on doit considérer :

- Un temps de séparation minimum entre deux aéronefs consécutifs qui utilisent le même TLOF pad. Ceci afin d'éviter qu'ils soient dans la même phase de vol vertical.
- Deux ou plus des aéronefs ne peuvent pas utiliser la même zone simultanément.
- Les aéronefs doivent atterrir et décoller dans son créneau horaire déterminé.

Nous décrivons ensuite le modèle mathématique.

## 3 Modèle mathématique

Le problème d'ordonnancement et de séquençement des aéronefs consiste à prendre deux décisions. La première est celle d'affecter à chaque aéronef les portes et les TLOF pad correspondants. La seconde décision est celle d'établir l'ordre dans lequel les aéronefs utiliseront les zones. En considérant que les aéronefs qui décollent suivent tous le même flux, ainsi que ceux qui atterrissent, le problème peut être modélisé comme un cas particulier du problème de flowshop hybride (HFS par ses sigles en anglais). Pour résoudre le problème, nous proposons un modèle de programmation mixte en nombres entiers (MILP). Comme fonction objectif, le temps d'achèvement de la dernière opération (makespan) est à minimiser. Le modèle mathématique a les contraintes suivantes.

1. Chaque aéronef utilise une zone par étape
2. Les aéronefs peuvent aller à une autre zone de l'étape suivante s'il est vide.
3. Deux ou plus des aéronefs ne peuvent pas utiliser la même zone simultanément.
4. Les aéronefs doivent rester dans la zone jusqu'à ce que la zone de l'étape suivante soit libéré.
5. Un temps minimum de séparation doit être respecté.
6. Les créneaux horaires doivent être respectés.

Tableau 1 – Résumé des résultats expérimentaux

Scénario	Nombre d'aéronef au décollage et à l'atterrissage	Fonction objectif (makespan) (secondes)			Temps de calcul (secondes)		
		Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max
1	3, 3	499	520.2	550	0.261	0.6706	1.534
	6, 6	832	859.3	889	12.744	14.5701	16.7
	9, 9	1099	1121.5	1142	244.243	394.065	642.3
2	3, 3	486	501.8	525	0.451	0.7934	1.545
	6, 6	702	723.4	748	23.21	59.809	141

#### 4 Expérimentation et résultats

Afin d'évaluer la performance du modèle mathématique, nous considérons deux configurations de vertiports. La première a trois portes et trois TLOF pads, alors que la seconde a six portes et six TLOF pads. Une piste de circulation est considérée aussi entre le hangar et les portes et une autre piste entre les portes et les TLOF pads. Le temps minimum de séparation est fixé à 90 secondes, d'après le travail de [6]. Nous considérons 10 ensembles de données pour chaque scénario.

Le tableau 1 présente les valeurs minimale, moyenne et maximale de la fonction objet, ainsi que les temps de calcul obtenus.

Plusieurs conclusions peuvent être obtenues à partir des expériences numériques. Premièrement, le modèle mathématique donne l'ordonnancement optimum pour les petites instances (avec moins de 18 véhicules). Cependant, pour les instances avec plus de véhicules et vertiports plus grands, le temps de calcul a dépassé la limite de calcul fixée à 3600 secondes. Par conséquent, pour des instances plus grandes, une méthodologie de solution approchée est suggérée. D'une autre part, la fonction objectif (makespan) diminue lorsque le vertiport a plus de portes et plus de TLOF pads.

#### 5 Conclusions

Avec les dernières avancées technologiques en véhicules de décollage et atterrissage électrique et l'intérêt des entités publiques et privées pour étendre les services de mobilité aérienne avancée, il y aura une expansion de ces services dans le monde. Un aspect crucial lors de cette expansion est le traitement des installations d'atterrissage et de décollage, connues comme vertiports. Dans ce contexte, dans ce travail nous avons étudié le problème d'ordonnancement et séquençage d'aéronefs.

Nous avons proposé un modèle de programmation mixte en nombres entiers en considérant un temps minimal de séparation entre aéronefs, les créneaux

horaires et les contraintes de blocage. Après ce travail, ils existent multiples lignes de recherche encore ouvertes. Par exemple, le développement des méthodologies de solution approchées, telles que les heuristiques, ainsi que l'étude d'autres fonctions objectives comme la minimisation du retard maximum.

#### Références

- [1] Hyundai, "Hyundai and Uber Announce Aerial Ridesharing Partnership, Release New Full-Scale Air Taxi Model at CES," 2021. <https://www.hyundai.com/worldwide/en/company/new-sroom/-0000016369> (accessed Mar. 07, 2021).
- [2] NASA, "Advanced Air Mobility Mission Overview," 2021. <https://www.nasa.gov/aam/overview/> (accessed Mar. 02, 2022).
- [3] A. P. Cohen, S. A. Shaheen, and E. M. Farrar, "Urban Air Mobility: History, Ecosystem, Market Potential, and Challenges," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 22, no. 9, pp. 6074–6087, Sep. 2021, doi: 10.1109/TITS.2021.3082767.
- [4] J. Holden and N. Goel, "Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation," *UBER*, pp. 1–98, 2016.
- [5] P. D. Vascik and R. J. Hansman, "Development of Vertiport Capacity Envelopes and Analysis of Their Sensitivity to Topological and Operational Factors," Jan. 2019, doi: 10.2514/6.2019-0526.
- [6] K. H. Goodrich and B. Barmore, "Exploratory Analysis of the Airspace Throughput and Sensitivities of an Urban Air Mobility System," Jun. 2018, doi: 10.2514/6.2018-3364.

# Orientation des lycéens dans le supérieur : immersion en téléprésence dans les enseignements universitaires

---

Timothée Duron<sup>1</sup>, Laurent Gallon<sup>1</sup>, Marine Rigal<sup>2</sup>, Eve Péré<sup>2</sup> et Valérie Mengelatte<sup>2</sup>

{timothee.duron, laurent.gallon, marine.rigal, eve.pere, valerie.mengelatte}@univ-pau.fr

<sup>1</sup> IUT des Pays de l'Adour, Université de Pau et des Pays de l'Adour  
Laboratoire d'Informatique de l'UPPA, EA 3000

<sup>2</sup> SCUIO-IP, Université de Pau et des Pays de l'Adour

**THÈMES** – *Informatique*

**RÉSUMÉ** – *Cet article présente les premiers résultats de l'utilisation de robots de téléprésence pour permettre à des élèves de terminale éloignés de notre Université, de découvrir en téléprésence nos formations universitaires, et ainsi parfaire leurs choix d'orientation dans l'enseignement supérieur. Après avoir présenté le projet, nous détaillons le processus mis en place pour arriver à utiliser un robot dans un cours, TD ou TP. Puis nous donnons les résultats d'une enquête menée auprès des premiers élèves utilisateurs quant à l'impact de l'usage du robot de téléprésence sur l'immersion à proprement parlé.*

**MOTS-CLÉS** – *orientation, immersion, robot de téléprésence*



FIGURE 1 – Le robot en immersion dans une séance de TP de chimie

## 1 Introduction

Ces dernières années, les robots de téléprésence ont fait leur apparition dans le paysage éducatif français. Dans le projet TED-i [1], ils sont utilisés pour permettre à des élèves longuement éloignés de leur établissement scolaire, pour raison de santé, de recouvrer le lien social avec leurs camarades et le corps enseignant, et de participer de manière synchrone aux activités pédagogiques de leur classe. Le robot est positionné dans la classe avec le reste du groupe et l'élève empêché s'y connecte aux horaires des cours. Il est ainsi totalement immergé dans la séance pédagogique, en même temps que ses camarades. La mobilité va lui permettre d'effectuer de multiples actions dans la classe : choix du positionnement dans la classe, participation aux travaux de groupes, visualisation de manipulations en TP, discussions avec ses pairs. L'élève peut aussi accompagner ses camarades lors des inter-cours, pause repas, ... et recouvrer le lien social si important pour les adolescents.

La problématique de la santé n'est pas la seule raison d'empêchement pour un élève. Le projet PIA 3 ACCES [2] a pour objectif d'améliorer l'orientation des lycéens (terminale) dans l'enseignement supérieur. L'une des actions mises en œuvre pour atteindre cet objectif est d'utiliser des robots de téléprésence pour permettre à des lycéens éloignés géographiquement des Universités, de découvrir les formations universitaires en s'immergeant en téléprésence dans des enseignements, depuis leur lycée. L'idée est de s'affranchir des limites géographiques, et permettre au plus grand nombre de bâtir un projet d'orientation éclairé.

Dans cet article, nous faisons un bilan des premières sessions d'immersion en téléprésence que nous avons effectuées à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA), dans le cadre du projet ACCES. Nous orientons notre analyse sur l'impact de l'utilisation du robot de téléprésence pour ce type d'activité. La section 2 présente le projet et l'organisation mise en place pour utiliser le robot dans les séances d'immersion. La section 3 est consacrée à l'ana-

lyse d'une enquête post-activité menée auprès des lycéens utilisateurs. Enfin, nous concluons et donnons des perspectives à ces premiers travaux.

## 2 Présentation du projet et mise en place des expérimentations

Nos travaux adressent deux questions de recherche :

- Q1 L'outil robot de téléprésence est-il adapté pour des séances d'immersion ?
- Q2 Quelle organisation doit-on prévoir dans les séances pour faciliter l'immersion en téléprésence ?

Dans cet article, nous ne traitons que les éléments de réponse à Q1.

Lors de notre première vague d'expérimentation, objet de cet article, nous avons sélectionné 3 lycées sud-aquitains, et identifié 9 élèves de terminale potentiellement intéressés par notre démarche. Chaque session d'utilisation du robot a permis à un groupe d'élèves du même lycée (4 au max) de s'immerger dans un enseignement universitaire. En fait, chaque groupe a participé à 3 immersions : 1 CM, 1 TD, 1 TP, pour bien appréhender chaque type d'enseignement. Au niveau des thématiques, nous avons "imposé" aux étudiants le Droit (CM) et la Chimie (TD/TP). Bien entendu, par la suite, ils pourront choisir dans un panel de thématiques variées, en fonction de leurs appétences.

A la fin de chaque séance, les lycéens ont répondu à un questionnaire pour identifier les principaux facteurs favorisant ou limitant l'immersion. La section 3 présente succinctement ce questionnaire, et analyse les résultats obtenus dans les 23 réponses récoltées, en relation avec Q1 .

## 3 Analyse de l'immersion en téléprésence

### 3.1 Questionnaire d'évaluation post-immersion

Le questionnaire est structuré en deux grandes catégories : évaluation de l'activité de l'immersion, évaluation de l'impact de la téléprésence. Plusieurs questions (au moins

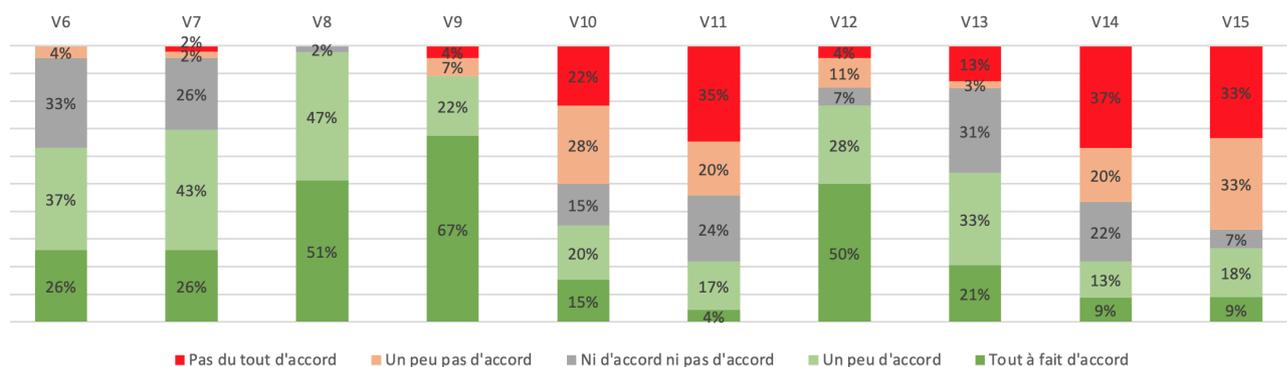


FIGURE 2 – Évaluation des variables du questionnaire

2) évaluent chaque variable de chaque catégorie. Le questionnaire a été complété par des entretiens semi-dirigés (8 élèves sur 9) postérieurs à son remplissage pour mieux comprendre les réponses.

Les variables associées à Q1 sont données ci-dessous.

#### A Évaluation de l'activité

V6 Impact sur l'orientation future du lycéen

V7 Satisfaction globale vis à vis de l'activité

#### B Évaluation de la téléprésence

V8 Représentation de l'espace distant

V9 Orientation dans l'espace distant

V10 Sentiment de présence du pilote

V11 Pilote considéré comme présent

V12 Facilité d'utiliser la mobilité du robot

V13 Facilité de communication via le robot

V14 Qualité du son

V15 Qualité de l'image

### 3.2 Résultats et interprétations

La figure 2 donne l'évaluation moyenne des variables du questionnaire. Plusieurs conclusions peuvent en être tirées.

**Éléments positifs :** la représentation de l'espace (V8) et l'orientation dans cet espace (V9) sont considérées comme suffisantes par les pilotes. L'interface de pilotage et les capteurs du robot permettent donc au pilote de bien appréhender l'espace distant. Cependant, les pilotes n'ont jamais été en présentiel dans l'espace du robot, et n'ont pas de repère de comparaison. Dans d'autres projets, nous avons pu noter que quand un pilote découvrait le lieu où il avait été téléprésent, il faisait part d'une représentation altérée de l'espace via le robot, notamment en terme de distances.

La grande majorité des pilotes n'ont pas eu de problème pour déplacer et piloter le robot (V12).

**Éléments mitigés :** la communication avec les personnes distantes n'a pas été toujours simple pour les pilotes

(V13). Cette variable regroupe les problématiques de qualité de réseau (voir ci-après) et d'organisation de la séance (temps d'échanges non prévus dans l'immersion). Les entretiens individuels nous ont montré qu'en CM, assister au cours sans forcément échanger était dérangeant (typologie pour laquelle le sentiment de présence était le plus faible).

**Éléments négatifs :** la mauvaise qualité des accès réseaux a dégradé la qualité de la visioconférence (V14 et V15). Les entretiens nous ont montré que parfois, il était difficile de bien voir le tableau (reflets, ...), ou d'entendre l'enseignant (bruit des étudiants, de l'environnement de travail, ...). De même, le sentiment de présence perçu par le pilote, et le ressenti de la présence du pilote par les personnes distantes, n'ont pas été élevés (V10 et V11). En cause, les problématiques de communication évoquées ci-dessus, qui ont détérioré les interactions potentielles entre pilote et personnes distantes.

Ceci étant dit, ces éléments négatifs n'ont pas altéré l'impression positive de la séance d'immersion auprès des lycéens, et l'impact sur leur choix d'orientation (V6, V7).

## 4 Conclusions et perspectives

Cette première expérience nous a montré que le robot pouvait être une solution efficace pour faire de l'immersion à distance, à condition d'améliorer certains aspects techniques. Nous allons travailler dans les mois à venir sur l'adjonction et l'évaluation d'outils supplémentaires (micro-cravate pour le prof, caméra supplémentaire pour le tableau, micros directionnels sur le robot, ...) pour améliorer le sentiment d'immersion, et faciliter les interactions.

## Références

- [1] <https://www.education.gouv.fr/lancement-officiel-du-programme-ted-i-destination-des-enfants-malades-par-brigitte-macron-et-jean-326500>
- [2] <https://organisation.univ-pau.fr/fr/grands-projets/acces.html>

# Pour une gouvernance des données dans les environnements connectés

---

Nouha Laamech<sup>1</sup>   Manuel Munier<sup>2</sup>   Congduc Pham<sup>3</sup>

laamech.nouha@univ-pau.fr   manuel.munier@univ-pau.fr   congduc.pham@univ-pau.fr

<sup>1,2</sup> IUT des Pays de l'Adour, Université de Pau et des Pays de l'Adour  
LIUPPA, E2S UPPA, Mont-de-Marsan, France

<sup>3</sup> Université de Pau et des Pays de l'Adour  
LIUPPA, E2S UPPA, Pau, France

**THÈMES** – *Informatique - Droit*

**RÉSUMÉ** – *Le présent article décrit notre approche pour la gestion du partage des données dans les environnements connectés. Ainsi, nous utilisons la traçabilité des données comme outil de vérification du bon respect de la licence, établie au préalable entre le fournisseur de donnée et son consommateur. Cette licence contient la liste des conditions mises en place par l'utilisateur, qui sont à respecter lors de l'utilisation de ses données. Nous souhaitons permettre d'une part aux utilisateurs d'être certains que leurs ressources sont convenablement utilisées, mais également permettre aux consommateurs de données de s'assurer qu'ils respectent bien la loi. La mise en place de notre proposition permettra de créer un monde numérique sécurisé pour tout le monde.*

**MOTS-CLÉS** – *IoT, provenance des données, sécurité de l'information, web sémantique.*

## 1 Introduction

L'internet des objets (IoT) est une composante majeure du monde connecté. Avec les milliards d'appareils connectés à Internet et l'interconnexion de nombreuses sources de données dans divers secteurs, le partage et la collecte des données constituent aujourd'hui une dynamique propre à promouvoir l'intérêt général et à favoriser le progrès technologique. Dans ce contexte, il existe un enjeu commun à inciter les utilisateurs des environnements connectés à partager leurs données, afin d'améliorer la qualité de vie et de bénéficier des différents services qui émergent dans différents domaines, tels que les transports publics, l'écologie ou encore, l'agriculture connectée. Or, en raison d'un manque de contrôle sur le partage des données et du manque de confiance entre les différentes parties impliquées dans les environnements connectés, les utilisateurs sont de plus en plus réticents à partager leurs ressources avec des systèmes d'informations extérieurs. Par ailleurs, afin de prendre les mesures appropriées, il est important que les consommateurs de ces ressources puissent également avoir confiance dans la fiabilité et l'exactitude des informations communiquées par le système. Ainsi, la sécurité des données est devenue un défi important de nos jours et une préoccupation de taille, notamment avec la pression croissante de la législation.

La provenance des données consiste à sauvegarder, gérer et récupérer des informations sur l'origine et l'historique d'une donnée [2]. Notre proposition est d'introduire les concepts de provenance des données dans le domaine de l'IoT afin de créer des systèmes fiables et dignes de confiance, en enregistrant les informations les plus basiques du système IoT aux plus complexes. La provenance des données est une métadonnée et, en tant que telle, elle nécessite un modèle de données qui décrit les informations spécifiques collectées. Dans cette contribution, nous présentons une approche qui fusionne à la fois la représentation sémantique d'un environnement IoT, et les solutions de traçabilité.

## 2 Sécurité et gouvernance des données

Des techniques de sécurité et de confidentialité connues, telles que le cryptage, le contrôle d'accès et l'anonymisation, sont appliquées pour garantir la préservation des données brutes capturées au cours de la première couche de l'architecture de l'IoT [3] et éviter les attaques de sécurité. À chaque étape du cycle de vie des données IoT au sein de ces couches, des mécanismes de sécurité classiques sont mis en œuvre pour préserver l'efficacité et l'intégrité du service. Cependant, beaucoup moins de travaux sont ciblés sur les aspects concernant la qualité de l'information capturée et sa gouvernance lors de son partage entre les systèmes d'information. Or, dans les environnements connectés actuels, ce sont là de nouvelles vulnérabilités qu'il est indis-

pensable de prendre en compte.

La stratégie de gouvernance des données est un autre ingrédient clé qui définit la manière dont les informations extraites des données sont partagées, impose une culture d'utilisation des données et révèle les inconvénients auxquels la gouvernance des données peut être confrontée ainsi que le budget nécessaire [1]. Plus précisément, elle définit qui est responsable, redevable et informé des données et comment les décisions seront prises à partir de celles-ci. Elle fait également partie intégrante du processus visant à surmonter les limites de la gestion des risques liés à la sécurité de l'information et aide à atteindre les objectifs et les valeurs attendus par les entreprises. Ainsi, la gouvernance des données fournit la base des processus de gestion des données à suivre par l'ensemble du système.

## 3 Approche

### 3.1 Gestionnaire sémantique

Les menaces visant la protection de la confidentialité et les contraintes législatives obligent le propriétaire des données ainsi que les demandeurs à être hésitant vis-à-vis de la notion du partage de données. Dans cette optique, et selon une approche similaire à celle d'une licence, la première partie de notre proposition consiste à donner au responsable de données le droit de fixer les exigences que les autres entités doivent respecter pour pouvoir utiliser leurs ressources. Cependant, la correspondance entre les préférences du propriétaire des données et la demande d'accès du demandeur de la donnée implique l'utilisation du même vocabulaire que celui qui décrit les exigences d'utilisation. Cette correspondance permet la création d'une politique commune qui peut être appliquée pour protéger la souveraineté du propriétaire des données dans l'environnement IoT. Ces défis ne sont pas limités aux données à caractère personnel, mais portent sur un champ plus large et concernent tout type de données, comme les données industrielles. Afin d'aligner la communication entre les entités IoT concernées, il est nécessaire de définir une description sémantique formelle en utilisant la modélisation ontologique pour décrire les propriétés des données échangées, afin d'appliquer un langage de règles d'expression comme les modèles de contrôle d'usage, les modèles de contrôle d'accès ou les accords de niveau de service basés sur des règles [4].

### 3.2 Modèle de provenance de données

La provenance des données offre une solution potentielle pour répondre aux problèmes mentionnés ci-dessus, en stockant des informations sur l'origine des données, les transactions effectuées sur les données et l'historique du traitement depuis sa source initiale jusqu'à son état actuel. Ainsi, nous pouvons distinguer deux types de traçabilité :

— Traçabilité ascendante : les consommateurs de don-

nées peuvent retracer l'origine d'un élément de données et déterminer si celle-ci répond aux exigences techniques et juridiques d'une activité donnée et d'en évaluer la qualité.

- Traçabilité descendante : les fournisseurs de données doivent être informés de l'endroit où leurs données sont distribuées et des processus dans lesquels elles sont impliquées, afin de ne pas perdre complètement leur contrôle.

En assurant la traçabilité de l'origine des données, et en combinaison avec des méthodes cryptographiques pour vérifier l'intégrité des métadonnées de provenance, nous visons à fournir un mécanisme générique pour assurer l'exactitude et l'intégrité des applications IoT et ainsi renforcer leur fiabilité pour les cas d'utilisation sensible.

#### 4 Cas pratique : agriculture connectée

Comme cas d'application, nous travaillons sur l'agriculture connectée. Les agriculteurs disposent de plusieurs données relatives à leurs terrains particuliers ainsi qu'à leurs exploitations : dose d'irrigation, structure des vignes, nutriments agricoles/céréales utilisés pour la production des grains, superficie agricole toujours en herbe, etc. Le partage anonyme de ces données avec la communauté permettrait aux agriculteurs de comparer leur production avec celle de leurs voisins, tout en conservant leurs propres objectifs. En parallèle, d'autres organismes pourraient également accéder à ces informations afin de proposer à leur tour des services comme, entre autres, estimer les aides financières collectives et individuelles, proposer une politique d'aménagement de territoire spécifique, ou encore de réfléchir à des procédures anti-gaspillage et anti-pollution.

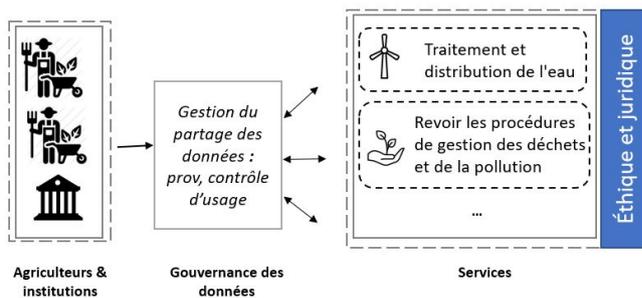


FIGURE 1 – Exemple de l'agriculture connectée

Les systèmes IoT sont des communautés évolutives sans véritable encadrement conventionnel. Dans la figure 1, le partage des données collectées permet d'améliorer la fourniture de services avancés dans un large champ de domaines d'application. De multiples acteurs sont impliqués et chacun cherche à utiliser les mêmes données pour atteindre ses objectifs propres. Cependant, le manque de gou-

vernance des données IoT fait que ces acteurs n'ont pas la certitude qu'ils remplissent les conditions requises pour exploiter les ressources fournies. Par ailleurs, le propriétaire de l'entité n'a guère de contrôle sur ses données une fois qu'elles sont partagées, et perd donc rapidement sa légitimité. Tout cela crée un environnement IoT potentiellement vulnérable qui manque de transparence entre ses acteurs et peut perturber les services envisagés.

#### 5 Conclusion

Les modèles dirigés par les données connaissent une croissance considérable et deviennent un atout essentiel dans tous les secteurs. Dans ce contexte, la gouvernance des données a évolué pour passer d'une problématique de confidentialité à une véritable préoccupation multidimensionnelle ayant des implications dans divers secteurs, notamment l'économie, le maintien de l'ordre, et même la géopolitique. La mauvaise gestion des données des usagers en raison d'une juridiction limitée, le manque de confiance des utilisateurs et l'accès limité aux données sont des problèmes qui peuvent être résolus par la mise en place d'une solution de gouvernance des données solide et performante.

Notons également que ces travaux sont en parfaite adéquation avec ceux actuellement menés par la Commission européenne sur sa "stratégie européenne pour les données" et le "Data Governance Act" [5].

#### 6 Remerciements

Les auteurs sont reconnaissants pour le soutien du Conseil Départemental des Landes qui finance l'allocation doctorale de Nouha Laamech.

#### Références

- [1] A. Berson, L. Dubov, B.K. Plagman, P. Raskas, *Master Data Management and Data Governance*. McGraw-Hill (2011)
- [2] Buneman, P., Khanna, S., Wang-Chiew, T., *Why and where : A characterization of data provenance.*, In : Intl. Conf. on Database Theory. pp. 316,330. Springer (2001)
- [3] M. Wu, T.-J. Lu, F.-Y. Ling, J. Sun, and H.-Y. Du, *Research on the architecture of internet of things*, in 2010 3rd international conference on advanced computer
- [4] A. Paschke, *Rbsla : Rule-based service level agreements.*, Ph.D. dissertation, Technische Universität München, 2007
- [5] European Commission *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on European data governance (Data Governance Act)*, Brussels, Belgium : European Commission.

# Projet Pinède: Plateforme IoT pour les Nomades, Exploitable à Distance pour l'Éducation

---

Arnaud Février<sup>1</sup>

arnaud.fevrier@univ-amu.fr

Anouch Hovsepian<sup>2</sup>

anouch.hovsepian@univ-amu.fr

<sup>1,2</sup> IUT, Aix-Marseille Université, Dpt Réseaux et Télécommunications  
en conversion de laboratoire

**THÈMES** – *Pluridisciplinaire: Informatique - Réseaux - Télécommunications - Transmissions - Internet des Objets (IoT)*

**RÉSUMÉ** – *Le présent article présente un projet d'infrastructure pour la gestion distante des objets connectés. Ce projet sert de support pour les projets d'étudiants regroupant des disciplines variées (Techniques de Commercialisation, Mesures Physiques, Génie Électrique et Informatique Industrielle et Réseaux et Télécommunications) situées sur plusieurs sites. Nous proposons une architecture pour les objets connectés, l'interconnexion sécurisée entre les sites, une implémentation de référence pour que les étudiants s'en inspirent et des serveurs de support pour les projets d'étudiants.*

**MOTS-CLÉS** – *SAÉ, Sécurité, IoT, VPN.*

## 1 Introduction

Le projet Pinède propose une infrastructure facilitant la gestion, supervision, manipulation à distance d'objets connectés. Ce projet, initié comme un projet pédagogique, ouvre des axes de recherches pluridisciplinaires.

Ce projet a pour cadre le *magasin connecté* de l'IUT. C'est un nouveau bâtiment, (figure 1), qui sert de support pédagogique pour des projets regroupant des étudiants de plusieurs disciplines de l'IUT (TC, MP, GEII, R&T). Les projets font donc non seulement intervenir plusieurs disciplines secondaires, mais aussi une tertiaire.



FIGURE 1 – Le magasin connecté d'AMU (vue d'artiste).

Les projets d'étudiants proposent un concept de *magasin connecté*. L'utilisation de l'IoT est donc un des fondements de ces projets. Les départements de l'IUT à l'origine du projet sont répartis à plus d'une heure de distance (de l'autre côté de Marseille et à Salon de Provence). Le projet Pinède va permettre de mettre en place l'architecture réseau permettant aux étudiants et aux enseignants d'accéder facilement à toutes les ressources.

## 2 Les premiers projets

Les premiers projets, mis en place avant la construction du bâtiment, ont réuni des étudiants en TC, GEII, MP et R&T. Les étudiants présentent un concept innovant de magasin et une réalisation technique pour celui-ci.

Ces projets ont montré la difficulté que pouvaient avoir les étudiants confrontés à des disciplines inconnues. L'autre difficulté était causée par l'éloignement des étudiants. Néanmoins le brassage des cultures différentes a été un apport certain pour eux. Ces projets ont permis aussi de créer des équipes pluridisciplinaires d'enseignants qui ouvrent des axes de recherches.

Nous avons rapidement pris conscience de la difficulté de la gestion technique des objets du magasin depuis les départements délocalisés. Pour cela nous avons proposé la mise en place d'une infrastructure facilitant l'accès distant. Nous avons donc défini une architecture pour les capteurs. Nous avons alors mis en place l'infrastructure utile pour les projets d'étudiants. Ensuite nous avons étendu cette infrastructure pour les actions sur les objets distants.

## 3 L'architecture pour les capteurs IoT

L'architecture proposée est décrite dans la figure 2. Nous avons mis en place un exemple d'application de mesure météo et affichage graphique de l'historique.

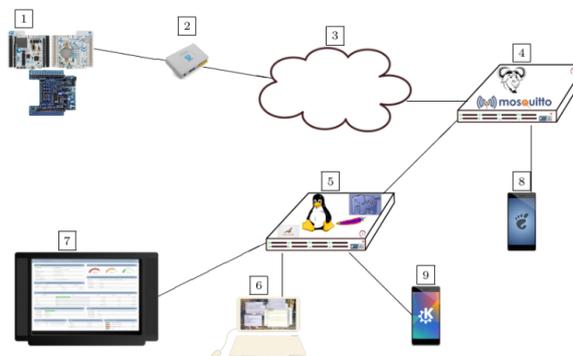


FIGURE 2 – Architecture IoT.

Les éléments sont les suivants :

1. L'objet connecté : capteur et microcontrôleur.
2. La gateway permet de transmettre sur Internet les données issues des capteurs et des commandes vers l'objet connecté.
3. Internet ou un réseau non sécurisé.
4. Un serveur MQTT.
5. Des serveurs applicatifs.
6. Une station permettant l'interaction avec un humain.
7. Des postes de visualisation.
8. Un client MQTT mobile.
9. Un client des serveurs applicatifs mobile.

Nous avons mis en place la chaîne complète avec un exemple de réalisation simple pour chaque élément. Ainsi, un microcontrôleur STM32 équipé de capteur de température et d'humidité diffuse ces valeurs en BLE. Un Raspberry reçoit les données et les publie vers un serveur MQTT. Deux applications s'abonnent à ces données et les enregistrent, chacune dans sa base de données. Un script gnuplot trace le graphe des mesures. Un script PHP génère la page affichée par un écran branché sur un raspberry.



FIGURE 3 – Un STM32 et sa carte environnementale.

Dans les premières SAÉ du S2 R&T, les étudiants mettent en place un réseau (avec les éléments de 4 à 7). Ils

peuvent récupérer les informations issues du capteur précédent. Il leur est aussi demandé de présenter les données de manière plus jolie avec Grafana, par exemple.

Les étudiants de Salon utilisent des capteurs de qualité de l'air. Certains étudiants de Luminy vont donc pouvoir récupérer ces données (sans se déplacer) pour les intégrer dans leur réalisation. En retour, ils permettront de visualiser les graphiques sur un écran de contrôle distant.

## 4 Le réseau de support

Nous avons donc plusieurs sites : le magasin et, pour le moment, trois départements distants. Nous avons donc :

- un réseau privé virtuel ;
- une salle de TP dédiée dans chaque département ;
- un accès réseau dans le magasin ;
- un support pour les serveurs applicatifs spécifiques ;
- des applications, gérées par les enseignants, accessibles éventuellement en lecture aux étudiants.

### 4.1 Le réseau privé virtuel

Nous avons mis en place sur chaque site un routeur qui met en place un réseau OpenVPN. Ce réseau facilite la connexion vers les objets réseaux. Ainsi, un étudiant de Salon de Provence aura un raspberry qui récupère les données de qualité de l'air. Ce raspberry envoie au serveur MQTT les informations. Un étudiant de Luminy s'inscrit sur le serveur MQTT pour récupérer les informations. Il les enregistre dans une base de données qui sera utilisée par un serveur web pour afficher les graphiques. L'écran de visualisation, à l'intérieur du magasin pourra alors afficher ce site. L'étudiant de Salon pourra alors déployer son application sur un objet à l'intérieur du magasin, après un rapide réglage, l'écran du magasin affichera l'information.

### 4.2 Les salles de travaux pratiques

Chaque département partenaire a installé une salle dédiée. Ces salles sont coupées du réseau officiel de l'université. Cela permet donc de pouvoir laisser aux étudiants des privilèges d'administration sans craindre de corruption du reste du réseau universitaire. Les salles sont servies par un routeur Debian Gnu/Linux. Il est donc facile de limiter les accès vers l'extérieur pour éviter non seulement des agressions mais aussi limiter les conséquences inévitables des maladresses étudiants débutants. L'utilisation de routeurs Gnu/Linux favorise aussi l'utilisation d'outils de surveillance, comme des IDS (suricata).

Ces salles sont accessibles depuis les autres sites de Pinède, sous le contrôle d'un enseignant sur chaque site.

### 4.3 Le réseau du magasin

Le réseau du magasin sert de support pour l'ensemble de Pinède. C'est dans ce lieu que seront définis les comptes des utilisateurs. Un projet d'étudiant type fera intervenir

des objets connectés (par exemple des lampes pilotables) souvent un serveur gérant ces objets et permettant l'accès à une application mobile sur le téléphone de l'étudiant. Chaque projet sera isolé par un VLAN. Les applications de deux projets distincts ne pourront donc pas entrer en conflit. Il reste la possibilité de lier plusieurs projets en activant le routage entre les VLAN.

### 4.4 Le support pour les serveurs applicatifs

Les applications complètes utilisant des objets connectés vont souvent utiliser un serveur applicatif. Ainsi, ce serveur peut être réglé pour définir sur chaque ampoule un numéro émis en modulation par la lumière. Ce numéro peut être détecté par la caméra d'un appareil mobile permettant ainsi une localisation intérieure. Nous avons mis en place un serveur physique permettant l'installation de serveurs virtuels. Le serveur virtuel est installé par l'infrastructure et un étudiant ou un enseignant peut alors ajouter le serveur applicatif.

### 4.5 Des applications support

Plusieurs serveurs sont ajoutés pour gérer l'ensemble de l'infrastructure. Il y aura donc un Wiki permettant de conserver l'historique des projets, un serveur Icinga pour superviser l'ensemble des équipements de l'infrastructure, un serveur de compte LDAP...

## 5 Des opportunités pour la recherche

L'association des différentes disciplines favorise déjà le travail pluridisciplinaire. La collection de données et l'utilisation d'applications variées, mais maîtrisées par un collègue ouvre de nombreuses perspectives. Ainsi, un projet en gestation concerne l'utilisation de données (météo extérieure et fréquentation du magasin). Un autre projet concerne l'agriculture et la gestion distante de serres connectées.

## 6 Conclusion

Nous avons mis en place à la fois un support réseau permettant de faciliter l'accès à distance aux objets connectés, d'une part, mais aussi toute la chaîne de gestion des capteurs, depuis l'objet distant jusqu'à la station de visualisation ou de supervision.

## 7 Remerciements

Nous tenons à remercier l'université d'Aix Marseille pour avoir permis le financement de ce projet.

## 8 Références

La documentation est disponible sur :  
<https://arnaud-fevrier.pedaweb.univ-amu.fr>

---

# Prédiction de la durée de séjour avec les données standards par un réseau de neurones à propagation avant

---

Vincent Lequertier<sup>1,2</sup>

Tao Wang<sup>2</sup>

Antoine Duclos<sup>1</sup>

vincent.lequertier@chu-lyon.fr tao.wang@univ-st-etienne.fr antoine.duclos@chu-lyon.fr

<sup>1</sup> Université Claude Bernard Lyon 1,

Research on Healthcare Performance (RESHAPE), INSERM U1290

<sup>2</sup> IUT de Roanne, Univ. Lyon, UJM-Saint-Etienne, INSA Lyon, UCBL, Univ Lyon2

Decision and Information Systems for Production systems (DISP), UR4570

**Thèmes** – Informatique - Santé – Génie hospitalier

**Résumé** – *L'estimation de la durée de séjour doit être établie à chaque étape de l'hospitalisation à partir d'une admission à l'hôpital afin de planifier les activités de soins de manière pertinente. Une estimation inexacte peut rendre inefficace l'organisation du travail à l'hôpital, entraîner une surcharge de travail des professionnels de santé et un allongement des délais d'attente pour les patients. Nous proposons une nouvelle méthode de prédiction de la durée de séjour basée sur l'apprentissage profond (deep learning) à l'aide des données administratives du PMSI incluant 1 140 100 séjours enregistrés. Ces données couvrent les activités en médecine, chirurgie, et obstétrique des six hôpitaux lyonnais, réalisées entre 2011 et 2019. Le taux de prédictions correctes a atteint une moyenne de 0.94 pour les durées de séjour allant de 0 jours à 14 jours ou plus.*

**Mots-Clés** – *Durée de séjour, intelligence artificielle, aide à la décision clinique, apprentissage automatique et profond*

## 1 Introduction

La durée de séjour (DDS) représente le nombre de jours d'hospitalisation entre l'admission et la sortie d'un patient. Étant donné que l'anticipation de la durée de séjour est utile pour gérer l'occupation des lits et la sortie des patients, sa prédiction précise contribue à une meilleure allocation des ressources et à l'amélioration de la qualité des soins. À l'inverse, des prédictions erronées peuvent perturber l'organisation des unités médicales et potentiellement conduire à une augmentation du temps d'attente et des complications. De plus, comme les patients ont des profils variés et que la durée de séjour est associée à de nombreux facteurs, les prédictions faites par les professionnels de santé peuvent manquer de précision [1] et dépendre de l'expérience des professionnels de santé.

Les prédictions automatisées de DDS présentent donc un grand intérêt. Les méthodes de prédiction basées sur l'intelligence artificielle telles que l'apprentissage profond ont montré d'excellents résultats dans d'autres domaines comme la vision par ordinateur [2,3] ou le traitement du langage naturel [4]. Récemment, l'apprentissage automatique et l'apprentissage profond sont de plus en plus utilisés pour la prédiction de DDS [5]. Cependant, la plupart des cibles de prédiction étaient une discrimination binaire entre les séjours de courte et de longue durée, limitant ainsi leur utilité dans la gestion des ressources.

L'objectif de ce travail est de prédire précisément la DDS à chaque étape du parcours de soins en utilisant l'apprentissage profond sur des données administratives standardisées.

## 2 Préparation de données

Les données ont été extraites de l'entrepôt de données médico-administratives des Hospices Civils de Lyon. Tous les séjours hospitaliers dont la date d'entrée était comprise entre le 1er janvier 2011 et le 31 décembre 2019 ont été inclus, conduisant à un ensemble de données de 667 090 patients, 1 403 112 séjours et 1 798 447 RUM (Résumé d'Unité Médicale) dans les parcours de soins. Des critères d'exclusion ont été appliqués pour exclure les patients pédiatriques, les unités médicales peu fréquentes et les DDS de plus de 31 jours. Après ces critères d'exclusion, il y a eu 1 140 100 séjours de 515 199 patients, pour un total de 1 491 300 RUM.

Les données extraites concernaient le sexe, l'âge, le centre hospitalier, l'unité médicale, l'heure d'entrée, l'heure de sortie, le type d'hospitalisation, le mode d'entrée, les diagnostics principaux et associés dans la Classification internationale des maladies (CIM-10), les actes médicaux de la Classification commune des actes médicaux (CCAM), la couverture maladie universelle, et l'échelle de Glasgow.

En raison de la nature hétérogène des données, il y avait

beaucoup de diagnostics principaux différents, avec une distribution asymétrique à droite. De plus, l'apprentissage à partir d'événements rares était difficile [6], mais la suppression de ces événements rares réduisait l'utilité du modèle car elle le rendait inutilisable pour ces événements rares. Une méthode de prédiction performante devrait être capable de traiter l'hétérogénéité et la multimodalité des données.

La durée de séjour a été représentée en classes uniques de 0 à 14 jours et plus, ce qui a donné une tâche de classification multi-classe avec 15 catégories. Pour rendre les prédictions utiles dans le but d'améliorer la gestion des lits, elles ont été faites au niveau du RUM plutôt qu'au niveau du séjour hospitalier. Cela a également permis d'affiner les prédictions à mesure que de plus amples informations sur l'état du patient étaient disponibles.

## 3 Méthode de prédiction

Un réseau de neurones à propagation avant (RNPA) a été sélectionné pour piloter le modèle de prédiction. Étant donné que les réseaux de neurones ont été conçus pour fonctionner sur des entrées numériques, les données catégorielles devaient être converties en numériques. Un outil appelé « embeddings » a été utilisé à ces fins, qui a agi comme une table de correspondance entre chaque valeur de l'entrée catégorielle et les vecteurs numériques. Les valeurs des vecteurs numériques ont été initialisées avec des nombres aléatoires suivant la distribution normale et affinées progressivement au cours de l'entraînement du modèle par la descente de gradient stochastique.

Les représentations des entrées catégorielles ont été concaténées avant d'être introduites dans le réseau de neurones. Les entrées continues et les vecteurs numériques produits par les embeddings constituaient les données d'entrée du RNPA doté de 7 couches entièrement connectées et de fonctions d'activation SELU (Unité linéaire exponentielle mise à l'échelle). La fonction SELU a été utilisée pour s'assurer que la distribution reste normale. La dernière couche du réseau de neurones était une fonction log Softmax, qui permettait d'interpréter la sortie du RNPA selon la probabilité de chaque classe.

La fonction de perte était la perte d'entropie croisée :

$$H(p, q) = - \sum_{i=1}^N w_i \cdot p_i \log(q_i)$$

Où pour la  $i^{\text{ème}}$  catégorie,  $p_i$  est la probabilité réelle,  $q_i$  est la probabilité prédite, et  $w_i$  est le poids associé. Les pondérations ont été utilisées pour compenser une prédiction des classes sous-représentées (c'est-à-dire une longue durée de séjour), atténuant ainsi le déséquilibre des classes. Elles ont été calculées par :

$$w_i = \frac{n_{\text{samples}}}{n_{\text{classes}} \times \text{count}(i)}$$

Divers hyperparamètres peuvent affecter la performance de prédiction, le réglage des hyperparamètres a donc été mis à profit pour sélectionner les meilleurs. Le tableau 1 montre les hyperparamètres du RNPA avec les valeurs choisies. Concrètement, un système comprenant un arrêt précoce et une évaluation parallèle des configurations [7], ainsi que l’algorithme OnePlusOne de Nevergrad [8] ont été utilisés pour trouver la configuration optimale.

Table 1 – Hyperparamètres pour le modèle de prédiction

Hyperparamètres	Valeur sélectionnée
Taux d'apprentissage	1e-3
Dégradation des pondérations	1e-3
Nombre de couches	[512, 256, 192, 128, 64, 32]
Normalisation par lots	False
Taille du lot	1024
Descente de gradient	AdamW
Factor d’embeddings	7
Abandon	1e-1

#### 4 Résultats expérimentaux

Une validation croisée de 5-folds a été utilisée, où le modèle a été entraîné sur 5 sous-ensembles de données différents afin que chaque RUM appartienne à un sous-ensemble de test exactement une fois pour garantir une évaluation impartiale.

La précision globale sur les 5-folds était de  $0,944 \pm 5e-3$ . Une matrice de confusion a été tracée dans la figure 1 pour le modèle RNPA, où chaque prédiction a été ajoutée à un tableau de comptage où les lignes représentaient les classes prédites et les colonnes les classes réelles. Le tableau a ensuite été normalisé sur les colonnes. Cela a fourni un moyen d’analyser les résultats de prédiction en termes de distribution d’erreurs.

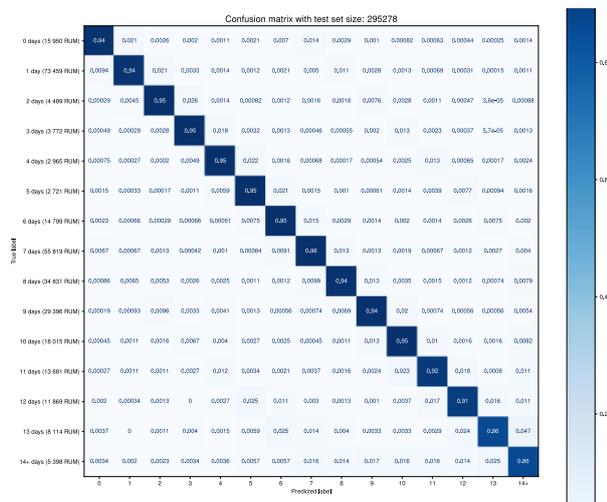


Figure 1 – Matrice de confusion des résultats de prédiction

Selon la matrice de confusion qui a permis d’analyser la précision en détail, le ratio de prédictions correctes était supérieur à 0,80 pour toutes les classes, et supérieur à 0,90 pour 12 classes sur 15.

#### 5 Conclusion

Ce travail a présenté un modèle de prédiction de DDS basé sur un RNPA utilisant des données médico-administratives standardisées. L’embedding a été utilisé pour coder les caractéristiques catégorielles dans des vecteurs numérique adaptés aux réseaux de neurones. Une conception de validation croisée à 5-folds a été configurée pour évaluer la performance. La matrice de confusion a montré que les prédictions étaient exactes pour la durée des séjours fréquents, jusqu’à 14 jours ou plus, avec une légère baisse de précision pour les séjours plus longs.

#### 6 Remerciement

Ce travail est partiellement soutenu par le Pack Ambition Recherche 2018 de la région Auvergne Rhône-Alpes.

#### References

- [1] Praetgaard A, Saybolt MD, Durstenfeld MS, et al. Physician predictions of length of stay of patients admitted with heart failure. *Journal of Hospital Medicine* 2016;11. doi:10.1002/jhm.2605
- [2] Esteva A, Kuprel B, Novoa R, et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature* Published Online First: 2 February 2017. doi:10.1038/nature21056
- [3] Lakhani P, Sundaram B. Deep learning at chest radiography: Automated classification of pulmonary tuberculosis by using convolutional neural networks. *Radiology* 2017;284:574–82. doi:10.1148/radiol.2017162326
- [4] Wu S, Roberts K, Datta S, et al. Deep learning in clinical natural language processing: A methodical review. *Journal of the American Medical Informatics Association* 2020;27:457–70. doi:10.1093/jamia/ocz200
- [5] Lequettier V, Wang T, Fondrevelle J, et al. Hospital length of stay prediction methods: A systematic review. *Medical Care* 2021; doi:10.1097/MLR.0000000000001596
- [6] Zhao Y, Wong ZS-Y, Tsui KL. A framework of rebalancing imbalanced healthcare data for rare events’ classification: A case of look-alike sound-alike mix-up incident detection. *J Healthc Eng* 2018;2018. doi:10.1155/2018/6275435
- [7] Li L, Jamieson K, Rostamizadeh A, et al. A system for massively parallel hyperparameter tuning. arXiv:181005934 [cs, stat] Published Online First: October 2018. <http://arxiv.org/abs/1810.05934>
- [8] Rapin J, Teytaud O. Nevergrad - a gradient-free optimization platform. Facebook 2018. <https://GitHub.com/FacebookResearch/Nevergrad>

## Sonde réseau Pour l'Internet des Objets

---

Arnaud Février<sup>1</sup>

arnaud.fevrier@univ-amu.fr

Anouch Hovsepian<sup>2</sup>

anouch.hovsepian@univ-amu.fr

<sup>1,2</sup> IUT, Aix-Marseille Université, Dpt Réseaux et Télécommunications  
en conversion de laboratoire

**THÈMES** – *Pluridisciplinaire: Informatique - Réseaux - Télécommunications - Transmissions*

**RÉSUMÉ** – *Nous présentons ici un travail de recherche appliquée pour sécuriser un réseau d'entreprise réel. Ce travail est préalable à un transfert de technologie depuis le monde académique vers le monde de l'entreprise. Nous nous intéressons à la sécurité et la sûreté de fonctionnement d'un réseau complet. Nous disposons d'un réseau pédagogique de 60 stations, 10 serveurs et quelques centaines de réseaux virtuels (plusieurs par étudiant). Dans ce contexte, il est important de maintenir le réseau en fonctionnement tout en évitant les problèmes de sécurité. Une action importante consiste à avoir une bonne connaissance des événements individuels. Pour cela nous avons développé une sonde permettant d'analyser les réseaux Ethernet et WiFi. Nous souhaitons ajouter à cette sonde les capacités d'analyse hertzienne permettant de détecter, caractériser et enregistrer les sources radio, principalement dans la bande IMS. Cette sonde est très petite pour être insérée en coupure dans des parties peu accessibles du réseau et fournit ses rapports en temps réel sur un appareil mobile.*

**MOTS-CLÉS** – *Sécurité, sûreté de fonctionnement, réseau filaire, réseau sans fil.*

## 1 Introduction : la sécurité vers les entreprises

Il est (relativement) facile de mettre en place des objets connectés. Ces objets peuvent alors agir sur leur environnement ou prendre des mesures. Les actions peuvent être automatiques ou déclenchées par le système central d'information. De même, les mesures peuvent être enregistrées localement ou téléchargées vers le système central. Après la mise au point des prototypes, le déploiement de ces objets constitue un nouveau défi qui commence à sortir du champ de compétences de la mesure physique ou de l'activation d'un processus distant. Après le déploiement initial, la vie de ces objets constitue encore un nouveau challenge.

Il y a rapidement un grand nombre d'objets plus ou moins hétérogènes avec des composants physiques fabriqués à des dates différentes et hébergeant des versions de code distinctes. Ces objets peuvent héberger des capacités de calcul non négligeables et des fonctionnalités de mise en réseau variées. Les processeurs Espressif disposent de la puissance d'un ordinateur personnel des années 90 pour un coût inférieur à un euro et des connectivités Bluetooth et WiFi. Ces objets créent donc un risque sécuritaire important et imposent une gestion efficace.

Enfin, l'utilisation de techniques sans fil (LoRa, WiFi, Bluetooth...) impose de surveiller aussi, et de manière précise, la qualité de la transmission. C'est un élément que nous souhaitons développer.

C'est une thématique émergente qui commence à être perçue des acteurs de l'Internet des Objets. Les disciplines impliquées sont : mesures physiques, supervision réseau, télécommunications, microcontrôleurs, bases de données, programmation web, transmission et électronique.

## 2 Un contexte opérationnel

Ces travaux ont été initiés par un développement des activités d'enseignement. Nous orientons depuis quelques années nos enseignements pour augmenter la motivation des étudiants. Nous proposons des mises en situation où les étudiants doivent mettre en place des applications faisant intervenir plusieurs disciplines. Par exemple : réaliser un point d'accès WiFi qui peut demander à un Arduino de créer un signal infrarouge pour piloter un vidéo-projecteur.

Nous gérons trois salles de travaux pratiques qui permettent de réaliser des TP de réseaux, programmation, électronique, transmission, télécommunications. La gestion de plusieurs salles de travaux pratiques impose de focaliser l'attention sur la *sécurité* et la *sûreté de fonctionnement*. Dans ce contexte, nous avons développé une sonde pour les réseaux informatiques (Ethernet et WiFi).

La sécurité et la sûreté de fonctionnement sont prises en compte dans un environnement opérationnel [1]. Nous ne visons pas des aspects spécifiques mais la sécurité globale.

## 3 Développement d'une sonde IoT

Nous avons donc développé une sonde permettant de répondre à des questions opérationnelles. Les questions peuvent être simples, comme "À quel réseau est relié cette prise ?" ou plus complexes en liant réseau numérique et transmission, comme pour un problème WiFi. Il nous fallait donc un objet répondant aux critères suivants :

- deux interfaces Ethernet ;
- deux interfaces WiFi ;
- capacité d'analyse spectrale ;
- capture de flux réseau ou hertzien.

Pour une sonde réseau, il est plus confortable de pouvoir insérer l'objet en coupure d'une liaison existante.

Notre sonde dispose de capacité pour servir de point d'accès et d'analyser les réseaux WiFi ou Bluetooth à proximité.

Pour la partie spectrale nous disposons de composants qui permettent d'analyser un signal Hertzien (clef RTL-SDR, ou HackRF). Ces équipements s'interfacent facilement aux outils de radio logicielle (*gnuradio*, *rtl-sdr*, *gqrx*...). Certains sont limités à la réception, d'autres permettent aussi de pouvoir émettre.

Nous avons donc créé cette sonde à partir d'un nano-ordinateur NanoPi. Il dispose de deux interfaces Ethernet, d'une interface WiFi permettant de servir simultanément de point d'accès et de se connecter à d'autres réseaux. Il peut être alimenté par une batterie USB.

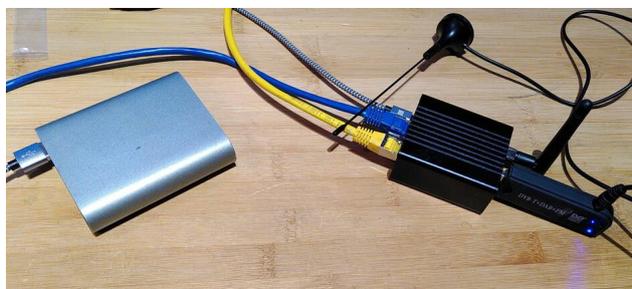


FIGURE 1 – La sonde réseau

L'utilisation en réception permet de faire des analyseurs de spectre à bas coût. Il est ainsi possible de caractériser des défaillances réseau (WiFi) à cause d'émissions parasites dues à d'autres signaux (Bluetooth, équipements médicaux, télécommandes, moteurs, four à micro-ondes...). Les bandes de fréquences utilisables dépendent de l'équipement (Maximum : 1,5GHz pour les clefs RTL-SDR, 6GHz pour le HackRF).

## 4 Mise en place des logiciels

À partir du matériel, nous pouvons donc créer notre sonde. Nous installons un système Debian GNU/Linux. Nous allons établir plusieurs profils Ethernet, plusieurs

profils WiFi, un support d'application web. Après, nous pourrions ajouter des équipements complémentaires.

#### 4.1 Les profils Ethernet

En configuration de base, nous réglons les deux ports Ethernet en client DHCP. Cela nous permet d'obtenir des informations simples, comme les adresses réseau ou la vitesse disponible sur ce port.

Il est aussi possible de configurer les deux interfaces en mode *bridge* transparent et intercepter tout le trafic, dans la limite de la capacité du Nanopi.

#### 4.2 Les profils WiFi

Pour le WiFi, la configuration consiste en la mise en place d'un point d'accès. Il est possible de se connecter à un point d'accès *et* de fournir un point d'accès [2]. Ainsi un appareil mobile peut se connecter sur ce point d'accès et utiliser les applications web embarquées. Éventuellement, il peut se connecter à Internet à travers ce point d'accès.

Si le terminal mobile est une station GNU/Linux, une connexion directe par SSH permet de disposer de toute la galaxie d'outils d'analyse réseau. Si il est plus limité (un téléphone par exemple) alors, l'utilisation d'applications web permet d'afficher les informations prévues.

#### 4.3 Les applications web

Nous avons développé un framework d'applications web simples. Nous utilisons l'architecture LAMP (*Linux, Apache, MariaDB, PHP*). Ensuite, le site est construit de façon hiérarchique. Les feuilles sont des programmes PHP qui lancent une commande GNU/Linux et mettent le résultat en forme. La limite de cette méthode, c'est que seules les commandes déjà programmées peuvent être utilisées depuis un téléphone. Néanmoins tous les terminaux fournissant un navigateur internet peuvent être utilisés.

#### 4.4 Les applications télécoms

Nous utilisons aussi cette sonde pour obtenir des informations sur les transmissions hertziennes. Ainsi l'ajout d'une clef RTL-SDR, comme dans la figure 1, permet d'obtenir le spectre dans une bande choisie, comme la bande ISM 433MHz (figure 2). D'autres composants peuvent utiliser des bandes étendues, comme le HackRF.

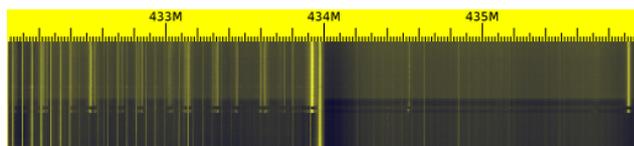


FIGURE 2 – Capture bande ISM 433MHz.

## 5 Utilisations de la sonde

La première utilisation permettait d'identifier le réseau sur une prise murale. Pour des raisons pédagogiques et de recherches nous avons douze segments Ethernet distincts dans une salle de travaux pratiques. Les erreurs de branchements, les modifications faites dans l'urgence pour résoudre une difficulté ou tester une idée font que certaines connexions ne sont plus conformes à la documentation.

Ensuite, L'utilisation dans la même salle de 16 réseaux Bluetooth et 20 réseaux WiFi permettent de mettre en évidence des phénomènes d'interférences qui ne peuvent être diagnostiqués qu'avec un analyseur spectral.

Cette sonde permet aussi d'évaluer la sécurité des *objets connectés* commerciaux (ou leurs défaillances). Le projet *PiRogue* [3] présente des outils dédiés à cet usage.

Enfin, l'utilisation de réseau à faible énergie (comme le LoRaWAN) limitent les ressources utilisables. Les communications peuvent être interceptées ou modifiées [4].

## 6 Conclusion

Avec cette sonde, nous avons une plate-forme utilisable pour la gestion d'un réseau complexe d'entreprise. Cette sonde peut aussi être utilisée pour l'enseignement technologique et la recherche dans plusieurs domaines.

Elle est conçue pour un usage spécifiquement pluridisciplinaire : réseaux informatiques, transmission, informatique, système, télécommunications, développement web et mobile...

Ces travaux académiques sont conçus pour une utilisation opérationnelle dans le monde de l'entreprise. Pour cela nous publions dans des revues grand public pour toucher un grand nombre de professionnels du domaine.

## 7 Remerciements

Les auteurs remercient l'IUT d'Aix-Marseille pour leur action de financement de projets pluridisciplinaires.

## Références

- [1] Arnaud Février, *Votre réseau d'entreprise avec les logiciels libres*, Éditions Ellipses, 2021
- [2] Arnaud Février, *Utilisons plusieurs réseaux Wifi*, Linux Pratique HS 40, Éditions Diamond, octobre 2017
- [3] Stamboliyska Rayna, *PiRanhaLysis : rendre l'analyse IoT facile et reproductible*, MISC – 98, Éditions Diamond, juillet 2018
- [4] Trends Micro Research, *Compromised Comms Assessing the Security of LoRaWAN Radio*, Technical Brief, 2021

---

## Système cyber-physique éducatif pour réaliser des Travaux Pratiques en comodalité synchrone

---

Laurent Gallon<sup>1</sup>   Angel Abénia<sup>1</sup>   Samia Bachir<sup>2</sup>  
laurent.gallon@univ-pau.fr   angel.abenia@univ-pau.fr

<sup>1</sup>IUT des Pays de l'Adour – Université de Pau et des Pays de l'Adour  
Laboratoire d'Informatique de l'UPPA (LIUPPA), EA 3000

IUT de Laval - Le Mans Université  
Laboratoire d'informatique Le Mans Université (LIUM), EA 4023

**Thèmes**   *Informatique*

**Résumé.**   *Dans cet article, nous relatons l'expérimentation d'une comodalité (présentiel + distanciel synchrone) en travaux pratiques, mise en œuvre à l'IUT Réseaux et Télécoms de Mont de Marsan lors de la crise COVID. Nous décrivons dans un premier temps le système cyber-physique éducatif (ECPS) mis en place pour permettre la collaboration entre étudiants en présentiel et étudiants en distanciel. Puis nous comparons les résultats obtenus par cette promotion, en termes de compétences, avec ceux de la promotion précédente et de la promotion suivante, qui ont pu réaliser quant à elles leurs travaux pratiques en présentiel total. Cette analyse montre que les étudiants en comodalité ont besoin de plus de temps pour réaliser leurs tâches en TP, mais que le niveau d'acquisition des compétences n'est pas plus faible que celui des promotions en présentiel total. La comodalité semble donc demander aux étudiants plus de temps pour apprendre, sans incidence majeure sur le niveau d'acquisition des apprentissages (en particulier les savoir-faire).*

**Mots-Clés** – *Système cyber-physique éducatif, bi-modalité pédagogique*

## 1 Introduction

L'Internet Of Everything (IoE) étend le concept de Internet des Objets (IoT), en considérant non seulement les objets connectés, mais aussi les humains, les services et les données [1]. Il est au cœur de mutations technologiques récentes, comme l'Industrie 4.0, l'agriculture 4.0, ... Nous nous intéressons ici à l'utilisation de l'IoE dans le domaine éducatif [2]. Plus précisément, nous faisons un retour d'expérience sur la conception d'un système cyber-physique éducatif (ECPS) dans le cadre de travaux pratiques (TP) de DUT Réseaux & Télécoms, pendant la crise du COVID-19, pour permettre à des étudiants à distance de réaliser ces TP en collaboration avec des étudiants en présentiel. Dans la suite de l'article, nous expliquons le choix de comodalité, l'architecture de l'ECPS dédié et sa mise en œuvre. Nous finissons par une analyse rapide des résultats obtenus.

## 2 Motivation du choix de comodalité

Lors du premier confinement de la crise COVID-19, les enseignements universitaires n'ont pas été suspendus, mais ont dû être réalisés en distanciel total. Une évaluation des solutions utilisées dans notre IUT pendant cette période a été présentée à CNRIUT 2021 [3]. L'après confinement a laissé place à une période de retour des étudiants et enseignants dans les locaux de l'Université, mais avec des jauges à respecter dans les salles : seule la moitié des groupes d'étudiants pouvait être accueillie. Plusieurs solutions ont alors été envisagées pour permettre à tous de réaliser les TP : dédoublement des séances (inconvenient : nombre d'heures d'encadrement dupliqué) ; accueil simultané des 2 demi-groupes dans 2 salles différentes (inconvenients : duplication de matériels ; l'enseignant gère deux salles en même temps : qualité de l'encadrement dégradée), ...

En ce qui concerne le module de Téléphonie sur IP dont nous avons la responsabilité, nous avons choisi d'accueillir en présentiel la moitié de chaque groupe en salle de TP, et de demander à l'autre moitié d'être présent en distanciel synchrone (comodalité). A chaque nouvelle séance de TP, les deux demi-groupes changeaient de modalité. Ainsi, chaque étudiant a réalisé la moitié de ses TP en présentiel, et l'autre moitié en distanciel. Seule la séance de contrôle de TP a été réalisée en présentiel pour tous. Notre problématique a été de trouver une solution pour que les étudiants en distanciel puissent participer le plus possible aux manipulations de TP, et ne pas être simples observateurs. Pour cela, nous avons mis au point un environnement connecté autorisant toutes les interactions entre les humains (étudiant-étudiant, étudiant-enseignant) et le maximum d'interactions avec les objets connectés de la salle de TP. L'hypothèse que nous avons formulée était que cette solution technique permet une

immersion suffisante des étudiants en distanciel, pour leur permettre d'acquérir les compétences associées. Les données pédagogiques utiles étaient accessibles directement sur les matériels, ou sur le serveur Moodle de l'Université. Ainsi, les 4 piliers de l'IoE ont été mobilisés dans cette solution. Il s'agit donc d'un exemple concret de l'Université 4.0, tel que décrit dans [2].

## 3 Architecture de l'ECPS dédié

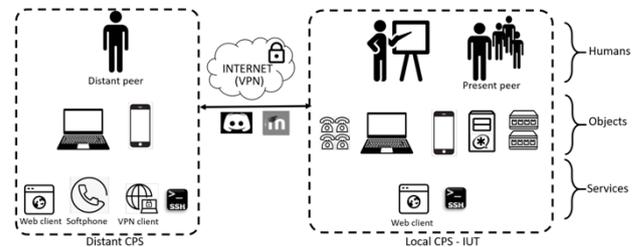


Figure 1 – Architecture de l'ECPS dédié aux TP

Le système cyber-physique éducatif (ECPS) qui a servi de support aux TP était constitué de serveurs téléphoniques (Asterisk sur serveurs Linux Ubuntu), de téléphones IP physiques (Aastra 55i, 57i et Grand Stream GVX), et d'un émulateur de réseau téléphonique public (Asterisk, complété par le logiciel A2billing pour gérer les droits d'accès au réseau public). Tous ces matériels étaient connectés au réseau local informatique de l'IUT.

La figure 1 détaille l'ECPS qui a été mis en place. Ce dernier devait remplir plusieurs objectifs :

1. Permettre aux étudiants en distanciel d'accéder au réseau de l'IUT : utilisation d'un accès VPN dédié ;
2. Permettre à ces étudiants d'intervenir sur les matériels connectés de la salle de TP : connexions ssh sur les serveurs, configurations par interfaces web sur les téléphones ;
3. Déporter certains « matériels » au domicile des étudiants en distanciel pour faciliter les manipulations : un téléphone logiciel (Linphone) a été utilisé par chaque étudiant en distanciel sur son ordinateur, pour pouvoir recevoir et passer un appel vers un autre poste téléphonique de la salle de TP depuis son domicile, comme s'il était en présentiel.
4. Autoriser les interactions étudiant-étudiant et étudiant-enseignant indispensables dans une activité de TP : utilisation d'un serveur Discord. Ces interactions étaient constituées d'échanges vocaux, textuels, de fichiers, de partages d'écrans, et de présentations par l'enseignant aux étudiants.
5. Centraliser les ressources pédagogiques nécessaires à la réalisation des TP : utilisation du serveur Moodle de notre Université (sujets de TP, liste des adresses IP des matériels, ...).

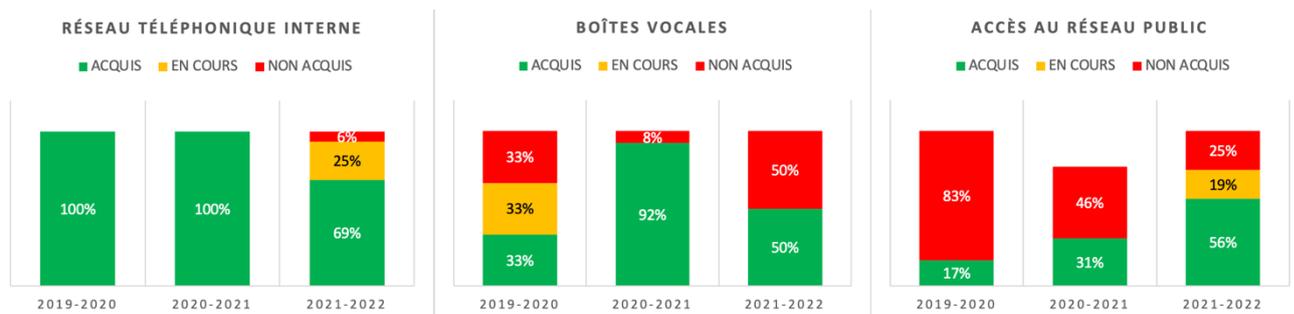


Figure 2 – Compétences évaluées lors du contrôle de TP

#### 4 Mise en œuvre et adaptation pédagogique

Les étudiants ont réalisé ces TP en binôme (un étudiant présentiel et un étudiant distanciel par binôme). 4 séances de TP ont eu lieu, avant le contrôle final. D'un point de vue pédagogique, nous avons dû faire des adaptations par rapport aux TP d'avant la crise COVID-19. En effet, malgré l'utilisation de l'ECPS, les deux monômes n'avaient pas les mêmes capacités d'interaction avec les matériels. Par exemple, seuls les étudiants en présentiel pouvait faire le câblage du matériel. Aussi il a été nécessaire d'identifier, dans chaque TP, ce que chaque étudiant devait faire, c'est-à-dire préciser les manipulations à réaliser par les étudiants en présentiel, par les étudiants en distanciel, ou en commun.

Il faut noter que le contenu pédagogique et les attendus de ces TP n'ont pas été modifié par rapport à ce qui se faisait au préalable en présentiel, mais les étudiants ont atteint un peu moins d'objectifs dans chaque TP (notamment les objectifs les plus évolués, de fin de TP), car ils étaient globalement un peu plus lents dans la réalisation des tâches demandées.

#### 5 Évaluation des compétences

Nous avons analysé les résultats obtenus par les étudiants en termes de compétences (contrôle de TP). Pendant ce contrôle, ils devaient configurer un système téléphonique répondant à un cahier des charges fourni par l'enseignant. La figure 2 montre les résultats pour les trois compétences majeures du module : (i) configurer un réseau téléphonique d'entreprise simple, (ii) mettre en œuvre un service de boîtes vocales, (iii) configurer l'accès au réseau public. Les résultats de cette promotion (2020-2021) par rapport à ceux obtenus par la promotion précédente (TPs réalisés en présentiel), sont meilleurs. Si l'on compare avec la promotion suivante (TPs en présentiel), les résultats sont cette fois moins bons. Nous estimons que cette différence entre les 3 promotions est essentiellement due au niveau intrinsèque de chaque promotion : en 2019-2020, seuls 17% des étudiants ont validé toutes les compétences ; ils étaient 31% en 2020-2021, et 50% en 2021-2022. La comodalité semble ne pas avoir eu d'impact majeur sur les apprentissages de base.

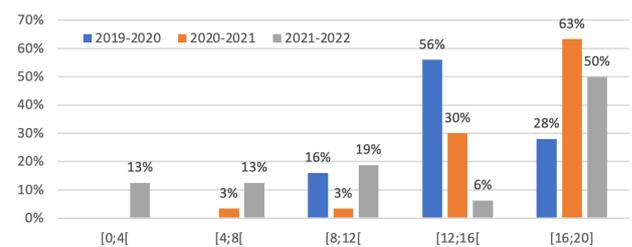


Figure 3 – Répartition des notes du contrôle de TP

Notez cependant que l'écart-type dans les résultats des étudiants est plus grand après confinement qu'avant (voir figure 3). Les phases successives de (semi)confinement subits par cette promotion pendant 2 ans ont largement impacté leurs compétences transversales de TP (câblage des matériels, configurations de base, ...), et leur capacité de concentration. Ils sont plus « lents » (ils valident moins d'étapes dans les TPs et pendant le contrôle), et moins persévérants, surtout les étudiants en difficulté (fossé plus grand avec la tête de la promotion). Nous pensons que cet effet négatif peut être amplifié par la comodalité, si le nombre de TPs en présentiel n'est pas suffisant.

#### 6 Conclusions

Dans cet article, nous relatons la réalisation de TP en comodalité pendant la crise COVID. Nous montrons que les apprentissages ne sont pas impactés, à condition d'avoir suffisamment de TPs en présentiel pour acquérir les compétences pratiques transversales. De futures expérimentations sont envisagées, pour affiner ces premiers résultats encourageants.

#### Références

- [1] Miraz MH., Maaruf A., Excell PS., and Picking R. *A review on internet of things (iot), internet of everything (ioe) and internet of nano things (iont)*. In 2015 Internet Technologies and Applications (ITA), pages 219-224.
- [2] Bachir S. - *Towards University 4.0 : A Model Driven Engineering Method to Design Educational Cyber Physical Systems* – PhD thesis, jan. 5th 2022.
- [3] Bachir S., Gallon S., Abenia A., Aniorté P., Lubon V.– *Enseignement à Distance en Situation d'Urgence : Retour d'Expériences du Premier Confinement*. CNRIUT 2021

# Amélioration de la précision des robots : études de cas données aux étudiants de l'IUT de Nantes

---

Kevin Subrin<sup>1</sup>  
kevin.subrin@ls2n.fr

Sebastien Garnier<sup>1</sup>  
sebastien.garnier@ls2n.fr

<sup>1</sup> Nantes Université, Ecole Centrale Nantes, CNRS, LS2N, UMR 6004, F-44000 Nantes, France

**THÈMES** – Robotique

**RÉSUMÉ** – *L'amélioration de la précision des robots est une excellente thématique pour la pédagogie mêlant des travaux d'analyse autour de la modélisation, des analyses statiques et dynamiques, de l'automatique, de la conception, des analyses de structures et de l'expérimentation. Nous détaillons ici des travaux d'étudiants de niveau DUT/BUT à Master et de leurs contributions dans le cadre de nos activités de recherche. Ils portent dès lors sur 2 dispositifs visant à appliquer une action mécanique sur l'effecteur afin que nous analysons la déformation du robot. Le premier système consiste en un dispositif ballbar de grandes dimensions pour les machines-outils, permettant d'appliquer un effort jusqu'à 2500N sur un robot industriel. Le second est un dispositif à câbles accroché à un effecteur positionné sur le robot. Chaque câble étant lié à un réservoir alimenté par des billes en acier.*

**MOTS-CLÉS** – Robotique industrielle, Robotique à câbles, Rigidité articulaire, Virtual Joint Modeling

## 1 Introduction

L'amélioration de la précision des robots est une thématique de recherche étudiée depuis longtemps [1] et montre toujours un intérêt fort dans la communauté scientifique. Les procédés robotisés pouvant fortement varier en sollicitation ou en vitesse montrent qu'il est difficile d'anticiper le comportement du robot pour certaines applications. Les constructeurs de robots savent mettre en avant les performances de leur robot par des indicateurs (charge, rayon d'accessibilité, charge suivant la zone de travail du robot) mais cela reste insuffisant lorsque le critère de choix est la précision car le comportement du robot est fortement anisotrope dans son espace de travail. Aujourd'hui la robotique industrielle représente toujours 97% des robots même si la cobotique est en pleine croissance. L'IUT de Nantes dispense des cours à la robotisation de tâches depuis le BUT jusqu'au Master. Les travaux évoqués ont été réalisés en partie par nos deuxièmes années dans le cadre de projets d'études (DUT GMP2) et dans le cadre de projets de niveau Master dans notre formation Master Professionnelle Interdisciplinaire en Technologie Innovante - Ingénierie des systèmes complexes - Parcours Fabrication Avancée et Robotique. La communication se structure autour de quelques éléments de théorie sur l'amélioration de la précision des robots puis présente les deux dispositifs sur lesquels les étudiants ont travaillé.

## 2 Amélioration de la précision des robots

L'amélioration de la précision des robots est un sujet interdisciplinaire pouvant être traité sous les aspects d'amélioration de la commande ou de la rigidité des composants structurels, de la mise en oeuvre de systèmes de compensation de gravité, de sur-instrumentation comme la mise en oeuvre de système à double encodage, de la mise en oeuvre d'actionneurs de type Harmonic Drive limitant les jeux. L'analyse de rigidité des robots consiste en une première hypothèse que les actionneurs focalisent les déformations majoritaires. Cela est vrai et de l'ordre de 90%. Dès lors, le robot est modélisable via la méthode Virtual Joint Modeling [2]. Les modélisations des robots font apparaître la matrice Jacobienne  $J$  qui permet par calcul matriciel d'obtenir à partir des vitesses articulaires, les vitesses cartésiennes. Également, les couples articulaires appliqués sur les actionneurs du robot peuvent être obtenus par le produit de la Jacobienne transposée avec le torseur des efforts. Les deux dispositifs présentés ci-après permettent dès lors de réaliser cette identification. Cependant, le rapport entre la rigidité du porteur (3 premiers axes) et la rigidité du poignet (3 derniers axes) est de l'ordre de 10. Des phénomènes de compensation peuvent se produire lors de l'identification. Si, par exemple, la rigidité du porteur est légèrement sur-estimée, la rigidité du poignet va compenser cette estimation en affichant des rigidités "négatives" qui n'ont pas

de sens physique. Une méthode a été développée au sein de notre équipe pour découpler l'identification des rigidités articulaires entre le porteur et le poignet [3].

## 3 Dispositif de sollicitation de type "BallBar 3D"

Ce dispositif est né de l'expression du besoin d'un ensemble d'industriels et de la lourdeur du protocole de test pour réaliser l'identification des rigidités articulaires du robot. Nos protocoles initiaux visaient à mesurer la position du robot avec et sans sollicitation en étant asservi en différents points de l'espace. Le premier dispositif conçu consiste en un dispositif ayant pour chaîne cinématique un cardan, une prismatique, un second cardan et une dernière pivot qui est fixée sur l'effecteur du robot. Un capteur de force uniaxial permet de mesurer l'effort appliqué au robot. Chaque liaison articulaire (les 2 cardans) est équipé d'un codeur. La prismatique est réalisée par deux guides cylindriques avec une réglette de mesure de position et un vérin pour appliquer l'effort (Figure 1). Ce dispositif permet de reconstruire la position du robot sous et sans charge et de régler la sollicitation. Également, le dispositif permet de tirer ou de pousser sur le robot.

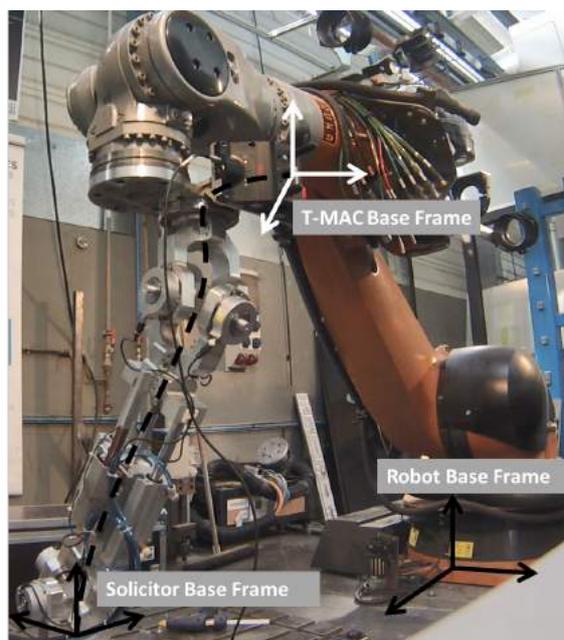


FIGURE 1 – Dispositif de sollicitations de robot industriel

Les étudiants ont dans le cadre de ce projet participer pleinement à l'analyse de la déformation des pièces du solliciteur par les éléments finis en faisant du calcul de structure d'assemblage sous le logiciel Dassault Systèmes 3DEXPERIENCE. Leurs travaux ont permis en partie, de cerner une faiblesse de la base du dispositif et les travaux

ont été publiés dans la revue *Robotic Computer Integrated Manufacturing* [4].

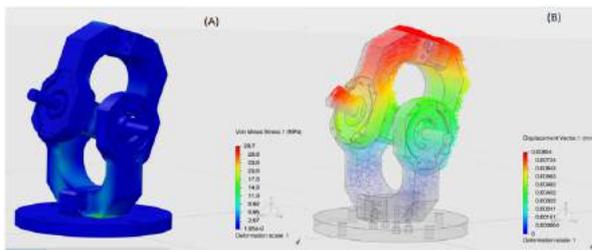


FIGURE 2 – Analyse Elements Finis de la base du dispositif

#### 4 Dispositif de sollicitation de type "Robot Parallèle à Câbles"

Ce dispositif est né d'échange dans le cadre de notre équipe de recherche qui est positionné dans la thématique de la robotique grande dimension où les architectures de type Robotique parallèle à câbles sont d'intérêt. Cet intérêt est également poussé par les industriels du domaine naval (Naval Group, les Chantiers de l'Atlantique) mais également de l'aéronautique (Airbus) dont la présence est forte en Pays de La Loire. Le dispositif conçu est composé d'un robot de petite dimension dont l'effecteur est connecté par un ensemble de câbles, répartis de telle manière à appliquer un torseur complet d'efforts sur le robot. Chaque câble est tendu par l'intermédiaire de godets remplis par des billes. Un dispositif permet la circulation des billes. Les étudiants, ont dans le cadre des projets de 2<sup>nd</sup>e année, conçu, fabriqué et mis au point ce dispositif. Des éléments restent à fabriquer mais la faisabilité et la fiabilité ont été démontrées. Les étudiants de Master ont eu à travailler sur la modélisation du robot (calcul de la Jacobienne), sur la planification des trajectoires évitant la collision des câbles et sur une première estimation des rigidités articulaires. Le robot choisi est un IWA à 7 degrés de liberté rendant le sujet d'identification plus complexe.

#### 5 Conclusion

Dans le cadre de cette communication, nous présentons deux projets d'intérêt pour notre équipe de recherche. Ces projets vont permettre de continuer nos travaux de modélisation et de proposer à la communauté scientifique de nouvelles méthodes pour mieux comprendre le comportement des robots sous sollicitations.

#### Références

[1] Karan, Branko et Vukobratovic, Miodir *Calibration and accuracy of manipulation robot models—An*



FIGURE 3 – Dispositif de sollicitations de robot industriel

*overview Mechanism and Machine Theory*, 1994, vol. 29, no 3, p. 479-500

[2] Yoshikawa, Tsuneo et Matsudera, Katsuki. *Experimental study on modeling and control of flexible manipulators using virtual joint model*. In : *Experimental Robotics IV*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1997. p. 423-435.

[3] Ambiehl, Alexandre, Garnier, Sébastien, Subrin, Kevin. *New method for decoupling the articular stiffness identification : Application to an industrial robot with double encoding system on its 3 first axis*. In : *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. IEEE, 2017. p. 1478-1483.

[4] Garnier, Sebastien et Subrin, Kevin. *A metrological device for robot identification*. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2022, vol. 73, p. 102249.

## Contribution à l'estimation de la durée de vie restante des roulements à billes

---

Abdenour SOUALHI

Abdenour.soualhi@univ-st-etienne.fr

Univ Lyon, UJM-Saint Etienne, F-42334, SAINT-ETIENNE, France  
LASPI, EA 3059

**Thèmes** – Mécanique – Maintenance

**Résumé** – *Cet article présente l'ensemble des protocoles de vieillissement à mettre en œuvre dans le cadre de la détection, le diagnostic et le pronostic des défauts dans les roulements à billes. Nous privilégions les méthodes orientées données pour la surveillance de l'état de santé des roulements. Ces méthodes sont basées sur le suivi des paramètres de surveillance extraient à partir d'analyses effectuées sur les signaux de mesure. Nous utiliserons des signaux vibratoires. Nous nous limiterons dans un premier temps aux signaux vibratoires. Trois essais seront effectués sur les roulements à billes : des essais en régime stationnaire en vitesse et en charge, des essais en régime non stationnaire avec des contraintes variables en charge et des essais en régime non stationnaire avec des contraintes variables en vitesse. Ce document se termine par une perspective sur les protocoles de vieillissement dans le cas des essais en régime non stationnaire avec des contraintes variables en charge et en vitesse.*

**Mots-Clés** – *Traitement du signal, extraction d'indicateurs, analyse vibratoire, roulement, diagnostic, détection de défaut, estimation de la durée de vie restante.*

## 1 Introduction

L'objectif de notre travail est la mise en place d'une méthode d'extraction d'indicateurs de dégradation des roulements afin de faciliter la mise en place d'algorithmes de détection, diagnostic et pronostic de défauts. Pour ce faire, nous allons positionner notre étude sur le roulement à billes (Rbs). Les données de mesures, dans le cas des roulements à billes, peuvent correspondre à des données vibratoires, acoustiques et/ou température. Dans le Protocol expérimental que nous proposons, nous allons nous baser sur l'analyse des signaux vibratoires afin de surveiller l'état de santé des Rbs car tout composant en fonctionnement produit des vibrations. La détérioration du fonctionnement se traduit par une « modification de la répartition de l'énergie vibratoire » conduisant le plus souvent à un accroissement du niveau des vibrations. En observant l'évolution de ce niveau, il est par conséquent possible d'obtenir des informations très utiles sur l'état des Rbs.

Des calculs de probabilité permettent de déterminer la durée de vie d'un roulement pour une application déterminée, mais ces calculs ne tiennent compte que du phénomène de fatigue, phénomène naturel du vieillissement d'un roulement.

La durée de vie nominale est le nombre de tours que peut effectuer au moins 90% des roulements soumis aux mêmes conditions avant l'apparition des premiers signes de fatigue, elle est notée  $L_{10}$ ,

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^\beta \quad (1)$$

avec :

$P$  : charge radiale équivalente exercée sur le roulement en Newton (N).

$C$  : charge de base dynamique que supporte un roulement pour atteindre une durée de vie nominale de 1 million de tours, en N.  $\beta=3$  pour un roulement à billes.

Si la vitesse du Rb est constante, nous pouvons exprimer la durée de vie du roulement en heure par :

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P}\right)^\beta \quad (2)$$

avec  $n$  : vitesse de rotation en tr/min.

La formule (2) donne une estimation sur la durée de vie du roulement à billes NSK 6804RS pour les conditions de dégradation (CD1, CD2 et CD3) comme suit :

- CD1 : vitesse de rotation de 1800 tr/min et une charge radiale de 4000 N  $\rightarrow L_{10h} = 9^h15^{\text{min}}$
- CD2 : vitesse de rotation de 1650 tr/min et une charge radiale de 4200 N  $\rightarrow L_{10h} = 8^h43^{\text{min}}$
- CD3 : vitesse de rotation de 1500 tr/min et une charge radiale de 5000 N  $\rightarrow L_{10h} = 5^h41^{\text{min}}$

Cependant, comme le montre la figure 1, les roulements numérotés (11 et 12), dans le CD1, se dégradent après  $7^h25^{\text{min}}$  et  $2^h25^{\text{min}}$  respectivement.

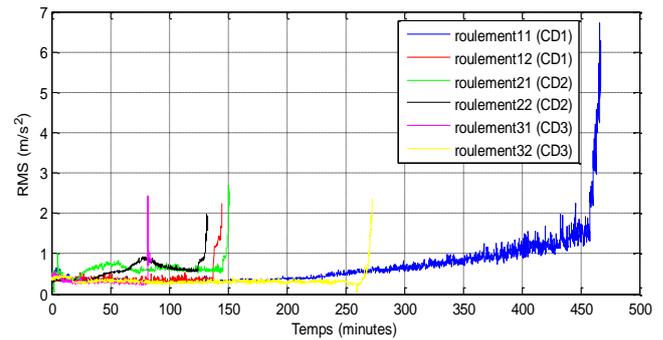


Figure 1 – Evolution de la dégradation des Rbs en fonction des CDs

Ces résultats indiquent, d'une part, la non concordance entre la durée de vie donnée par le constructeur (voir la formule (2)) et celle constatée sur les roulements 11 et 12 ; d'autre part, le grand écart qu'il y a entre les roulements 11 et 12 est important :  $5^h50^{\text{min}}$  !.

Les figures 2 et 3 montrent les signaux vibratoires des roulements 11 et 12 respectivement. Ces signaux correspondent à des roulements défectueux lorsque l'accélération dépasse 20g.

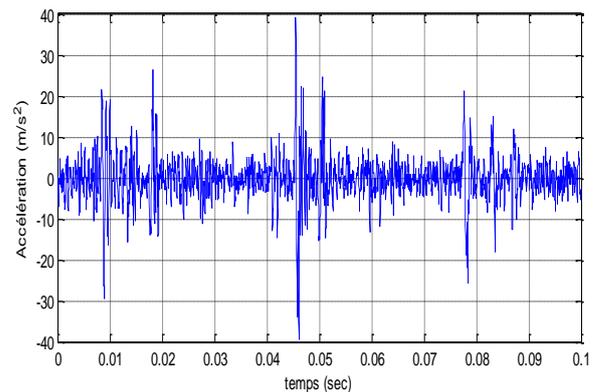


Figure 2 – Signal vibratoire du roulement 11 dégradé

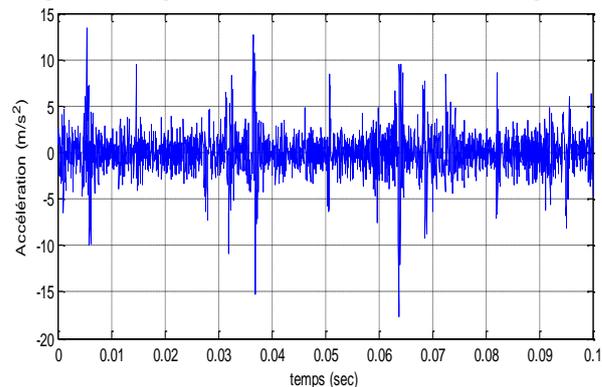


Figure 3 – Signal vibratoire du roulement 12 dégradé

## 2 Conclusion :

Nous pouvons remarquer à partir de ces des figures 2 et

3 des pics d'accélération qui dépassent 20 g pour le roulement 11 et 13g pour le roulement 12. Si nous considérons que le roulement 11 comme étant un roulement défectueux ; cela correspond à un RMS (Root Mean Square) égal à 6,7 m/s<sup>2</sup> (voir figure 1). Le RMS du roulement 12 est égal à 2,1 m/s<sup>2</sup>. Même si un RMS de 2,1 m/s<sup>2</sup> est une valeur élevée par rapport à celui d'un roulement sain qui égal à 0,45 m/s<sup>2</sup>, cela voudrait-il dire que le roulement 12 est défectueux ? En plus, on n'observe pas de périodicité visible entre les pics d'accélération qui donnerait une indication sur sa fréquence.

### 3 Perspectives :

Deux autres types d'essais de vieillissement restent à envisager :

- Des essais en régime non stationnaire (RNS1) : les roulements à billes sont soumis à des contraintes constantes en vitesse et des contraintes variables en charge.

- Des essais en régime non stationnaire (RNS2) : les roulements à billes sont soumis à des contraintes constantes en charge et des contraintes variables en vitesse.

#### - Essais en régime non stationnaire (RNS1)

Le chronogramme qui sera utilisé pour le vieillissement en régime non stationnaire (RNS1) est présenté dans la figure 4. Les Rbs seront soumis à une vitesse constante de 2000tr/min et une charge radiale qui varie entre 2,5 et 3,5KN. Lorsqu'un Rb est soumis à une charge variable et une vitesse constante, une charge équivalente peut être utilisée afin de déterminer la durée de vie du Rb. Elle est donnée par la formule suivante :

$$C_{\text{eq}} = \left( t_1.C_1^\alpha + t_2.C_2^\alpha + \dots + t_z.C_z^\alpha \right)^{\alpha^{-1}} \quad (3)$$

avec:

$C_{\text{eq}}$  : Charge équivalente qui sera appliquée sur le Rb tout le long du test ;

$t_i$  : durée d'utilisation de chaque charge avec  $\sum_{i=1}^z t_i = 1$  ;

$C_i$  : charge appliquée sur le Rb pendant une durée  $t_i$  ;

$\alpha$  : constante égale à 3 pour un roulement à billes et 10/3 pour un roulement à rouleaux.

Si nous imposons au Rb une charge de 3,5KN pendant 40% du temps d'essai puis 2,5KN pendant le reste du temps (60%), alors la charge équivalente sera égale à 3KN. Le temps de vie du Rb sera égal à 19<sup>h</sup>45<sup>min</sup>. Au final, nous appliquerons une charge radiale de 3,5KN pendant 7<sup>h</sup>54<sup>min</sup> puis une charge radiale de 2,5KN pendant 11<sup>h</sup>51<sup>min</sup>.

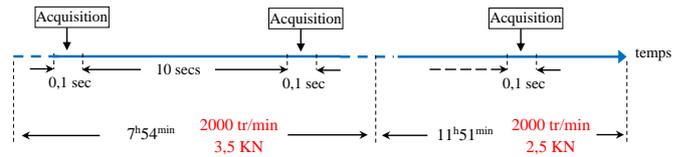


Figure 4 – Chronogramme utilisé pour le suivi du vieillissement des Rbs en régime non stationnaire RNS1

#### - Essais en régime non stationnaire (RNS2)

Le chronogramme qui sera utilisé pour le vieillissement en régime non stationnaire (RNS2) est présenté dans la figure 5. Les Rbs seront soumis à une charge radiale constante de 3 KN et une vitesse qui varie entre 1650 et 2000 tr/min. Lorsqu'un Rb est soumis à une vitesse variable et une charge constante, une vitesse équivalente peut être utilisée afin de déterminer la durée de vie du Rb. Elle est donnée par la formule suivante :

$$V_{\text{eq}} = t_1.V_1 + t_2.V_2 + \dots + t_z.V_z \quad (4)$$

avec:

$V_{\text{eq}}$  : vitesse équivalente à laquelle sera soumis le Rb tout le long du test ;

$V_i$  : vitesse de rotation du Rb pendant la durée  $t_i$ .

Si nous imposons au Rb une vitesse de 1650 tr/min pendant 40% du temps d'essai puis 2000 tr/min pendant le reste du temps (60%), alors la vitesse équivalente sera égale à 1860 tr/min. Le temps de vie du Rb sera égal à 21<sup>h</sup>23<sup>min</sup>. Au final, nous appliquerons une vitesse de 1650 tr/min pendant 8<sup>h</sup>33<sup>min</sup> puis une vitesse de 2000 tr/min pendant 12<sup>h</sup>49<sup>min</sup>.

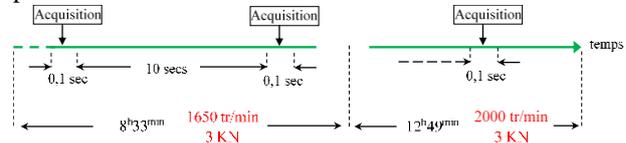


Figure 5 – Chronogramme utilisé pour le suivi du vieillissement des Rbs en régime non stationnaire RNS2

---

## Création d'un tiers-lieu universitaire : vers une réflexion sur les communs ?

---

Patrice Bourson<sup>1</sup>      Corinne Martin<sup>2</sup>      Pierre Pino<sup>3</sup>

[patrice.bourson@univ-lorraine.fr](mailto:patrice.bourson@univ-lorraine.fr)   [corinne.martin@univ-lorraine.fr](mailto:corinne.martin@univ-lorraine.fr)   [pierre.pino@univ-lorraine.fr](mailto:pierre.pino@univ-lorraine.fr)

<sup>1</sup> IUT de Metz, Université de Lorraine  
LMOPS (Laboratoire Matériaux optiques, photonique et systèmes), UMR CNRS 7132

<sup>2</sup> IUT de Metz, Université de Lorraine  
CREM (Centre de recherche sur les médiations), UR 3476

<sup>3</sup> IUT de Metz, Université de Lorraine  
LCOMS (Laboratoire de conception, optimisation et modélisation des systèmes), UMR CNRS

**Thèmes** — *Gestion - Environnement - Informatique - Robotique - Imagerie - Électronique -- Matériaux - Mécanique - SHS - Lettres - Communication - Arts*

**Résumé** — *Notre proposition de communication vise à relater l'expérimentation et la mise en œuvre d'un tiers-lieu universitaire, démarche initiée en IUT, puis ouverte sur le Campus et la Cité. Cette expérimentation interroge la question théorique (économique, juridique), des communs, des biens communs et son application, en retour, sur le terrain, avec la question fondamentale de la gouvernance de ce tiers-lieu. Notre démarche confirme la possibilité de mettre en œuvre un processus de recherche-action pluridisciplinaire au sein d'un IUT.*

**Mots-Clés** — *Tiers-lieu, communs, gouvernance, IUT, recherche-action, expérimenter.*

## 1 Sur la notion de tiers-lieu

« Longtemps méconnus, parfois négligés, les tiers-lieux apparaissent désormais comme incontournables dans nos territoires. Tant par leur nombre, qui ne cesse d'augmenter, que par leurs actions au carrefour des transitions numériques, écologiques, économiques et sociales » Lévy-Waitz [1].

En effet, l'émergence des tiers-lieux est attestée : nouveaux espaces de *coworking* (Moriset [2]), *FabLab* (Suire [3]), *LivingLab*, *makerspaces* (Lallement [4]), ateliers partagés, jardins partagés, etc., ils seraient 2500 recensés en France (3000 à 3500 estimés pour 2022). L'origine du terme vient de Ray Oldenburg [5]. S'ils sont quasi impossibles à définir tant leur diversité est grande, ils sont souvent présentés comme des laboratoires pour penser une nouvelle relation au travail (entrepreneuriat, intelligence collective), pour mettre en œuvre la transition digitale (règne du numérique, reconversion d'anciennes friches industrielles), ainsi que la transition écologique (repenser notre rapport à la ville, nos modes de consommation, etc.), jusqu'à être vantés par les collectivités territoriales comme des outils d'attractivité des territoires Burret [6], Scaillerez, Tremblay [7].

## 2 Le projet de tiers-lieu et ses enjeux

A l'initiative des enseignants-chercheurs du département Génie Mécanique et Productique de l'IUT, a d'abord été créée une Halle de Technologie, puis a émergé l'idée du tiers-lieu rassemblant les différents départements de l'IUT de Metz (Campus Île du Saulcy) à l'université de Lorraine (cf. la présentation des tiers-lieux du sillon lorrain dans le cadre d'un projet CPER 2017-2019), Martin [8].

Avec un *FabLab* citoyen (GraouLab) et un *Expressive Game Lab* (dédié aux recherches sur les jeux vidéo et animé par l'équipe de Sébastien Genvo, de l'UFR SHS), ce tiers-lieu a vu le jour, et projette d'accueillir une troupe de théâtre en résidence. L'ambition est d'animer le campus (en relation avec la maison des étudiants et le théâtre universitaire), l'ouvrir (écran de verdure au cœur de la ville) sur la cité et accueillir des projets citoyens.

### 2.1 Expérimenter et « faire ensemble »

Co-construire ce tiers-lieu, faire ensemble, expérimenter, telle est l'ambition, avec une pédagogie par projet, qui favorise la création et sensibilise à l'entrepreneuriat.

Deux hackathons ont été organisés, mobilisant des équipes mixtes d'étudiants issus de tous les départements : ces événements fédèrent aussi les équipes pédagogiques en mixant les disciplines. De même, des collaborations avec d'autres UFR se sont développées (arts plastiques notamment) pour permettre aux étudiants

de bénéficier des ateliers (imprimantes 3D, découpe laser, etc.) et organiser conférences et ateliers dans l'espace de *coworking* (Espace FormLab).

Un financement par la région Grand Est a permis la rénovation du hall d'accueil en vue de l'installation à terme d'un café solidaire et d'un *Repair Café* et le label « Tiers-lieu Grand Est » a été obtenu début 2022.

### 2.2 Une réflexion sur le développement durable

Les enjeux pédagogiques, outre la démarche par projet, visent aussi à inscrire les étudiants dans une démarche réflexive sur leur projet professionnel, et leur projet de vie : dans quelles valeurs souhaitent-ils évoluer ? Leur faire découvrir l'ESS (économie sociale et solidaire), les initier au développement durable, leur apprendre à produire et consommer autrement, dans une démarche solidaire (Lallement et *al.* [9], Coriat [10]), sont quelques-unes des valeurs portées par le projet. Mais ces valeurs nécessitent d'être partagées dans une démarche plus que participative, mais implicative. En d'autres termes, ce projet s'inscrit dans une approche qui consacre le retour des communs, Coriat [11].

## 3 La question des communs et de la gouvernance

### 3.1 Sur la notion des communs, biens communs

L'approche économique des communs s'inspire des travaux fondateurs d'Elinor Ostrom [12] sur les biens communs (*Commons* en anglais). Et s'il est permis d'imaginer que les tiers-lieux favorisent l'expérimentation des communs, Martin, Pereira [13], comment ces communs – de quelle nature, quelles caractéristiques ? – pourraient-ils être pensés, conçus, expérimentés et mis en œuvre, au quotidien, très concrètement, dans de tels tiers-lieux universitaires ? Notre réflexion s'étendra des biens communs aux communs – voire les communs informationnels –, jusqu'au principe du commun défini par Dardot et Laval [14], [15].

S'il existe des limites inhérentes à la définition juridique des communs, comment les dépasser, au-delà du clivage privé-public ? (voir les travaux de la Commission Rodotà, *in* Cornu et *al.* [16]). Et s'il ne peut exister de commun sans *commoning* – et réciproquement – (voir Helfrich, Bollier, *in* Cornu et *al.*, [16, *op. cit.*], comment ce processus se met-il en œuvre ? Quelles en sont les conditions, voire les limites ? Et quelles passerelles théoriques seraient possibles avec la notion de communautés, telles qu'elles sont décrites par Michel Lallement [17].

### 3.2 La question essentielle de la gouvernance

Il s'agira d'explorer plus particulièrement la question de

la gouvernance de ce tiers-lieu, avec la notion de gouvernance polycentrique telle qu'elle a été définie par Elinor Ostrom [12, *op. cit.*], reprise par Benjamin Coriat [10, *op. cit.*]. Avec les contraintes institutionnelles des universités autonomes, comment mettre en œuvre une telle gouvernance, sans pouvoir mobiliser les outils juridiques existants, telles les SCIC (sociétés coopératives d'intérêt collectif) ? Et à travers ces diverses formes et niveaux de gouvernance, se pose la question des publics (étudiants, collègues enseignants et enseignants-chercheurs, citoyens du quartier) et de leur participation citoyenne (avec quel degré d'engagement/concernement ?), dans un contexte de crise des représentations, dans nos sociétés contemporaines. Quelles formes d'action collective, d'agir commun, peuvent voir le jour ? Et pour quel changement des pratiques sociales de consommation, mobilité, éducation, apprentissage, etc. ? De même se pose la question des liens tissés avec les acteurs publics du territoire : s'ils peuvent souvent participer au financement à travers des AAP, comment les associer véritablement à ces tiers-lieux, pour œuvrer à la dynamique du territoire ? Quelles formes juridiques, fonctionnement et règlements intérieurs seraient les mieux à même de favoriser cette mise en œuvre des communs ?

#### 4 Conclusions

A travers cette proposition, nous souhaitons relater une expérimentation conduite en IUT, ayant pour ambition de mettre en œuvre une pédagogie innovante, de décloisonner les disciplines/départements d'un IUT, et rayonner sur le Campus, et la Cité pour penser le monde de demain, en interrogeant la difficile question des communs.

Nous voulons aussi montrer que notre démarche s'inscrit dans une recherche-action, s'appuyant sur un terrain pédagogique en IUT, terrain que la réflexion théorique permet d'alimenter en retour.

#### Références

- [1] Pierre Lévy-Waitz, *Nos territoires en action. Dans les tiers-lieux, se fabrique notre avenir*. Rapport 2021. Accès : <https://francetierslieux.fr/rapport-tiers-lieux-2021/>
- [2] Moriset Bruno, « Inventer les nouveaux lieux de la ville créative : les espaces de coworking », *Territoire en mouvement. Revue de géographie et aménagement*, Dossier « La révolution numérique : tiers-lieux, hauts-lieux et territorialisation », 34, pp. 1-22. 2017. DOI : 10.4000/tem.3868.
- [3] Suire Raphaël, « La performance des lieux de cocréation de connaissances. Le cas des FabLabs », *Réseaux*, Dossier « Lieux et création », n° 196, 2016, p. 81-109. En ligne : <https://www.cairn.info/revue-reseaux-2016-2-page-81.htm>.
- [4] Michel Lallement, *L'âge du faire. Hacking, travail et*

*anarchie*. Paris : Seuil, coll. Essais, 2018.

[5] Ray Oldenburg, *The Great Good Place: Cafés, Coffee shops, Bookstores, Bars, Hair salons, and Other Hangouts at the Heart of a Community*, Cambridge, Da Cap Press, 1999 (1989).

[6] Antoine Burret, *Tiers-lieux : et plus si affinités ?* Paris, FYP Ed, 2015.

[7] Arnaud Scaillez, Diane-Gabrielle Tremblay, « Coworking, fab labs et living labs. Etat des connaissances sur les tiers-lieux », *Territoire en mouvement. Revue de géographie et aménagement*, Dossier « La révolution numérique : tiers-lieux, hauts-lieux et territorialisation », 34, pp. 1-18. 2017. DOI : 10.4000/tem.4200.

[8] Corinne Martin, responsable scientifique, Série documentaire « Dis, c'est quoi un tiers-lieu ? » réalisé par Fensch Toast (résident du tiers-lieu BLIIDA), 2019. Accès : [https://videos.univ-lorraine.fr/index.php?act=view&id\\_col=618](https://videos.univ-lorraine.fr/index.php?act=view&id_col=618)

[9] Michel Lallement, et al., Les makers contre le coronavirus : quelles leçons pour demain ? *AOC*, juin 2020. Accès : <https://aoc.media/analyse/2020/06/14/les-makers-contre-le-coronavirus-quelles-lecons-pour-demain/>

[10] Benjamin Coriat, *Le bien commun, le climat et le marché. Réponse à Jean Tirole*, Paris, Les Liens qui libèrent, 2021.

[11] Benjamin Coriat (dir.), *Le retour des communs. La crise de l'idéologie propriétaire*, Paris, Les Liens qui libèrent, 2015.

[12] Elinor Ostrom, *La gouvernance des biens communs : pour une nouvelle approche des ressources naturelles*, Bruxelles, Éditions De Boeck Supérieur, 2010 (version originale en anglais, 1990).

[13] Corinne Martin, Camille Pereira, Les tiers-lieux : expérimentations du commun ? *Territoires contemporains*, Dossier L'essor des biens communs. Une analyse pluridisciplinaire des communs, 15, 2021. Accès <http://tristan.u-bourgogne.fr/CGC/prodscientifique/TC.html>.

[14] Pierre Dardot., Christian Laval, Du public au commun, *Revue du MAUSS*, vol. 1, n° 35, p. 111-122, 2010.

[15] Pierre Dardot, Christian Laval, *Commun. Essai sur la révolution au XXI<sup>e</sup> siècle*, Paris, La Découverte, 2014.

[16] Marie Cornu, Fabienne Orsi, Judith Rochfeld, (dir.), *Dictionnaire des biens communs*, Paris, PUF, 2021 (2017).

[17] Michel Lallement, *Un désir d'égalité. Vivre et travailler dans des communautés utopiques*, Paris, Seuil, 2019.

# Détermination des critères de soudage dans un procédé innovant de thermosoudage en continu de films polymères pour l'emballage souple

---

Q. Tannous<sup>1</sup> Y. Béreaux<sup>2</sup> P. Mousseau<sup>2</sup> Y. Madec<sup>2</sup>

queen.tannous@sealester.com      prenom.nom@univ-nantes.fr

<sup>1</sup> IUT de Nantes,  
SEALESTER SAS

<sup>2</sup> IUT de Nantes, Nantes Université  
Laboratoire GEPEA, UMR 6144

**THÈMES** – *Matériaux - Mécanique*

**RÉSUMÉ** – *Un procédé innovant de thermosoudage en continu des films polymères pour la production d'emballages souples est étudié. Les films polymères sont caractérisés par calorimétrie différentielle afin de déterminer la température d'initiation de soudure. La température à l'interface de soudure est mesurée au cours du temps ainsi que la résistance mécanique atteinte par la soudure. Nous parvenons à modéliser la croissance de résistance mécanique de la soudure comme un phénomène thermoactivé en fonction de la température et de la durée du contact.*

**MOTS-CLÉS** – *Emballages souples. Films polymère. Soudage*

## 1 Introduction

L'emballage est nécessaire pour protéger les produits durant le transport, les préserver de la contamination et informer le consommateur. Afin de diminuer les déchets, les emballages rigides peuvent être remplacés par des emballages souples. Ces emballages souples, poches ou sachets, sont produits par scellage à chaud de films polymère. Traditionnellement on utilise des barres de chauffe pour la production en grande série de ces emballages souples. Malheureusement ce procédé n'est pas adapté dans le cas des productions de petites séries ou lorsque l'on désire changer la forme de l'emballage. Avec les barres de chauffe, chaque changement de forme nécessite un changement d'outillage, ce qui augmente les coûts et délais de fabrication. Récemment, un procédé innovant [1] pour le scellage des emballages souple a été mis au point par la société SEALESTER SAS. Dans ce procédé, un outil cylindrique et rotatif, porté à une température spécifique, vient suivre une trajectoire programmée et applique une pression de contact sur les films à souder. Désormais, chaque changement de forme ou de taille de l'emballage ne requière qu'un changement dans la trajectoire de l'outil et non plus dans l'outillage. De plus, ce procédé peut être adapté à tous les films polymère présent sur le marché.

Le principe de base pour souder des films polymère est le même quelque soit la méthode de soudage choisie : Il est nécessaire de mettre en contact les surfaces des films à souder lorsque ceux-ci sont parvenus à un état partiellement fondu. Pour parvenir à cet état, les surfaces doivent être porté à une température caractéristique du film et du polymère, appelée Température d'Initiation du Soudage (TIS). Une pression suffisante doit être maintenue durant tout le processus de soudage. Le soudage des polymères est expliqué par un mécanisme d'interpénétration des chaînes macromoléculaires au travers de l'interface de soudure [2]. Ce phénomène est dit thermoactivé et suit une loi temps-température. Par exemple, la résistance mécanique atteinte par la soudure augmente avec la température pour une durée de contact donnée, ou bien augmente avec la durée de contact pour une température donnée. L'objectif de ce travail a été de répondre à ces questions dans le cas de films complexes PET-PE très communément utilisés dans le domaine de l'emballage mais en utilisant exclusivement le procédé innovant SEALESTER, ceci afin de le qualifier par rapport à des procédés traditionnels.

## 2 Matériau et méthodes expérimentales

Deux films bicouches commerciaux (EKAFLEX) seront étudiés. Dans chaque film l'épaisseur de la couche de PET est de 12, tandis que l'épaisseur de la couche de PE est respectivement de 70 et de 120 pour les films qui seront dénommés PE70 et PE120 respectivement.

Nous utilisons la calorimétrie différentielle à balayage

pour déterminer la plage de température de fusion des films. Chaque échantillon est soumis à trois cycles de chauffe et refroidissement entre 0°C et 270°C à une vitesse de 10°C/min.

La température d'interface est mesurée par des thermocouples de type K de 25 sont insérés à l'interface entre les films à souder. De plus, deux thermocouples de type K de 50 sont positionnés dans l'outil afin de suivre la température de surface de l'outil. Les mesures sont acquises avec une fréquence de 100Hz.

Dans cet étude nous utilisons l'outil de soudage sans mouvement de rotation ou de translation. L'outil est chauffé à une température prédéterminée et appliqué avec une pression de 4 bars sur des bandes de films à souder. Des bandes de films de 25mm de large et de 200mm de longueur sont produites. La soudure est circulaire de diamètre 10mm. Pour chaque essai de soudage la température de l'outil a été enregistrée tandis que la température à l'interface a été enregistrée pour un échantillon sur six.

Des essais de pelage en T, communément pratiqués dans le domaine de l'emballage ont été conduits avec une machine de traction avec une vitesse de traverse imposée à 100mm/min

## 3 Résultats et discussion

### 3.1 Détermination de la TIS par calorimétrie différentielle

La calorimétrie différentielle à balayage (DSC) révèle Fig. 1 une large plage de fusion pour les deux films de polyéthylène mais qui est différente pour chacun d'eux : Une température début de la fusion (onset) à 108°C et un pic de fusion à 122°C pour le PE70, tandis que pour le PE120 la température de début de fusion est plus basse à 99°C et le pic est atteint à 112°C. Nous identifions ces températures de début de fusion comme étant les températures d'initiation de soudure TIS des films.

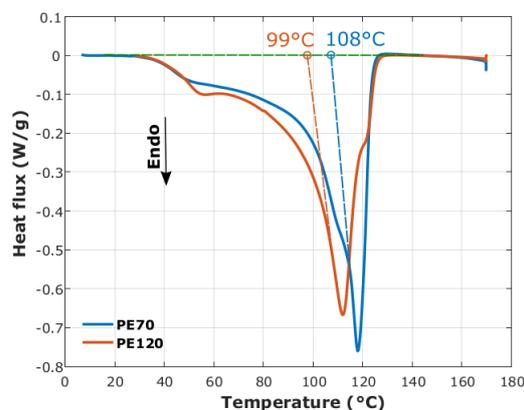


FIGURE 1 – Endothermes de fusion des films PE120 et PE70

### 3.2 Détermination de la TIS par mesure des températures d'interface

Des mesures de température transitoires à l'interface ont été conduites pour les films PE70 et PE120. Elles confirment que pour le PE lorsque l'interface ne dépasse pas 108°C le film ne sera pas soudé même pour une durée de contact de plus de 100s, alors que pour le film PE120, les films sont soudés à cette température.

De plus nous avons pu modéliser cette évolution transitoire de la température d'interface en adimensionnalisant la température par le température de l'outil et le temps par l'épaisseur du film :

$$\theta(t') = \frac{T_{\text{interface}}(t') - T_{\text{interface}}(0)}{T_{\text{outil}}(t') - T_{\text{interface}}(0)}, t' = \left(\frac{e}{e_{4\text{films}}}\right)^2 \quad (1)$$

où  $\theta$  est la température d'interface adimensionnelle,  $T$  la température mesurée,  $t$  le temps,  $e$  l'épaisseur du film. Comme l'ensemble des mesures expérimentales s'alignent sur une courbe maîtresse quelque soit la température d'outil et l'épaisseur des films, nous proposons un modèle de la température d'interface inspiré de la conduction instationnaire entre deux milieux semi-infini :

$$\theta(t) = \text{Berfc}\left(\frac{e}{2\sqrt{At}}\right) \quad (2)$$

où le paramètre matériel  $A$  est une diffusivité thermique et vaut  $7.10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$

### 3.3 Évolution de la résistance de la soudure suivant les paramètres procédé

Fig. 2 présente la force de pelage mesurée durant les essais de pelage en T pour le film PE120 selon la température d'outil et la durée de contact. Nous voyons clairement que la résistance de la soudure augmente rapidement avec la température de l'outil et la durée de contact, pour ensuite se stabiliser à un plateau de force maximale. Toutefois la valeur de la durée totale de contact n'est pas un paramètre suffisant pour caractériser la soudure, car seule compte la durée que l'interface passe au dessus de la température d'initiation de la soudure. Cette durée peut être calculée par le modèle décrit dans l'équation 2. En utilisant cette durée effective de soudage et la température moyenne de l'outil, on parvient à décrire la zone de croissance de la résistance de la soudure comme un phénomène thermoactif :

$$F_s = C \exp\left(\frac{\alpha}{T}\right) t^n$$

L'accord est très bon dans le cas du film PE120, avec une résistance de soudage mesurée qui tend vers zéro lorsque le temps effectif de soudage tend vers zéro, ce qui valide notre démarche de calcul d'un temps effectif de soudage comme étant le temps passé par l'interface au dessus de la TIS, et pas la durée totale du contact. L'exposant  $n$  est proche de 0.5, conformément à la théorie de la diffusion des chaînes macromoléculaires [2].

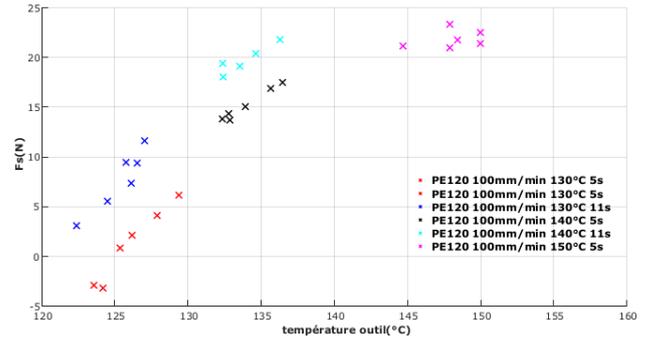


FIGURE 2 – Force de pelage à 5% déplacement en fonction de la température moyenne de l'outil, à différentes durées totales de contact. Cas du film PE120

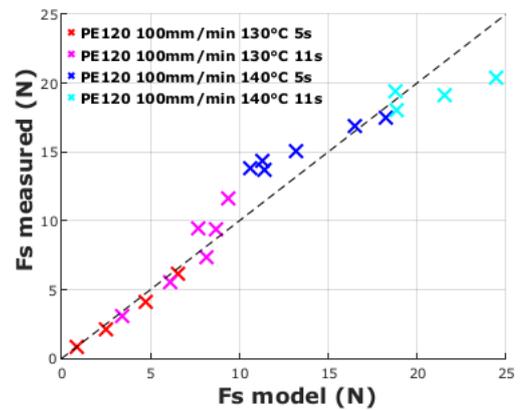


FIGURE 3 – Force de pelage à 5% déplacement en fonction du modèle équation (3.3). Cas du film PE120

## 4 Conclusions

Dans le cadre de la validation d'un procédé innovant de soudure des films polymères, nous avons mis en évidence et modélisé une zone de croissance de la résistance de la soudure avec la température et le temps effectif de soudage.

## Références

- [1] J. Taffin, S. Toutain, F. Desert, *Dispositif de thermo-soudage par friction de deux films thermosoudables à l'aide d'un outil à tête rotative*, 2016
- [2] C. Mueller, G. Capaccio, A. Hiltner, E. Baer, *Journal of Applied Polymer Science* 1998, 70, 102021.

---

## Influence des fibres de KénaF sur les propriétés de BTC

---

Nordine Leklou<sup>1</sup>, Philippe Poullain<sup>1</sup>, Armel Laibi<sup>1,2</sup>, Moussa Gomina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Nantes Université, IUT de Saint Nazaire, CNRS, GeM, UMR 6183, 44600 Saint-Nazaire, France

<sup>2</sup> Laboratoire CRISMAT – UMR 6508, 6 boulevard Maréchal Juin, CS 45053 – 14050 Caen CEDEX 4

nordine.leklou@univ-nantes.fr ; philippe.poullain@univ-nantes.fr; moussa.gomina@ensicaen.fr

**Thèmes** – Génie Civil - Ecomatériaux - Environnement

**Résumé** – *La terre crue est un matériau naturel, second matériau de construction en terme de volumes mis en œuvre après le ciment. Mise en œuvre de différentes manières en fonction des usages ou de contraintes climatiques locales, elle peut être utilisée sous forme de Briques de Terre Compressées (BTC). Cependant, la terre crue utilisée seule ne permet pas de satisfaire certaines propriétés d'usage du matériau et il est nécessaire d'y ajouter des renforts soit sous la forme de liants divers (ciment, géopolymères...) soit sous la forme de fibres, notamment végétales. Dans cette étude, nous avons étudié l'influence de l'ajout de fibres de KénaF sur les propriétés mécaniques et hygrothermiques de BTC réalisées à base de terre crue.*

**Mots-Clés** – *Terre crue, Briques de Terre Compressées (BTC), Matériau, Hygrothermiques .*

## 1 Contexte scientifique et principaux résultats

La terre crue est un matériau naturel, second matériau de construction en termes de volumes mis en œuvre après le ciment. Mise en œuvre de différentes manières en fonction des usages ou de contraintes climatiques locales, elle peut être utilisée sous forme de Briques de Terre Compressées (BTC). Cependant, la terre crue utilisée seule ne permet pas de satisfaire certaines propriétés d'usage du matériau et il est nécessaire d'y ajouter des renforts soit sous la forme de liants divers (ciment, géopolymères...) soit sous la forme de fibres, notamment végétales. Dans cette étude, nous avons étudié l'influence de l'ajout de fibres de Kénaf sur les propriétés mécaniques et hygrothermiques de BTC réalisées à base de terre crue.

Deux types de sols et une fibre végétale « Kénaf », originaires du Bénin (Afrique de l'Ouest) ont été étudiés. Un sol argilo-limoneux de la localité d'Etigbo (Sud du Bénin) et un sol limono-sableux de BAKA. Les plantes de kénaf cultivées près de Parakou, ont été coupées à 6 mois, rouies puis défibrées. Les fibres ont été coupées à l'aide d'un massicot à des longueurs de 5 mm, 10 mm, 20 mm et 30 mm (Figure 1).



Figure 1 –Fibres de Kénaf

Afin de déterminer les caractéristiques mécaniques des fibres, celles-ci sont collées sur un cadre en papier de 3,5 cm de hauteur et 2 cm de largeur. Les longueurs de jauge utilisées sont 5, 10, 20 et 30 mm. Le cadre est ensuite placé dans les mâchoires de serrage de la machine d'essai (Instron 5566) avec une cellule de 10 kN pour un essai de traction uniaxiale monotone. Les résultats figure 3 indiquent que le paramètre de Weibull<sup>1</sup> ( $m$ ) est d'autant plus grand que la longueur de jauge est faible. Ceci traduit une plus grande homogénéité, c'est-à-dire une fiabilité plus grande. Quelle que soit la longueur de jauge considérée, le module de Weibull des fibres de kénaf est supérieur à celui des fibres de lin [1] et des fibres de diss [2]. De plus, le module de Weibull et la contrainte moyenne à la rupture sont influencés par la longueur de jauge. Cela peut être expliqué par le fait que ces paramètres sont contrôlés par la taille et le nombre de défauts.

Le comportement hygro-thermomécanique des BTC (propriétés mécaniques, coefficients de transfert hydrique

<sup>1</sup> Le paramètre de Weibull permet de donner une idée de la dispersion sur la taille des défauts dans le matériau.

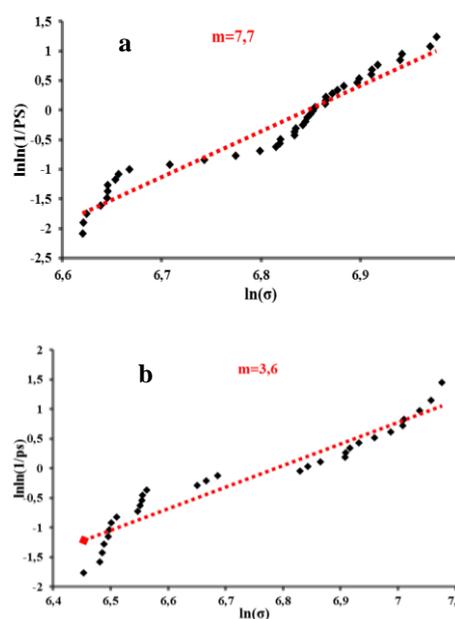
et porosité) est étudié sur 28 formulations (Figure 2).



Figure 2 – Les éprouvettes dans la chambre climatique à une température de  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$  et une humidité relative de 50 %

Les résultats montrent que :

La formulation BTC non fibrée (B0) (figure 4) présente un comportement élastique linéaire jusqu'à la rupture qui survient par une propagation de fissures issues d'un défaut (pore) dans le matériau (domaine I). Dans le cas de BTC incorporant 0,5% de fibres de kénaf de longueur 30 mm ( $\text{BF}^3_{0,5}$ ), l'accroissement de fissure à partir d'un défaut interne (matérialisé par la baisse rapide de contrainte) est bloqué dans un premier temps par l'action des fibres localisées au voisinage du front de fissure (augmentation de la contrainte). Les mécanismes mis en œuvre sont : le contournement progressif des fibres (déchaussement, extraction de la matrice minérale, microfissuration de la matrice, mise en tension des fibres). L'activation de ces mécanismes est matérialisée par la remontée de la contrainte et l'accroissement du déplacement jusqu'à la contrainte maximale (domaine II). Après ce stade, la rupture des fibres, leur extraction progressive de la matrice par frottement et les microfissurations se conjuguent pour créer une macrofissure dont la taille augmente avec le déplacement (domaine III). Les domaines II et III d'endommagement croissant quand la déformation augmente constituent le stade de comportement ductile du matériau [3].



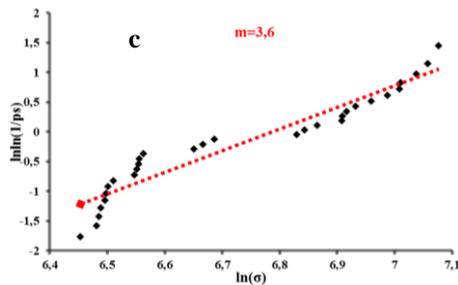


Figure 3 - Distributions de Weibull représentant la probabilité de survie en fonction de la contrainte à la rupture pour des fibres de kénaf de longueur : a) l= 5 mm ; b) l=10 mm ; c) l=20 mm

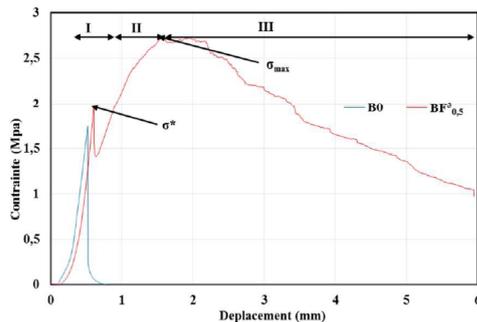


Figure 4 - Courbe contrainte-déplacement des blocs

- Les coefficients de Washburn<sup>2</sup> (A, A' et B) (tableau 1) diminuent avec l'augmentation de la teneur en ciment et croissent avec l'ajout des fibres. Les coefficients A pour les formulations fibrées sont plus élevés comparativement aux composites sans fibres et les coefficients A' sont environ moitié plus faibles que les coefficients A. Ces résultats indiquent que l'ajout des fibres à la matrice minérale favorise la création des macropores qui gouvernent la première phase d'absorption. La cinétique de la deuxième phase est favorisée par une faible microporosité comme en témoignent les coefficients A'.
- La porosité accessible à l'eau (tableau 2) diminue avec l'augmentation de la teneur en ciment et augmente avec l'introduction des fibres. L'ajout de ciment par la formation des hydrates<sup>3</sup>, induit la formation d'une porosité fermée, non accessible à l'eau tandis que l'incorporation des fibres crée des pores ouverts accessibles à l'eau.

Table 1 – Données moyennes des coefficients caractéristiques de l'absorption par capillarité<sup>4</sup>

2 En physique, l'équation de Washburn décrit l'écoulement capillaire dans un faisceau de tubes cylindriques parallèles; il est étendu avec quelques problèmes à l'imbibition dans des matériaux poreux.

3 L'hydratation est l'ensemble des réactions chimiques qui s'effectuent lors et après le mélange du ciment avec l'eau.

4 L'absorption par capillarité est une propriété hydrique qui témoigne de la capacité de la pierre à absorber une quantité d'eau par unité de temps et de surface, lorsqu'une seule face est en contact direct avec de l'eau.

Formulation	A (g/cm <sup>2</sup> s <sup>0,5</sup> )	A' (g/cm <sup>2</sup> s <sup>0,5</sup> )	B (cm/s <sup>0,5</sup> )
BC <sub>3</sub>	0,0131±0,002	-	0,04±0,017
BC <sub>5</sub>	0,0078±0,0014	-	0,034±0,0128
BC <sub>7</sub>	0,007±0,0023	-	0,032±0,013
BF <sub>0,5</sub> <sup>3</sup> C <sub>3</sub>	0,0139±0,007	0,008±0,001	0,04±0,021
BF <sub>0,5</sub> <sup>3</sup> C <sub>5</sub>	0,010±0,0013	0,0079±0,0046	0,038±0,028
BF <sub>0,5</sub> <sup>3</sup> C <sub>7</sub>	0,010±0,0030	0,068±0,0007	0,037±0,018
BF <sub>1,5</sub> <sup>2</sup> C <sub>3</sub>	0,0137±0,0034	0,0088±0,001	0,047±0,012
BF <sub>1,5</sub> <sup>2</sup> C <sub>5</sub>	0,0132±0,0015	0,0067±0,0018	0,047±0,017
BF <sub>1,5</sub> <sup>2</sup> C <sub>7</sub>	0,011±0,0012	0,0057±0,0006	0,034±0,016

Table 2 – Porosité accessible à l'eau des différentes formulations

Formulation	n (%)
BC <sub>3</sub>	24,82
BC <sub>5</sub>	23,93
BC <sub>7</sub>	23,06
BF <sub>0,5</sub> <sup>3</sup> C <sub>3</sub>	26,44
BF <sub>0,5</sub> <sup>3</sup> C <sub>5</sub>	26,09
BF <sub>0,5</sub> <sup>3</sup> C <sub>7</sub>	24,44
BF <sub>1,5</sub> <sup>2</sup> C <sub>3</sub>	28,12
BF <sub>1,5</sub> <sup>2</sup> C <sub>5</sub>	26,79
BF <sub>1,5</sub> <sup>2</sup> C <sub>7</sub>	26,63

## 2 Conclusions

Le présent travail démontre que l'ajout des fibres de kénaf a conduit à une amélioration significative de la résistance mécanique et surtout de la résistance à la flexion trois points.

Nous avons pu également observer que le matériau passe d'un comportement fragile caractérisé par une rupture brutale des éprouvettes, à un comportement ductile pour lequel, après la première fissuration de la matrice, les fibres végétales reprennent les efforts et permettent une déformation plus importante du matériau la phase de rupture contrôlée, ce qui permet d'un caractère de tolérance à l'endommagement.

Enfin, cette étude a permis de montrer que les meilleurs résultats de résistance mécanique sont obtenus avec les blocs stabilisés à 7% de ciment et renforcés par 0,5% de fibres de longueur 30 mm et que l'absorption totale d'eau des blocs diminue quand la teneur en liant est accrue et augmente avec l'incorporation des fibres

## Références

- [1] S. Korte, M.P. Staiger, "Effect of processing route on the composition and properties of hemp fibre" Dibers and Polymers, Volume 9-5 (2008).
- [2] Y. Lamia, "Caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales (Diss)", thèse Magister, Université Ferhat Abbas-Sétif, Algérie, mécanique appliqué, 2011.
- [3] ACI 544. State-of-the-art report on fibre reinforced concrete. Reported by ACI Committee 544.1-96, 1996.

---

# LA DISSIPATION D'ENERGIE SOUS FLAMBAGE PLASTIQUE MULTIAXIAL DES MOUSSES D'ALUMINIUM

---

Rachid Baleh<sup>1,3</sup> Ahcene Menouer<sup>2</sup> Solomon Huluka<sup>1</sup> & Akrum Abdul-Latif<sup>1</sup>

[rbaleh@garac.fr](mailto:rbaleh@garac.fr)

[ahmenouer@hotmail.com](mailto:ahmenouer@hotmail.com)

[solbayu2008@gmail.com](mailto:solbayu2008@gmail.com)

[abdul-latif@iu2t.univ-paris8.fr](mailto:abdul-latif@iu2t.univ-paris8.fr)

1. Laboratoire Quartz, IUT de Tremblay, UP8-Supméca, 3, rue Fernand Hainaut, 93407 St-Ouen Cedex, France.
2. Laboratoire des Matériaux, Structure et Energétique (LMSE), Dpt GM, Faculté Génie de la Construction, UMMTO, Tizi-Ouzou, Algérie.
3. GARAC - Ecole Nationale des Professions de l'Automobile, 3 Bd Gallieni, 95100 Argenteuil, France.

**Thèmes :** Matériaux – Mécanique.

## RESUME

Cette investigation porte sur des éprouvettes pleines de section carrée en mousse d'aluminium, en vue de comprendre leur comportement sous chargement complexe de compression-torsion. L'accent est mis ici sur l'effet de la nature du matériau via trois types de mousse avec 93%, 85% et 78% de porosité. Ainsi, outre le cas de l'écrasement uniaxial de référence, la sollicitation de flambage est progressivement complexifiée par l'intermédiaire d'un dispositif spécifique appelé ACTP, à travers quatre configurations biaxiales distinctes, intitulées : **Bi37°**, **Bi45°**, **Bi53°** et **Bi60°**, testées sous une vitesse de sollicitation quasistatique de 5 mm.mn<sup>-1</sup>. Les résultats obtenus révèlent clairement, que plus la complexité de chargement augmente, plus l'énergie absorbée par la mousse s'accroît. Et de conclure que le meilleur gain d'énergie est à l'avantage des deux nuances de mousse les plus denses **MP85** et **MP78**, avoisinant les 150% et en faveur du cas **Bi60°**. C'est donc le cas le plus complexifié avec la mousse la moins poreuse (MP78) qui présente le meilleur potentiel dissipatif d'énergie.

**Mots-Clés** – mousse d'aluminium, porosités, ACTP, sollicitation complexe.

## 1 Introduction

Le succès de toute conception mécanique dépend souvent de la sélection appropriée du matériau spécifique lié principalement à ses propriétés mécaniques et à sa fiabilité. Au niveau du choix des **matériaux**, des exigences souvent antinomiques telles que la légèreté et résistance, sont imposées par le développement ou l'amélioration de nouveaux concepts de et/ou de normes de sécurité et de confort. La tendance actuelle se dirige d'un côté, vers l'allègement des structures afin de minimiser la consommation d'énergie tout en optimisant les propriétés mécaniques et la durabilité et de l'autre, vers la multifonctionnalité des matériaux combinant par exemple, de bonnes caractéristiques mécaniques à des fonctionnalités diverses telles que l'isolation thermique et acoustique ou encore la conductivité électrique, le blindage sécuritaire etc. A cet effet, un panel de matériaux s'offre au monde industriel tels que métaux, bois, carton, matières plastiques et composites qui se révèlent efficaces et très utiles. Ainsi, dans le cas des SAE particulièrement, un intérêt croissant est accordé aux structures cellulaires telles que les mousses ou les cellules en nids d'abeilles qui s'accompagnent d'une diversité des mécanismes de physiques dissipatifs d'énergie (gonflement, frottement, rupture, flexion ou torsion plastique, flambage plastique, etc.). Et dans ce cadre, plusieurs travaux de recherche sont déjà consacrés aux différents matériaux cellulaires utilisés comme systèmes d'absorption d'énergie parmi lesquels, Amsterdam et al., [2003]. L'état de l'art révèle jusqu'à récemment encore plusieurs recherches parmi lesquelles, Sun et Li, [2003], Said et Tan [2009], Banhart [2009] portant la réponse des mousses métalliques comme accessoires d'absorbeur d'énergie, elles demeurent toutefois assez rares, voire inexistantes pour les conditions extrêmes de charges multiaxiales envisagées ici. Enfin, le besoin sans cesse d'optimiser toujours plus les performances des SAE par exemple et d'améliorer la sécurité, nécessite que l'on ait une connaissance plus approfondie encore de la relation entre les propriétés et la microstructure. Par ailleurs, le comportement des matériaux cellulaires en compression s'avère remarquable comparé à leur densité relative. Ils montrent une grande capacité d'absorption d'énergie. L'intérêt accordé au comportement en compression des matériaux cellulaires est largement retranscrit à travers la littérature en étant le mode le plus souvent étudié. De ce fait, cette investigation a pour but d'approcher de très près le comportement mécanique réel en régime quasistatique sous des conditions de chargement complexes, jamais abordées jusque-là. Ainsi, c'est le cadre expérimental, du chargement biaxial à travers la philosophie de l'effet de la complexification du trajet de chargement développé dans nos précédentes investigations sur des structures

tubulaires, qui est adopté ici. En effet, les études menées sur des tubes à section carré et cylindrique, Baleh [2004] et Abdul-Latif et Baleh [2007] et Menouer et al., [2014], ont montré un gain d'énergie substantiel pour plusieurs matériaux métaux et différentes géométries. Finalement, l'originalité de cette étude réside donc dans la caractérisation du comportement mécanique à travers la capacité dissipatrice de structures cellulaires sous chargement biaxial, formées d'une mousse alvéolée avec différentes porosités, et sous divers degrés de complexité Abdul-Latif et al., [2021]. Elle cible la caractérisation expérimentale du comportement de la mousse dans les conditions extrêmes. Elle est destinée à servir de BDD expérimentale à une future modélisation du comportement mécanique de la mousse sous chargements complexes multiaxiaux et conclure quant à l'importance d'un bon couplage densité/complexité.

## 2 Méthodologie expérimentale, mousses choisies

Enfin, tout au long de cette étude, nous avons donc opté pour trois types de mousse métallique à base d'aluminium (référéncée A7 Cast Foam), signifiant littéralement « mousse moulée » munies d'alvéoles ouvertes, sous forme de pores de diamètres 14 mm et de porosités nominales distinctes 78%, 85% et 93% que l'on intitulera respectivement, MP78, MP85 et MP93. A noter que la mousse métallique employée dans cette investigation, est produite par la société Alvéotec. Celle-ci a été choisie car licenciée par le CTIF (Centre Technique des Industries de la Fonderie), qui est un organisme agréé pour le Crédit d'Impôt recherche (CIR) par le ministère de la recherche de France.

### 2.1 Mode opératoire



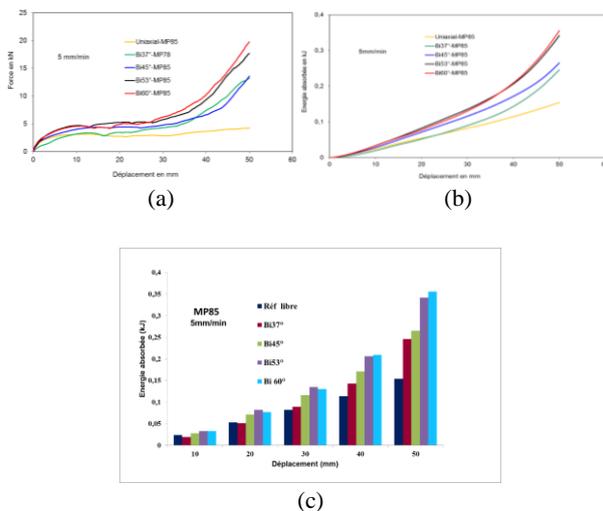
**Fig.1** Aperçu de des spécimens bruts et exemples de tests uniaxial et biaxial.

La campagne d'essais est réalisée sur une machine de traction- compression universelle de type Instron 5582, supplée par le dispositif ACTP pour les 4 configurations biaxiales **Bi37°**, **Bi45°**, **Bi53°** et **Bi60°**. Cette machine possède une capacité de charge maximale de 100 kN et offre une gamme de vitesses allant de 0,001 à 500 mm/min. Des conditions expérimentales identiques sont ainsi systématiquement usées, sous une même vitesse de sollicitation de 5 mm/min. L'écrasement des structures s'effectuant comme d'usage sur ce type de machine, entre deux plateaux de la machine via un déplacement de haut vers le bas du plateau mobile supérieur. Le protocole de cette campagne d'essais se résume en trois et/ou cinq essais répétitifs, qui sont réalisés systématiquement pour chaque configuration.

## 2.2 Quelques résultats significatifs



**Fig.2** Aperçu de l'évolution la structure interne des spécimens des trois types de mousse MP93, MP85 et MP78 en fin de flambage plastique pour la configuration biaxiale Bi60°.



**Fig.3** courbes d'évolution de la charge d'écrasement (a) : de l'énergie dissipée et c : influence de la complexité du chargement en fonction de la course pour les 5 configurations utilisées : référence uniaxiale et 4 biaxiales.

## 3 Analyse et commentaires

La figure 2 ci-dessous montre une comparaison du comportement mécanique à travers l'évolution de la porosité de chaque mousse et l'effet du trajet de chargement sur celle-ci. Celui-ci est également et clairement illustré par les courbes des figures 3a et 3b décrivant respectivement la variation de la charge d'écrasement et par intégration celle de l'énergie absorbée par chaque échantillon, en fonction de la course d'écrasement pour les trois types de mousses. Elles révèlent clairement une amplification croissante de la charge d'écrasement en faveur respectivement des mousses denses MP78 et MP85 respectivement. Il est à signaler par ailleurs, des diminutions quasi-symétriques de la porosité (7% et 8% entre les trois mousses, respectivement entre MP78/MP85 et MP85/MP93) qui génèrent des accroissements très significatifs de la charge de flambage et de l'énergie dissipée. De ce fait, à partir des fig.3c, une comparaison des absorptions montrent

clairement que celles augmentent significativement en fonction du degré de complexification du trajet de chargement des mousses et que la mousse la plus dense MP80 et celle qui consomment davantage d'énergie lors du flambage plastique. Et bien entendu cet accroissement est toujours en faveur du chargement le plus complexe i.e., le mode sévère, comme cela a été démontré dans d'autres études antérieures. De telles augmentations s'expliquent par la concomitance de deux effets, celui de la densité et celui de la complexité du chargement sur le comportement de la mousse. Autrement dit c'est la superposition des deux phénomènes dans la réponse du matériau à la sollicitation complexe qui est l'origine d'un tel changement de comportement.

## 4 Conclusions

En guise de conclusion, outre le fait que la maîtrise du comportement mécanique de la mousse MP93 s'est révélée être délicate et très difficile à assurer, quel que soit le type de chargement, par ailleurs il est évident comme le montrent les résultats précédents, que la meilleure capacité dissipatrice est assurée par la mousse à faible porosité (forte densité), i.e., la **MP78** sous chargement **Bi60**. De ce fait, on a intérêt à favoriser les structures à forte densité sans toutefois perdre de vue la limitation imposée par la densification exponentielle qui perturbe grandement l'écoulement plastique. Les essais biaxiaux ont donc montré enfin qu'on peut modifier la réponse de la mousse en complexifiant le trajet de chargement et ainsi améliorer sa résistance à l'écrasement et par conséquent sa dissipation d'énergie, grâce à l'**ACTP**.

## Références

- [1] Abdul-Latif, A. Menouer, R. Baleh and I. M. Deiab, *plastic Response of open cell aluminium foams under different quasi-static combined biaxial compression-torsion loading paths*, Materials Science and Engineering B 266 115051, 2021.
- [2] Amsterdam, E., Hosson, J.T.M.D., Onck P.R., *On the plastic collapse stress of open-cell aluminum foam*, Scripta Materialia 59, pp. 653-656, 2008.
- [3] Baleh R., thèse, *flambage plastique quasistatique et dynamique de structures métalliques sous sollicitations simple et complexe - SAE- via un nouveau dispositif Expér.*, UTT, 2004.
- [4] Banhart J., *Manufacture, characterisation and application of cellular metals and metal foams*, vol. 46, pp. 559-632, 2001.
- [5] Said M. R. and Tan C., *Quasi-Static Uniaxial and Biaxial Loading of Aluminium Foams*, vol. 16, no. 1, pp. 29-34, 2009.
- [6] Menouer A., Baleh R., Djebbar A. and Abdul-Latif A., *New generation of energy dissipating systems based on biaxial buckling*, 2014, J. Thin-Walled Structures.
- [7] Y. Sun and Q. M. Li, 2021, *Dynamic Compressive Behaviour of Cellular Materials: a Review of Phenomenon, Mechanism and Modelling*, Int. J. Impact Eng., doi: 10.1016/j.ijimpeng.2017.10.006.

---

# Le Génie Civil et la Mécanique au service de la Construction Durable : Evaluation de l'état de santé du béton des ouvrages par ondes ultrasonores

---

Manda Ramaniraka<sup>1</sup>    Jean-François Chaix<sup>2</sup>    Vincent Garnier<sup>2</sup>    Jean Mailhé<sup>2</sup>

[manda.ramaniraka@univ-amu.fr](mailto:manda.ramaniraka@univ-amu.fr), [jean-francois.chaix@univ-amu.fr](mailto:jean-francois.chaix@univ-amu.fr), [vincent.garnier@univ-amu.fr](mailto:vincent.garnier@univ-amu.fr), [jean.mailhe@univ-amu.fr](mailto:jean.mailhe@univ-amu.fr)

<sup>1</sup> IUT, Aix-Marseille Université, département Génie Civil et Construction Durable

<sup>2</sup> IUT, Aix-Marseille Université, département Génie Mécanique et Productique

Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, UMR 7031

**Thèmes** – Environnement - Matériaux - Mécanique

**Résumé** – *La construction durable est un pilier de la démarche de transition écologique engagée ces dernières années. En effet, le secteur de la construction demeure un des plus gros pollueurs de la planète. Il faut donc construire proprement et durablement. La durabilité des ouvrages de génie civil (ponts, tunnels, immeubles, barrages, enceintes de centrales nucléaires, ...) repose sur une excellente gestion qui, elle, repose à son tour sur des diagnostics fiables sur l'état de santé des matériaux. Le béton, matériau incontournable de la construction, constitue l'essentiel des structures porteuses. Evaluer l'état et la performance du béton en place devient donc un enjeu de sécurité, financier, mais aussi environnemental. Les ultrasons permettent d'investiguer l'intérieur du matériau, à la manière des examens échographiques, sans avoir à effectuer quelconque sondage : c'est l'Evaluation Non Destructive (END). C'est une thématique de recherche qui a connu des avancées notables – aussi bien sur le plan théorique qu'expérimental et numérique - au Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique (CNRS UMR 7031, Marseille) avec une équipe d'enseignants-chercheurs du département Génie Mécanique et Productique (GMP). Les perspectives pour le futur sont d'autant plus prometteuses avec l'ouverture du nouveau département Génie Civil et Construction Durable (GCCD) qui complètera les compétences ouvrages et matériaux - avec un enseignant-chercheur rattaché au laboratoire. Les simulations numériques étant devenues indissociables des travaux de recherches en END ultrasonore, disposer d'un modèle numérique robuste de béton est un des objectifs à court terme de ce travail interdisciplinaire. Des liens vers les formations BUT GCCD et BUT GMP sont également envisagés : confection et mise en épreuve d'éprouvettes, instrumentation et analyse, ...*

**Mots-Clés** – béton, ultrasons, expérimental, numérique.

## 1 Introduction

Le béton étant à la base de la majorité des constructions existantes, la connaissance de son état de santé est vitale. L'Évaluation Non Destructive permet d'accéder à cette information sans porter atteinte à l'ouvrage. Les ondes ultrasonores, utilisées par exemple pour les échographies, présentent de forts potentiels pour ce type d'application.

Le présent article décrit dans un premier temps les défis scientifiques sur ce sujet, ainsi que les avancées réalisées au sein du Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique. Puis il présente dans un second temps les perspectives avec notamment l'ouverture du nouveau département Génie Civil et Construction Durable.

## 2 Le béton : un matériau 'banal' et 'complexe'

Le béton est un matériau composé d'un assemblage de granulats de différentes tailles (gravier et sable) liés et figés par une pâte de ciment, reformant une roche artificielle compacte. Une fois doté d'armatures en acier, il offre une infinité d'utilisations possibles dans la construction.

Au cours du temps, le béton constituant les ouvrages de génie civil peut être soumis à des dégradations d'origines physiques (surcharge, feu, ...) ou chimiques (attaques d'éléments extérieurs, diverses pathologies du béton, ...), pouvant mener à sa fissuration, voire à sa destruction complète. L'intérêt des contrôles non destructifs est alors de détecter le plus tôt possible ces dégradations.

L'utilisation des ultrasons a donné des résultats très prometteurs, qui ont déjà abouti à des appareils industriels à la manière des appareils échographiques. Cependant, ces équipements ne permettent pour l'instant que d'avoir quelques informations de base comme des épaisseurs ou encore une évaluation globale de la qualité du matériau à travers des mesures de vitesses de propagation des ondes. En effet, plus on augmente la fréquence, plus la longueur d'onde diminue, plus l'onde est « sensible » à l'échelle de la microstructure du béton, plus elle est donc capable de détecter des débuts de dégradations, MAIS plus elle sera atténuée et diffusée dans toutes les directions par la très forte hétérogénéité du béton à cette échelle (voir Figure 1), rendant l'exploitation des mesures très complexes.

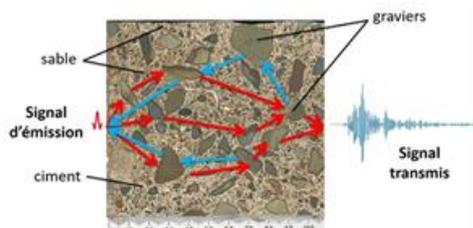


Figure 1 – Diffusion multiple des ultrasons par les hétérogénéités du béton

Les différentes recherches menées sur le matériau béton s'accordent à dire que les dégradations prennent naissance

principalement au niveau de l'interface granulats/pâte de ciment. Ainsi, si l'on souhaite affiner les capacités de détections, on est amené à travailler à ces échelles.

## 3 Les principales avancées au LMA

La thématique CND du béton a été initiée depuis plus d'une vingtaine d'années au sein de l'équipe de recherche et continue de se développer grâce en partie à la prise de conscience des gestionnaires d'ouvrages (ponts, barrages, centrales nucléaires, digues, ...) de l'importance d'un diagnostic fiable. Des avancées ont été réalisées aussi bien dans la compréhension théorique de l'interaction ultrason/béton, que dans la mise en place de dispositifs expérimentaux, mais aussi dans l'emploi des simulations numériques de propagation des ultrasons.

### 3.1 Compréhension théorique

L'interaction entre les ultrasons et un milieu hétérogène comme le béton est un phénomène complexe comme il a été montré ci-dessus. De cette interaction résulte un signal qui peut être décomposé en deux (voir Figure 2) :

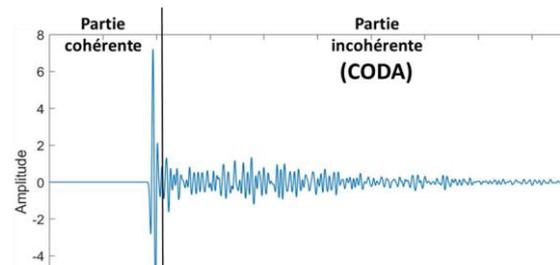


Figure 2 – Signal en sortie du béton

- Une partie cohérente : au début, correspondant à ce qui reste du signal envoyé et permettant d'obtenir des informations « homogénéisées » sur le trajet de l'onde.
- Une partie incohérente : très longue, correspondant à des ondes qui ont été multiples fois diffusées et qui ont donc eu le temps de « sonder » le volume du matériau.

Des travaux au laboratoire ont permis d'implémenter des modèles analytiques décrivant ces deux composantes [1].

### 3.2 Dispositifs et résultats expérimentaux

Pour la partie cohérente, des mesures de vitesses et d'atténuations des ondes ultrasonores ont été effectuées et ont montré des résultats très satisfaisants pour différentes applications : endommagement thermique [2], mécanique [3], pathologies du béton [4], ...

Pour la partie incohérente, des mesures de paramètres comme la diffusivité, la dissipation ou encore le temps d'arrivée du maximum d'énergie ont montré des résultats très satisfaisants dans différents cas : endommagement thermique [5], fissures [6], pathologies [7], ...

### 3.3 Dispositifs et résultats numériques

Les simulations numériques offrent l'avantage de pouvoir mener différentes expérimentations à moindre

coût. Les logiciels Prospero et Specfem, tous deux développés au LMA, ont permis de faire de réelles avancées dans la modélisation de la propagation d'ondes ultrasonores dans le béton. Des résultats encourageants ont pu être obtenus aussi bien pour la partie cohérente [8] que pour la partie incohérente [9]. Ceux-ci ont soulevé un besoin fondamental : celui de *simuler un béton le plus proche possible de la réalité mais de la façon la plus simple possible*. Il a été par exemple montré que la nature « imparfaite » du collage à l'interface granulats / pâte de ciment doit être considérée dans ces simulations [10] [11].

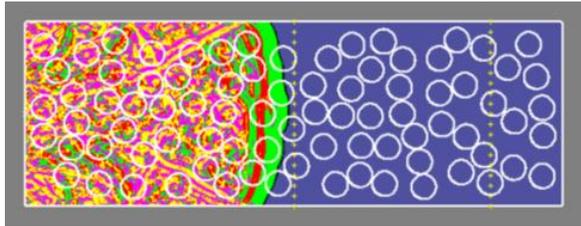


Figure 3 – Exemple de simulation numérique de propagation d'ultrason dans le béton (code Prospero)

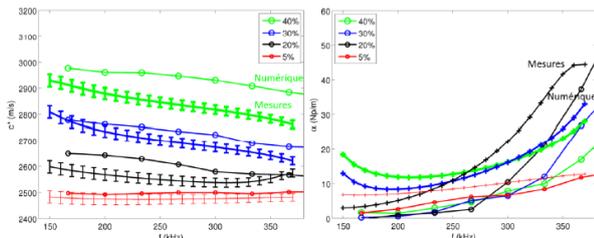


Figure 4 – Exemple de comparaison de paramètres de propagation : vitesse de phase et atténuation numériques et expérimentales dans un milieu hétérogène (code Specfem2D)

#### 4 Perspectives : mieux connaître le matériau → mieux le modéliser → mieux le contrôler

L'ouverture du nouveau département Génie Civil et Développement Durable au sein de l'IUT, avec un enseignant-chercheur rattaché à l'équipe de recherche, permet de définir des perspectives intéressantes. La présence d'un laboratoire béton (confection, mise à l'épreuve, caractérisations, ...) sera mise à profit pour récolter le maximum de données pour les simulations numériques. L'objectif étant de répondre au besoin d'avoir un « béton numérique » le plus abouti possible.

Avec le département Génie Mécanique et Productique, dont plusieurs enseignants-chercheurs sont rattachés à l'équipe de recherche, d'autres pistes de collaboration sont aussi à l'étude. Par exemple : la mise en place de plans d'expériences communs avec un cahier des charges précis du type de béton à étudier (nature, dégradations, ...), confectionné au GCCD et instrumenté au GMP. Des liens directs vers les deux formations BUT sont aussi envisageables à travers des SAÉs par exemple.

#### 5 Conclusions

L'évaluation de l'état de santé des bétons des ouvrages par ondes ultrasonores demeure un défi scientifique. Si beaucoup de travaux ont pu être menés au laboratoire, avec des résultats très satisfaisants, la détection précoce et précise des débuts d'endommagements et de pathologies reste à mettre en œuvre. L'outil numérique est un support idéal dans ces travaux de recherche, mais nécessite des modèles robustes de matériau. Le travail interdisciplinaire GCCD-GMP donne des perspectives intéressantes pour la thématique, mais aussi pour les formations.

#### Références

- [1] J.F. Chaix, V. Garnier, G. Corneloup, *Ultrasonic wave propagation in heterogeneous solid media: theoretical analysis and experimental validation*, Ultrasonics 44 (2006) 200-210
- [2] Jean-François Chaix, *Caractérisation non destructive de l'endommagement de bétons – Apport de la multidiffusion ultrasonore*, Thèse de l'Université de la Méditerranée, 2003
- [3] I. Lillamand, J.F. Chaix, M.A. Ploix, V. Garnier, *Acoustoelastic effect in concrete material under uni-axial compressive loading*, NDT&E International 43 (2010) 655–660
- [4] V. Garnier, B. Piwakowski, O. Abraham, G. Villain, C. Payan, J.F. Chaix, *Acoustical techniques for concrete evaluation: Improvements, comparisons and consistencies*, Construction and Building Materials 43 (2013) 598–613
- [5] J.F. Chaix, C. Payan, V. Garnier, A. Quiviger, *Diffusion des ondes ultrasonores appliquée à la caractérisation d'endommagement de béton*, Diagnobéton, Toulouse, France, 18-21 mars 2014
- [6] A. Quiviger, C. Payan, J.F. Chaix, V. Garnier and J. Salin, *Effect of the presence and size of a real macro-crack on diffuse ultrasound in concrete*, NDT&E International 45 (2012) 128–132
- [7] J.F. Chaix, S. Rakotonarivo, M. Ramaniraka, V. Garnier, *Caractérisation ultrasonore multi-éléments de bétons par analyse de la diffusion de l'énergie*, Les journées Cofrend 2017, Strasbourg, France, 30 mai-1 juin, 2017
- [8] Ting Yu, *Modélisation de la Propagation des Ondes Ultrasonores dans le Béton pour l'Amélioration du Diagnostic des Structures de Génie Civil*, Thèse Aix-Marseille Université, 2018
- [9] Manda Ramaniraka, *Exploitation de la diffusion multiple et considération de l'Interfacial Transition Zone pour la caractérisation ultrasonore du béton*, Thèse Aix-Marseille Université, 2019
- [10] M. Ramaniraka, S. Rakotonarivo, C. Payan, V. Garnier, *Effect of the interfacial transition zone on ultrasonic wave attenuation and velocity in concrete*, Cement and Concrete Research 124 (2019), 105809
- [11] M. Ramaniraka, S. Rakotonarivo, C. Payan, V. Garnier, *Effect of Interfacial Transition Zone on diffuse ultrasound in thermally damaged concrete*, Cement and Concrete Research 152 (2021), 10668

# Mesures in-situ en temps réel des grandeurs thermiques de parois biosourcées

Najib DOUK<sup>1</sup>, Camille MAGNIONT<sup>1</sup>, Séverine LATAPIE<sup>1</sup>, Aurélie LABOREL-PRENERON<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IUT de Tarbes, Université Toulouse III Paul Sabatier  
Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions

---

## Résumé :

Face aux enjeux environnementaux et sociétaux, le secteur du bâtiment connaît une transition écologique en plein essor. A cet effet, la recherche se penche sur des solutions innovantes pour limiter l'impact environnemental du secteur tels que les matériaux de construction biosourcés. Ces matériaux, de par leur base végétale allient légèreté, isolation thermique et propriétés de régulation hygrique. Pourtant, leur contribution au confort et à la performance énergétique des bâtiments est encore imparfaitement décrite et peine à être intégrée notamment aux modèles réglementaires. Dans ce contexte, l'objectif du présent travail, est de déterminer expérimentalement la performance énergétique des quatre parois d'un prototype à l'échelle 1, intégrant différentes techniques de construction biosourcées et de confronter ces résultats aux prédictions d'un modèle de transfert hygrothermique basé sur la méthode des éléments finis. La présente communication vise à présenter la méthodologie d'instrumentation en vue d'une caractérisation in-situ en temps réel des grandeurs thermiques des parois de la cellule conformément aux dispositions ISO-9688.

---

## Mots-Clés :

Mesures In-situ, Caractérisation Thermique, Parois Biosourcées, Modèle Thermique

---

Adresses mail des auteurs :

Najib DOUK : [najib.douk@iut-tarbes.fr](mailto:najib.douk@iut-tarbes.fr)

Camille MAGNIONT : [camille.magniont@iut-tarbes.fr](mailto:camille.magniont@iut-tarbes.fr)

Séverine LATAPIE : [severine.latapie@iut-tarbes.fr](mailto:severine.latapie@iut-tarbes.fr)

Aurélie LABOREL-PRENERON : [aurelie.laborel@iut-tarbes.fr](mailto:aurelie.laborel@iut-tarbes.fr)

## 1. Introduction

Face enjeux écologiques de plus en plus pressants [1], le secteur du bâtiment cherche à se doter de solutions innovantes permettant de limiter ses impacts environnementaux (consommations d'énergie, de matières premières non renouvelables, et émissions de gaz à effet de serre).

À cet effet, pour limiter son empreinte environnementale, le secteur de la construction explore les matériaux de construction biosourcés. Béton de Chanvre, Botte de Paille et Paroi Terre Paille sont des matériaux dont la base végétale alloue aux éléments construits plusieurs avantages en termes de propriétés d'usage hygrothermiques.

La formation des futurs acteurs de la construction aux propriétés et à la mise en œuvre de ces matériaux représente également un enjeu fort. Dans ce cadre, à l'occasion de la construction de ses nouveaux locaux, le département GCCD (Génie Civil Construction Durable) de l'IUT de Tarbes s'est doté d'une cellule pédagogique constituée de 4 murs biosourcés. Fig.1 Cette cellule doit servir de support pédagogique pour les ressources et SAé en lien avec l'évaluation de la performance thermo-hydrrique des parois multicouches et est instrumentée à cet effet.

Le présent article vise à présenter une étude préliminaire de l'équipe de recherche locale du LMDC valorisant ce prototype. Une méthodologie de caractérisation in-situ des grandeurs thermiques des parois de la cellule est proposée conformément aux dispositions de la norme ISO-9869 [3 et 4], en considérant les deux méthodes de caractérisation des grandeurs thermiques. Les résultats devront être confrontés aux caractéristiques thermiques mesurées en conditions de laboratoire et permettront de valider un modèle thermique basé sur la méthode des éléments finis.

## 2. Cellule et protocole expérimental

### 2.1 Cellule pédagogique

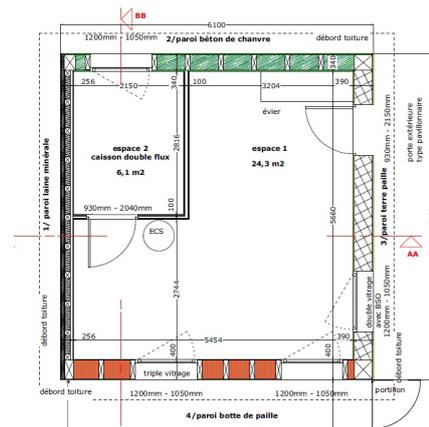


Fig. 1 : plan de la cellule pédagogique [2]

La cellule pédagogique est constituée de deux espaces intérieures d'une surface totale de 31 m<sup>2</sup> et un volume total d'environ 100 m<sup>3</sup>, la cellule dispose de 4 façades. La façade nord est constituée de béton de chanvre, la façade est en terre paille, la façade ouest en laine minérale et la façade sud en botte de paille. La cellule est également dotée de 4 fenêtres dont deux en double vitrage et les deux autres en triple vitrage.

20 capteurs (Honeywell HIH-4602-C) sont utilisés pour relever la température et l'humidité relative à l'interface entre chaque couche de matériau. Les capteurs de température (RDT) ont une précision de l'ordre du  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ . La mesure de l'humidité relative est établie avec des capteurs cylindriques de 8 mm de diamètre. Ceux-ci sont dotés de condensateur avec un polymère au milieu. Ces capteurs ont une précision de  $\pm 3.5\%$ .

4 capteurs de flux thermique à surface cuivrée (200x200mm) assurent la mesure des flux thermiques passant par les paroi.

### 2.2 Paramètres environnementaux (Station météo)

Une station météo installée sur les locaux du laboratoire est prévue pour faire le recueil des paramètres environnementaux. Cette station peut assurer la mesure de, la vitesse et la direction du vent (précision de  $\pm 0,5\text{m/s}$  et  $\pm 5^\circ$ ), température (précision de  $\pm 1^\circ\text{C}$ ), humidité relative (précision de  $\pm 4\%$ ), pression atmosphérique (précision de  $\pm 3\text{hPa}$ ), flux lumineux (précision de  $\pm 10\%$ ) et la mesure d'éclairement (précision de  $\pm 10\%$ ).

### 2.3 Cadre théorique

Il existe trois modes de transfert thermique. La conduction : Transfert ayant lieu dans un milieu continu. Ce mode de transfert suit la loi de Fourier (1).

$$\phi_{cond} = -\lambda \cdot gradT \quad (1)$$

- $\phi_{cond}$  : Flux thermique passant par conduction
- $\lambda$  : Conductivité thermique
- $T$  : Temperature

La convection : Transfert ayant lieu dans la discontinuité de deux milieux continus en contact (fluide/solide). Ce mode de transfert suit la loi exprimée dans l'équation (2).

$$\phi_{conv} = h (T_2 - T_1) \quad (2)$$

- $\phi_{conv}$  : Flux thermique passant par convection
- $h$  : Coefficient d'échange thermique
- $T$  : Températures

Le rayonnement : Transfert ayant lieu entre la source de chaleur et un corps physique. Ce transfert ne nécessite pas un fluide intermédiaire (air). Loi exprimée dans l'équation (3).

$$\phi_{ray} = \varepsilon \cdot \sigma (T_2^4 - T_1^4) \quad (3)$$

- $\phi_{ray}$  : Flux thermique passant par rayonnement
- $\varepsilon$  : Émissivité inférieure à 1 et sans unité
- $\sigma$  : Constante de Stefan Boltzmann ( $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ )

### 2.4 Cadre expérimental

#### a. Mesure rayonnement

La mesure du rayonnement est assurée par une station météo installée sur la halle technique (une vingtaine de mètre de la cellule pédagogique).

## b. Mesure des températures et flux thermiques

Pour pouvoir quantifier la transmittance thermique (4), d'une paroi, la norme ISO-9869 [3 et 4] prévoit des dispositifs de mesures de flux thermique HFM (Heat Flow Meter) de part et d'autre de chaque paroi Fig.2. Chaque HFM est équipé d'une surface de mesure de flux thermique passant par la surface et de la température de la surface en question.

$$U = \frac{\lambda}{e} = \frac{\phi_{cond}}{T_{int} - T_{ext}} \quad (4)$$

- $U$  : transmittance thermique
- $e$  : épaisseur du corps
- $\lambda$  : conductivité thermique

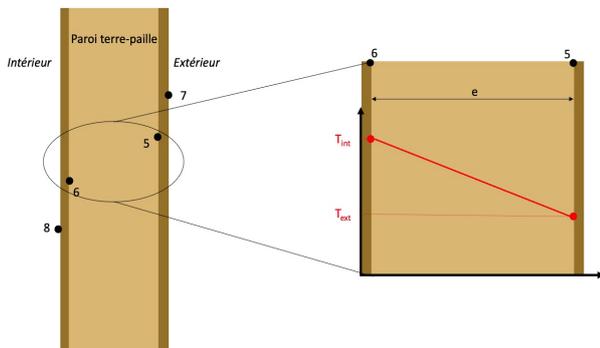


Fig. 2 : schéma de l'implantation des capteurs HR et Température

Le protocole expérimental consiste à maintenir la température intérieure de la cellule constante. Ensuite, Pour mesurer la valeur  $U$  ou la résistance thermique de la paroi, des capteurs de température environnementale doivent être utilisés (conditions de mesure ISO-9869-2 pages 7-8-9). Ces capteurs mesurent la température injectée dans l'expression de  $U$  (équation 4).

Ils sont choisis et installés sur les deux côtés de l'élément à mesurer (annexe A ISO-9688-1).

La durée de l'essai peut être considérablement réduite si les températures des deux côtés de l'élément, sont stables avant et pendant l'essai. Si cette condition n'est pas remplie, l'acquisition des résultats doit perdurer pendant 72 heures consécutives.

## 2.5 Recueil et interprétation des résultats

Les résultats sont recueillis en temps réel et envoyés à une centrale d'acquisition. Ces centrales enregistrent le flux thermique, la température et d'humidité relative au niveau des points de mesure Fig.2 à intervalles réguliers.

### a. Méthode de calcul directe (intemporelle)

La mesure de la transmittance thermique par cette méthode se fait par application directe de l'équation (4). Il convient d'ajouter que la fiabilité des mesures in-situ sont tributaires de la stabilité des condition environnementales.

En effet, la norme ISO-9869 [3 et 4] préconise une mesure de la transmittance toutes les demis heures pour 72 heures, la validité de cette mesure reste tributaire de la moyenne et les écarts entre chaque mesure.

### b. Méthode de calcul dynamique (temporelle)

La méthode dynamique est une méthode de mesure assez sophistiquée car elle intègre la dimension temporelle dans l'équation de Fourier. Ainsi, le flux thermique de l'équation de Fourier est défini par rapport au différentiel de température et aussi de la vitesse de l'évolution de la température aux surfaces intérieures et extérieures.

$$q_i = \lambda(T_{Ti} - T_{Ei}) + K_1 \dot{T}_{Ti} - K_2 \dot{T}_{Ei} + \sum_n P_n \sum_{j=i-p}^{i-1} T_{Ti}(1 - \beta_n) \beta_n(i - j) + \sum_n Q_n \sum_{j=i-p}^{i-1} T_{Ei}(1 - \beta_n) \beta_n(i - j)$$

Avec

$$\dot{T}_{Ti} = \frac{T_{Ti} - T_{Ti-1}}{\Delta t}$$

$$\dot{T}_{Ei} = \frac{T_{Ei} - T_{Ei-1}}{\Delta t}$$

$$\Delta t = t_{i+1} - t_i$$

$$\beta_n = e \frac{\Delta t}{\tau_n}$$

Au-delà des termes liés à la température dans l'équation susmentionnée, Il y a les termes liés aux variables  $P_n$  et  $Q_n$ . Ceux-ci ont pour utilité de conférer à l'équation de nouvelles dimensions liées au différentes températures enregistrées dans les pas de temps antérieurs, ainsi, l'effet de l'histoire thermique de la paroi est prise en compte lors de la caractérisation. Les termes  $\tau_n$ , et  $\Delta t$  représentent respectivement le pas de temps de calcul (fixé par la norme [3 et 4]) le pas de temps de la mesure expérimentale.

## 3 Perspectives

À l'issue de l'étude expérimentale, et de caractérisation des propriétés thermiques des matériaux et parois biosourcées, les résultats seront confrontés aux prévisions d'un modèle thermique du logiciel éléments finis MARC Mentat de MSC Software.

L'objectif de cette démarche est de recréer les conditions de transfert thermique observées expérimentalement pour consolider les résultats expérimentaux.

## 4 Bibliographie

- [1] F. Buyle-Bodin, O. Blanpain, « Analyse du cycle de vie des ouvrages en béton. », EUDIL, LML, Université des Sciences et Technologies de Lille, 2002.
- [2] Documents Techniques d'Emploi 11 Cellule extérieure – Département GCCD - IUT Tarbes
- [3] ISO 9869-1: 2014/Aout 2014 « Isolation thermique - Éléments de construction - Mesurage in situ de la résistance thermique et du coefficient de transmission thermique - Partie 1 : méthode du fluxmètre»
- [4] ISO 9869-2: 2018/Aout 2018 « Isolation thermique - Éléments de construction - Mesurage in situ de la résistance thermique et du coefficient de transmission thermique »

---

## Propriétés mécaniques et biodégradabilité des films minces à base de Zn pour applications aux implants biodégradables

---

Cristiano Poltronieri<sup>1,2</sup>Fatiha Challali<sup>2</sup>Florent Tétard<sup>1,2</sup>Valérie Bockelée<sup>2</sup>Frederic Chaubet<sup>3</sup>Philippe Djemia<sup>1,2</sup>

cristiano.poltronieri@lspm.cnrs.fr fatiha.challali@lspm.cnrs.fr florent.tetard@univ-paris13.fr  
valerie.bockelee@lspm.cnrs.fr frederic.chaubet@univ-paris13.fr djemia@univ-paris13.fr

<sup>1</sup> IUT de Saint Denis, Université Sorbonne Paris Nord,  
Département Science et Génie des Matériaux

<sup>2</sup> Institut Galilée, Université Sorbonne Paris Nord  
Laboratoire des Sciences des Procédés des Matériaux, CNRS 3407

<sup>3</sup> Institut Galilée, Université Sorbonne Paris Nord  
Laboratory for Vascular Transitional Science, Inserm U1148

**Thèmes** – Santé - Matériaux - Mécanique

**Résumé** – Les couches de verre métallique des systèmes binaires  $Zn_xZr_{1-x}$  et  $Zn_xMg_{1-x}$  ont été déposées à température ambiante sur silicium par co-pulvérisation magnétron à partir de cibles métalliques pures. La capacité de formation d'un verre (GFA) a été évaluée et les compositions des phases amorphes ont été identifiées à partir des diagrammes de diffraction des rayons X (DRX) qui montrent un pic principal de diffraction large, typique des matériaux amorphes, pour les compositions entre 30 et 92 % at. Zn pour  $ZnZr$  et 46-69 % at. Zn pour  $ZnMg$ . La distance interatomique moyenne diminue continuellement avec l'addition de Zn pour les deux systèmes, comme prévu théoriquement. Le module d'Young et la dureté des verres métalliques en couches minces de  $ZnZr$  (TFMG) d'environ 300-600 nm d'épaisseur ont été mesurés par nanoindentation dans un mode de continu en rigidité. Pour  $ZnZr$ , un grand adoucissement du module de Young 150-100 GPa (-30%) est observé pour la transition de phase cristalline vers amorphe, suivi d'un raidissement par augmentation de la concentration en Zn de manière similaire à  $ZnMg$ . C'est en accord avec la réduction de la distance interatomique moyenne et des liaisons. L'évolution de la biocorrosion des films minces a été évaluée par imagerie au MEB après un test d'immersion dans une solution biologique simulée (SBF) à 37 °C pendant différentes périodes allant jusqu'à 8 semaines.

**Mots-Clés** – Verres métalliques, Couche mince, Stents biodégradables, Propriétés mécaniques

## Introduction

Les biomatériaux traditionnels concernent principalement les métaux en raison de leurs propriétés mécaniques supérieures par rapport aux polymères ou aux céramiques. Les plus utilisés pour les applications biomédicales sont les alliages d'aciers, les alliages de titane, le cobalt-chrome et d'autres matériaux non biorésorbables [1]. Le problème d'avoir un dispositif en matériau non biorésorbable consiste à le garder dans le corps du patient toute sa vie (ou une deuxième opération est nécessaire pour le retirer et cela peut entraîner des complications). Le dispositif permanent peut également provoquer des réactions d'inflammation à corps étrangers [2]. La recherche de métaux biodégradables présentant des vitesses de corrosion uniformes et contrôlées ainsi que des propriétés mécaniques comparables aux métaux traditionnels reste un défi ouvert. Les alliages cristallins à base de Zn représentent des candidats prometteurs en raison de leur biodégradabilité, de leur biocompatibilité et de leur résistance aux sollicitations mécaniques [3]. Cependant, la recherche d'un meilleur contrôle de la biocorrosion et d'une plus grande solidité, impliquent le développement de matériaux à base de Zn amorphe (massifs et films minces) qui n'ont pas de défauts cristallins et qui induisent une amélioration de la biocorrosion, des propriétés mécaniques et aussi de leurs biocompatibilités.

## Matériels et méthodes

Les alliages binaires en couches minces  $Zn_xZr_{1-x}$  et  $Zn_xMg_{1-x}$  ont été déposés à température ambiante sur un substrat de silicium par co-pulvérisation magnétron RF à partir de cibles métalliques pures de Zn, Zr et Mg. La distance centre cible-substrat a été fixée à 12 cm, la pression dépôt est fixée à 0,5 Pa pour un débit d'argon de 40 s.c.c.m. et la rotation du substrat de 10 trs/min. L'épaisseur des échantillons a été mesurée par profilométrie mécanique et analyse de sections transverses par microscopie électronique à balayage (MEB). Les propriétés structurales et chimiques ont été étudiées par diffraction des rayons X (DRX) dans une géométrie  $\omega$ - $2\theta$  en utilisant un diffractomètre Equinox 5000 (INEL) équipé d'une source de cobalt ( $\lambda_{Co} = 0,1789$  nm) et la spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX), respectivement. Le module d'Young et la dureté ont été évalués à partir d'essais de nanoindentation avec une mesure de rigidité en continu et un indenteur avec une pointe Berkovich en diamant, en considérant un coefficient de Poisson fixé à 0,35. La vitesse de déformation était de  $0,01$  s<sup>-1</sup> avec une fréquence d'oscillations de 45 Hz et une amplitude de 2 nm. Chaque résultat de tests a

été calculé comme une moyenne de 25 indentations à la profondeur de pénétration de 10 % de l'épaisseur du film en utilisant la méthode d'Oliver & Pharr [4]. Pour évaluer l'évolution de la corrosion des films de ZnZr et ZnMg dans un fluide biologique simulé (SBF), des échantillons avec une surface de  $0,25$  cm<sup>2</sup> ont été immergés dans 4 ml de SBF à 37°C pour différentes périodes d'immersion (1, 2, 4, 6 et 8 semaines). A la fin de chaque période, les échantillons ont été rincés avec de l'eau désionisée et ils ont été séchés dans une atmosphère à 60 °C avant l'analyse au MEB.

## Résultats

L'analyse chimique des alliages déposés montre une large gamme de compositions chimiques, des pourcentages atomiques du Zinc allant de 3 à 92% et de 16 à 81 % ont été obtenus pour les alliages ZnZr et ZnMg respectivement. Les analyses DRX (Figure 1) montrent une large gamme d'amorphisation entre 30-92% pour ZnZr et de 46-69% de Zn pour ZnMg (non reporté ici). Dans cette zone amorphe, le pic de diffraction typique d'un alliage amorphe se décale vers des angles plus élevés en augmentant la concentration en Zn. Ceci se traduit par une diminution des distances interatomiques moyennes dues à la formation de liaisons Zn-Mg, Zn-Zr et Zn-Zn.

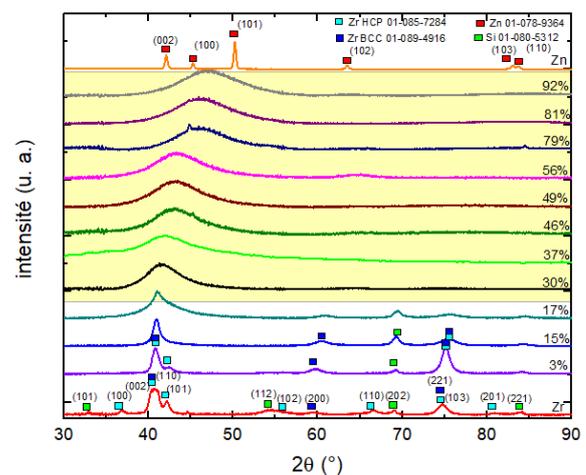


Figure 1 – Diagramme DRX de couches minces de ZnZr avec différentes teneurs en Zn

La Figure 2 présente le module de Young et la dureté des alliages ZnZr (Figure.2a) et ZnMg (Figure.2b). Ainsi, nous observons une augmentation du module de Young dans la phase amorphe avec l'addition de Zn dans les deux cas. Les mesures de dureté montrent une tendance en forme de cloche. Ceci a déjà été observé dans d'autres systèmes de verre métallique tels que ZrCu [5, 6]. Cette tendance est liée à l'ordre chimique local qui change avec la concentration en

Zn. L'entropie liée à l'ordre chimique provenant de la différence des rayons atomiques [7] montre la même tendance polynomiale que d'autres quantités physiques telles que la dureté [5, 6].

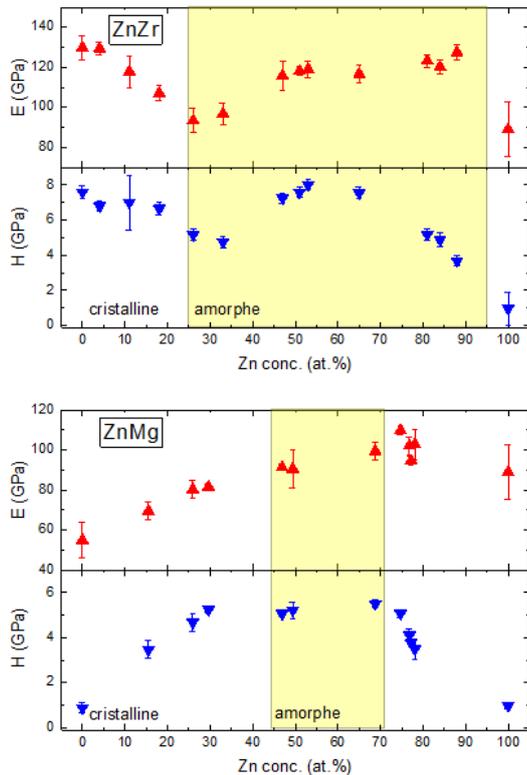


Figure 2 – Module d'Young (E) et dureté (H) d'alliages ZnZr (a) et ZnMg (b) mesurés par nanoindentation

Les tests de corrosion par immersion montrent que les films de ZnMg se délaminent après 1 semaine et sont toujours présents sur le support après 8 semaines comme le montre la figure 3.a pour l'échantillon à 65% de Zn. Dans le cas des alliages ZnZr, les échantillons montrent une surface lisse jusqu'à 4 semaines. Des craquelures apparaissent sur les échantillons riches en Zn à partir de la semaine 6 (Figure 3.a). Ce résultat confirme ceux observés dans notre étude préliminaire de N. Annonay et al. [8]. Dans cette étude, nous avons également réalisé des analyses de cytotoxicité sur des alliages de ZnZr qui démontrent que la meilleure biocompatibilité des films est obtenue pour l'échantillon riche en zinc (~90%).

### Conclusions

Des films minces de ZnZr et ZnMg ont été déposés par co-pulvérisation magnétron. Leurs propriétés mécaniques et leurs résistances à la corrosion ont été évaluées. Le module d'Young des alliages ZnZr varie de 90 à 130 GPa tandis que pour le ZnMg, il varie de

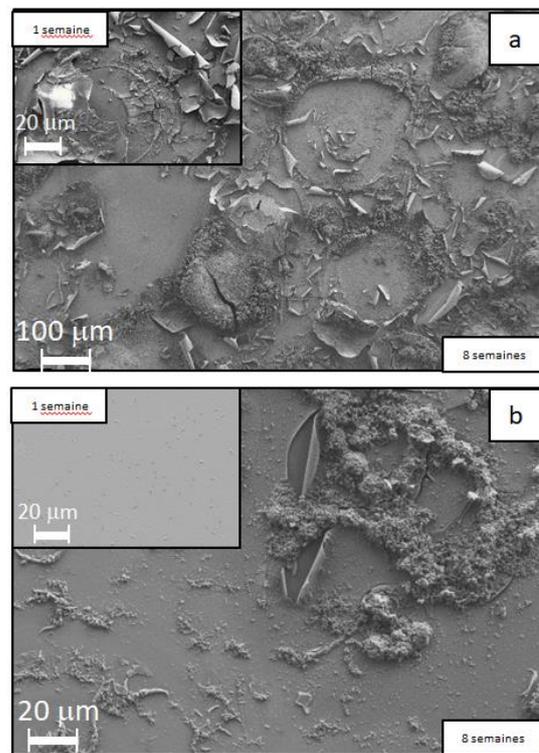


Figure 3 – Images MEB de la surface des films (a)  $Zn_{65}Mg_{35}$  et (b)  $Zn_{84}Zr_{16}$  après une et après 8 semaines de test d'immersion dans du SBF à 37°C

80 à 100 GPa. Ces larges gammes de rigidité rendent ce type de matériau plus adapté aux différentes applications en ajustant la composition chimique de l'alliage. Les résultats du test d'immersion montrent une corrosion surfacique non uniforme des films ZnMg rendant ainsi le système ZnZr plus adapté aux applications *in vivo* (un contrôle plus élevé du taux de corrosion). Afin de rechercher une accordabilité plus large des propriétés, nous envisageons d'étudier les systèmes ternaires Zn-Zr-Mg.

Dans l'ensemble, nos résultats ouvrent la voie à l'élaboration de nouveaux films minces amorphes avec des impacts potentiels pour les applications biomédicales.

### Références

- [1] Z. Zhang et al. *Bioactive Materials*, (2021).
- [2] N. Bink et al., *International J. of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, (2021).
- [3] E Mostaed et al., *Acta Biomaterialia*, (2018).
- [4] W.C. Oliver et al., *J. Mater. Res.* (2004).
- [5] M. Apreutesei et al., *Thin Solid Films*, (2014).
- [6] B. Braeckman, *Gent University, Sputter Deposition of Complex Alloy Thin Films* (2016).
- [7] A. Takeuchi et al., *Materials Transactions* (2000).
- [8] N. Annonay et al., *Bioact Mater.* (2018).

# Réflexion non-spéculaire d'un faisceau : études théoriques et simulations numériques

---

Rémi Pollès<sup>1</sup> Jules Mercadier<sup>2</sup> Antoine Moreau<sup>2</sup>

remi.polles@uca.fr

<sup>1</sup> IUT, Université Clermont Auvergne  
Institut Pascal, CNRS, F-63000 Clermont-Ferrand, France

<sup>2</sup> Université Clermont Auvergne  
Institut Pascal, CNRS, F-63000 Clermont-Ferrand, France

**THÈMES** – *Physique - Optique - Matériaux*

**RÉSUMÉ** – *Cet article présente un sujet de recherche en optique, les effets non spéculaires subits par un faisceau lumineux à sa réflexion : décalage et élargissement. À travers des exemples illustrés de simulations numériques, différentes situations sont décrites : faisceau décalé, élargi et rétréci. Les limites des méthodes d'étude classique ainsi que des potentielles applications pratiques sont évoquées.*

**MOTS-CLÉS** – *Décalage de faisceau, élargissement de faisceau, effet Goos-Hänchen, plasmon de surface.*

## 1 Introduction

Un faisceau qui se réfléchit sur une structure multicouche pourtant parfaitement plane subit parfois une déformation. Ce comportement est dit *non spéculaire* par opposition à la réflexion spéculaire se produisant sur une simple interface en condition de réflexion totale ou encore sur une interface métallique. Les études de ces réflexions non spéculaires ont été abordées dès le XIX<sup>e</sup> siècle d'un point de vue théorique, les premiers résultats expérimentaux ont été produits au milieu du XX<sup>e</sup> siècle par Goos et HÄNCHEN [1]. Avec l'arrivée des métamatériaux, des cristaux photoniques et de performances expérimentales accrues, l'intérêt pour ce sujet a repris dans les années 2000 [2].

En s'intéressant à deux quantités pratiques et utiles pour décrire la modification d'un faisceau à la réflexion : son décalage et son élargissement, nous présentons ici des exemples de phénomènes non spéculaires illustrant les diverses situations que l'on peut rencontrer. Notre travail consiste en l'élaboration d'outils numériques pour la simulation (voir figures) et de développements analytiques indispensables pour produire des analyses physiques approfondies de tels phénomènes.

## 2 Effet Goos-Hänchen : faisceau décalé

Quand un faisceau se propageant dans un milieu transparent rencontre une interface avec un autre milieu transparent, si l'angle d'incidence est suffisamment grand, toute la lumière est réfléchi : c'est le phénomène de réflexion totale (Fig. 1). Toutefois, l'onde lumineuse pénètre un peu dans le second milieu ce qui a pour effet que le faisceau semble se réfléchir sur une surface située *sous* la véritable interface. Cette pénétration est à l'origine d'un décalage entre les faisceaux incident et réfléchi, c'est l'*effet Goos-Hänchen*. La profondeur de pénétration tout comme le décalage sont de l'ordre de la longueur d'onde, soit quelques centaines de nanomètre pour la lumière visible.

Lorsque la largeur du faisceau tend vers l'infini, le décalage  $\delta_\infty$  est décrit par la formule d'Artmann [5] :

$$\delta_\infty = -\phi' = -\frac{1}{n k_0 \cos \theta_0} \frac{d\phi}{d\theta}. \quad (1)$$

où  $\phi$  est la phase du coefficient de réflexion,  $\theta_0$  l'angle d'incidence,  $n$  l'indice de réfraction du milieu incident et  $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}$  avec  $\lambda_0$  la longueur d'onde dans le vide. En pratique, l'hypothèse de validité de cette formule correspond au cas où le faisceau est suffisamment large pour que  $\phi$  puisse être considéré comme linéaire sur son étendue spectrale. Ce résultat, très utilisé car simple, présente toutefois des limites car des phénomènes intéressants se produisent en dehors des hypothèses de validité de la formule. L'étude du décalage nécessite alors des outils théoriques et numériques adaptés [6].

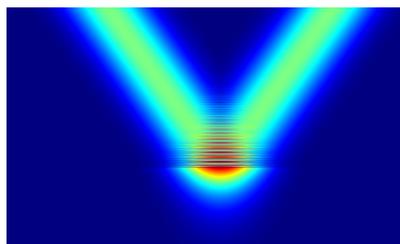


FIGURE 1 – Illustration de l'effet Goos-Hänchen. Un faisceau subit une réflexion totale à l'interface. Dans le milieu inférieur, une onde est tout de même présente, il s'agit d'une onde évanescente. Le faisceau semble alors être réfléchi en-dessous de la surface réelle. L'échelle verticale n'est pas la même dans les deux milieux, sur le milieu inférieur est agrandi 12 fois.

## 3 Modes guidés : faisceau élargi

Lorsqu'un faisceau incident dans un prisme possède un angle d'incidence et une longueur d'onde particuliers permettant l'excitation d'un mode guidé par couplage évanescent, la lumière qui entre dans la structure s'y propage tout en ressortant vers le haut (Fig. 2 (a)). Non seulement décalé, le faisceau se trouve alors élargi. La Fig. 3 montre la décroissance exponentielle plus rapide dans le cas du guide seul que dans celui des guides couplés.

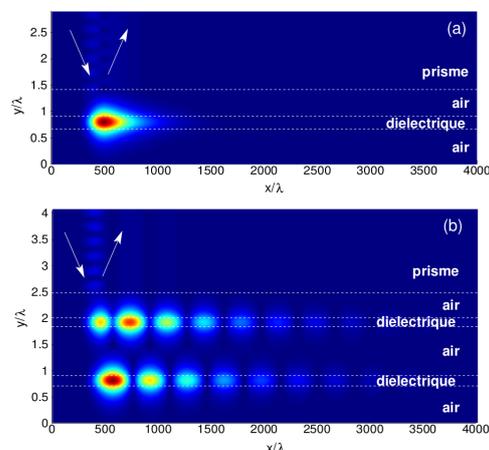


FIGURE 2 – Un faisceau incident (largeur :  $100 \lambda$ , incidence :  $36,9^\circ$ ) se propageant dans un prisme excite (a) un mode guidé d'un guide diélectrique, et (b) de deux guides identiques suffisamment proches pour être couplés.

De manière analogue à la formule d'Artmann, la formule générale suivante donne l'élargissement du faisceau dans la limite des faisceaux infiniment larges :

$$\Delta_\infty = \frac{\rho'^2 - \rho\rho''}{2\rho^2}, \quad (2)$$

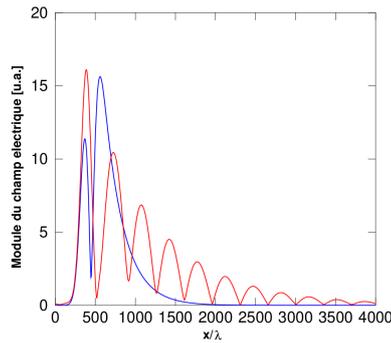


FIGURE 3 – Profil du faisceau réfléchi dans le cas du guide seul (bleu) et des deux guides couplés de la figure 2 (rouge)

où  $\rho$  est le module du coefficient de réflexion.

Comme pour la formule d'Artmann, nous avons étudié en détails les conditions de validité de cette formule et trouvé des situations où elle est insuffisante. Dans le cas de la Fig. 2, la formule est même trompeuse car elle ne prédit aucun élargissement (car parce que ici  $\rho = 1$ )

#### 4 Le faisceau peut aussi être rétréci !

Dans certaines situations particulières d'excitation de résonances, le faisceau réfléchi est plus étroit, à cause d'interférences destructives entre le faisceau réfléchi par la première interface et la résonance dans la structure. Pour illustrer ce phénomène et montrer son potentiel nous avons considéré le montage classique et réaliste de Kretschman dans lequel un plasmon de surface est excité à la surface d'un film d'or d'épaisseur 55 nm déposé sous un prisme de verre par un faisceau dont l'angle d'incidence est très finement ajusté (Fig. 4).

Nous avons montré que ce phénomène de rétrécissement du faisceau peut être mis à profit pour repousser la limite de détection des résonances de plasmon de surface car il se produit sur un intervalle angulaire plus petit que celui où le coefficient de réflexion varie. Nous développons des expressions analytiques de la largeur du faisceau ainsi qu'une analyse physique approfondie expliquant sa variation sur une si petite plage angulaire [4].

#### 5 Conclusions

Les progrès dans la précision et la sensibilité des dispositifs expérimentaux donnent un intérêt particulier à l'étude des effets non spéculaires. Le profil d'un faisceau réfléchi contient beaucoup d'information sur les phénomènes se déroulant dans la structure, il en constitue une véritable signature. L'interprétation physique, l'utilisation d'outils numériques et analytiques sont essentiels pour étudier ces phénomènes parfois contre-intuitifs. Les enjeux sont multiples : du contrôle des valeurs de ces décalages et élargissements

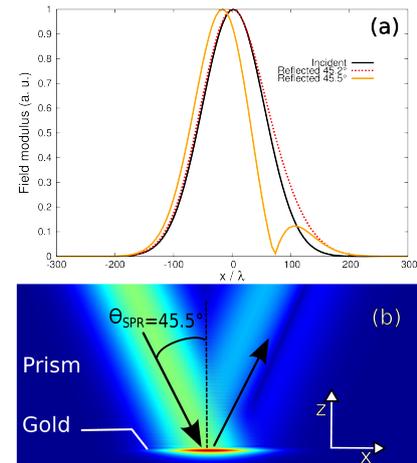


FIGURE 4 – (a) Profils normalisés des faisceaux incidents (noir) et réfléchis pour deux angles d'incidence :  $45,5^\circ$  (jaune) et  $45,2^\circ$  (pointillés rouges). (b) Simulation de l'excitation d'un plasmon de surface par un faisceau lumineux sous un angle d'incidence de  $45,5^\circ$  dans un prisme recouvert d'une couche d'or de 55 nm.

à leur exploitation dans les domaines des capteurs ultrasensibles ou de la photonique.

#### Références

- [1] Fritz Goos and H Hänchen. Ein neuer und fundamentaler versuch zur totalreflexion. *Annalen der Physik*, 436(7-8) :333–346, 1947.
- [2] Konstantin Y Bliokh and Andrea Aiello. Goos-hänchen and imbert-fedorov beam shifts : an overview. *Journal of Optics*, 15(1) :014001, 2013.
- [3] Josselin Defrance, Caroline Lemaître, Rabih Ajib, Jessica Benedicto, Emilien Mallet, Rémi Pollès, Jean-Pierre Plumey, Martine Mihailovic, Emmanuel Centeno, Cristian Ciraci, David Smith, and Antoine Moreau. Moosh : A numerical swiss army knife for the optics of multilayers in octave/matlab. *Journal of Open Research Software*, 4(1), 2016.
- [4] Rémi Pollès, Martine Mihailovic, Emmanuel Centeno, and Antoine Moreau. Leveraging beam deformation to improve the detection of resonances. *Physical Review A*, 94(6) :063808, 2016.
- [5] Kurt Artmann. Berechnung der seitenversetzung des totalreflektierten strahles. *Annalen der Physik*, 437(1-2) :87–102, 1948.
- [6] Fabien Krayzel, Rémi Pollès, Antoine Moreau, Martine Mihailovic, and Gérard Granet. Simulation and analysis of exotic non-specular phenomena. *Journal of the European Optical Society*, 5, 2010.

---

## Etude du comportement vibratoire d'une fraiseuse mobile automatisée dans un contexte d'usinage sur site

---

James Rowe<sup>1,2\*</sup>, Christopher Langrand<sup>2</sup>, Pascal Deprez<sup>1</sup>, Etienne Debarre<sup>1</sup>,  
Nicolas Delahaye<sup>1</sup>, Roger Debuchy<sup>1\*\*</sup>

\*j.rowe@taqcuet-industries.fr

\*\*roger.debuchy@univ-artois.fr

<sup>1</sup> IUT de Béthune, Université d'Artois  
ULR 4515, Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement (LGCgE), Béthune, F-62400, France

<sup>2</sup> Tacquet Industries  
Société spécialisée dans l'usinage sur site.

**Thèmes** – Robotique - Mécanique

**Résumé** – *L'usinage sur site implique le déplacement d'une machine-outil mobile directement sur le lieu d'usinage de la pièce. Ces opérations concernent principalement des pièces lourdes qui ne peuvent pas être désassemblées et/ou acheminées à une machine-outil conventionnelle. Un des problèmes majeurs lors d'usinages sur site est l'apparition de vibrations, provoquant un état de surface de faible qualité. Ces vibrations sont principalement dues à la fragilité du montage, qui est une conséquence de la conception des machines-outils mobiles et de leur emplacement durant l'usinage. De plus, les usinages sur site sont habituellement unitaires, il est alors impossible de réaliser d'essais d'usinage en amont. C'est une des différences principales avec la production de pièces en usinage conventionnel. Dans ce contexte, peu d'études ont été réalisées sur la prédiction de l'apparition des vibrations en cours d'usinage sur site. Cet article présente un prototype de fraiseuse mobile conçu pour la détection et la suppression de vibrations dans un contexte d'usinage sur site. La première partie de ce travail est dédiée à la description du banc d'essais et de son automatisation en vue de l'amélioration de ses performances du point de vue vibratoire. La deuxième partie présente les premiers résultats concernant le comportement dynamique de la machine.*

**Mots-Clés** – Usinage sur site, Dynamique

## 1 Introduction

De nombreux secteurs industriels tels que la production d'énergie (nucléaire, turbines...), le ferroviaire, la construction navale, l'aéronautique, utilisent des pièces larges avec des tolérances dimensionnelles serrées. Ces pièces, qui sont sujettes avec le temps à des déformations et de l'usure, doivent être périodiquement réusinées. Ces opérations sont souvent délicates à maîtriser en raison de difficultés spécifiques [1], [2]. Deux méthodes sont généralement envisagées pour réaliser ces opérations d'usinage. La première consiste à déplacer la pièce sur une machine-outil conventionnelle adaptée à ses grandes dimensions. Toutefois, cette solution est inenvisageable dans certains cas comme la rectification de manteaux de roues dans les turbines de centrales. La seconde consiste à utiliser des machines mobiles sur le site, ce qui constitue le cadre de notre étude. Les machines mobiles doivent pouvoir être acheminées directement sur le site de l'usinage, ce qui implique une conception minimaliste qui va généralement de pair avec une diminution de poids et une augmentation de la flexibilité par rapport aux machines conventionnelles. De plus, comme elles ne possèdent pas de support propre, leur mise en place nécessite de les fixer rigidement à des structures environnant la zone d'usinage ou, à défaut, de concevoir une structure provisoire. Un des problèmes majeurs fréquemment reporté par les opérateurs sur site est l'apparition de vibrations importantes qui ont des effets néfastes sur la qualité des états de surface, et qui augmentent sur l'usure des outils de coupe et de la machine [3]. Pour tenter d'atténuer ces vibrations, les opérateurs peuvent être amenés à choisir des paramètres de coupe moins performants, ce qui a pour conséquence d'augmenter les durées d'opération.

D'une manière générale, peu de travaux de recherche ont été consacrés à l'usinage sur site et à l'apparition de phénomènes vibratoires sur des machines mobiles. Legoff et al. ont réalisé une étude sur la faisabilité d'usinages avec une fraiseuse mobile en comparaison avec un robot poly-articulé [2]. Ils ont réalisé une modélisation de la tolérance atteignable par le biais des deux machines. Law et al. ont réalisé un modèle de prédiction de la dynamique du système machine mobile/support de machine en utilisant la méthode du « substructure decoupling » [4], [5], ce qui constitue un apport d'informations intéressant notamment dans le cadre de l'usinage de pièces unitaires.

Cet article présente, dans une première partie, les modifications apportées à un prototype de fraiseuse mobile automatisée dans le but d'améliorer son comportement du point de vue vibratoire. La deuxième partie présente les premiers résultats concernant l'étude du comportement dynamique de la machine.

## 2 Automatisation de la fraiseuse mobile

Le banc d'essais développé dans le cadre de cette étude est une fraiseuse mobile de laboratoire dont les caractéristiques correspondent aux machines d'usinage couramment utilisées par l'entreprise Tacquet Industries [6] lors d'opérations sur sites.

### 2.1 Conception initiale

La fraiseuse dispose de trois glissières à queue d'aronde qui permettent à la tête d'usinage d'avoir un mouvement de translation dans les trois directions de l'espace. Les amplitudes de déplacement suivant les directions X, Y et Z sont respectivement de 1250, 300 et 1500 mm. Le réglage de la tête d'usinage est effectué au centième de millimètre à l'aide d'un tracker laser Faro. Les rails de guidage dans les directions Y et Z sont manœuvrés manuellement et la position est contrôlée par un indicateur de position Ganter. Sur l'axe X, un moteur démontable ALGS-AL310S permet de faire avancer la tête à vitesse constante, la position étant rapportée par le même système de mesure. Les tables de direction sont entraînées par des vis sans fin et une noix non précontrainte. Par conséquent, il existe un jeu sur chaque table de direction. Pour compenser les effets néfastes du jeu, les tables de direction disposent d'un lardon maintenu en position contre le rail en queue d'aronde qui peut être resserré grâce à une vis à pression. Ce lardon permet d'augmenter la friction entre la table et le rail et ainsi diminuer les déplacements causés par l'effort de coupe. La rotation de la broche est assurée par différents moteurs hydrauliques Danfoss, équipés d'une pompe déportée dont la fonction est de transmettre les efforts à la broche. La circulation d'eau dans les tuyaux du système hydraulique génère des vibrations néfastes. De plus, dans cette configuration de base, il est difficile de maîtriser avec précisions les paramètres de coupe.

### 2.2 Automatisation

Pour pallier ces problèmes, cette étude présente l'automatisation de la fraiseuse existante. Les trois axes de direction ont été motorisés avec des moteurs brushless BST80-IMOIO2430-Z de puissance 750 W et de vitesse nominale 3000 tr.min<sup>-1</sup>. Le moteur de broche a été remplacé par un moteur brushless BSM90N-3150AF de puissance 2.8kW et de vitesse nominale 2000 tr.min<sup>-1</sup>. La commande ainsi que l'électronique de puissance des moteurs est assurée par un Geo Brick Turbo PMAC 2 avec une alimentation motrice 230 V et 8 A en courant nominal. Ces moteurs comportent tous des codeurs incrémentaux TTL et effet Hall. Grâce au contrôleur, il est possible de réaliser l'acquisition en temps réel de nombreux paramètres relatifs aux moteurs, notamment le courant de consommation et la mesure des codeurs TTL.

### 3 Comportement dynamique

Compte tenu des modifications apportées à la machine de fraisage mobile, nous nous intéressons plus particulièrement dans ce travail à l'étude de son comportement dynamique. L'identification des modes de vibration de la fraiseuse est une première approche pour diagnostiquer le type de vibrations qui pourra survenir dans un contexte d'usinage sur site. En effet, lors d'usinages, si la fréquence principale de vibration de la fraiseuse correspond à un des modes propres et non à la fréquence de rotation de la broche, alors ces vibrations sont auto-entretenues et non forcées [3].

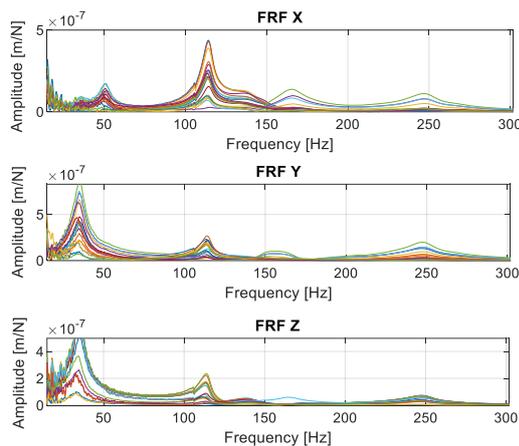


Figure 1 – FRF aux points sollicités sur la structure

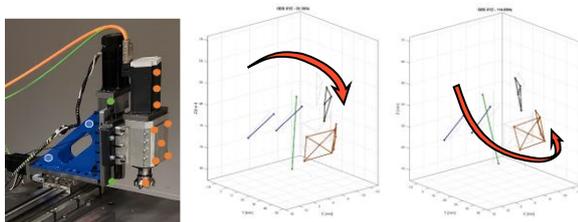


Figure 2 – Placement des points de mesure et formes modales à 35 Hz et 114 Hz

Pour déterminer le comportement vibratoire, une analyse modale expérimentale a été réalisée en plaçant un accéléromètre Bruel & Kjaer 4535 B en différents points de la structure et en impactant la tête de fraisage avec un marteau dynamométrique Dyntran Instruments 5850B. L'acquisition des mesures a été réalisée au moyen d'un système Compact DAQ de National Instruments et les données ont été traitées à l'aide d'un code sous MATLAB destiné à calculer les Fonctions de Réponse Fréquentielles (FRF) en chaque point et à afficher les formes modales.

Comme l'illustrent les figures 1 et 2, les modes de vibration principaux de la structure correspondent à un basculement d'avant en arrière à 35 Hz et un basculement

d'avant en arrière combiné à une rotation à 114 Hz. Il est également possible de voir dans la figure 1 que, à des fréquences plus élevées dans les FRF, il y a des modes importants mais qui cependant ne concernent pas tous les points. En effet, ces modes, à 165 Hz et 247 Hz correspondent à des vibrations des moteurs brushless, dont il faudra tenir compte dans le développement de notre stratégie d'évitement de vibrations lors d'usinages.

### 4 Conclusions

En conclusion, cette étude est consacrée à l'apparition des phénomènes vibratoires sur une fraiseuse mobile.

Une machine, classiquement utilisée par l'entreprise Tacquet Industries, a été automatisée afin d'améliorer ses performances du point de vue de la maîtrise des vibrations générées par les composants des moteurs hydrauliques et des paramètres opérationnels.

L'ensemble des déplacements en translation suivant les trois axes ainsi que la rotation de la broche sont assurés par des moteurs brushless. Un automate permet de gérer les déplacements et l'acquisition en temps réel de données relatives aux moteurs.

Les premiers résultats présentés dans ce travail portent sur l'analyse des modes de résonance de la machine ainsi modifiée. Ils doivent servir de base à une étude complète sur la détection et la suppression de vibrations dans un contexte d'usinage sur site.

### Références

- [1] L. Uriarte et al., 'Machine tools for large parts', CIRP Ann., vol. 62, no. 2, pp. 731–750, 2013, doi: 10.1016/j.cirp.2013.05.009.
- [2] O. Legoff, M. Ritou, C. Maurin, S. Bonnet, and B. Furet, 'Étude de moyens d'usinage mobiles pour pièces de grandes dimensions', p. 7, 2019.
- [3] G. Quintana and J. Ciurana, 'Chatter in machining processes: A review', Int. J. Mach. Tools Manuf., vol. 51, no. 5, pp. 363–376, May 2011, doi: 10.1016/j.ijmachtools.2011.01.001.
- [4] M. Law, 'Predicting mobile machine tool dynamics by experimental dynamic substructuring', Int. J. Mach. Tools Manuf., p. 8, 2016.
- [5] M. Law, 'Application of Substructure Decoupling Techniques to Predict Mobile Machine Tool Dynamics: Numerical Investigations', Procedia CIRP, p. 4, 2016.
- [6] 'Tacquet Industries'. Disponible en ligne : <https://www.tacquet-industries.fr/>
- [7] S. Smith and J. Tlustý, 'Stabilizing Chatter by Automatic Spindle Speed Regulation', CIRP Ann., vol. 41, no. 1, pp. 433–436, 1992, doi: 10.1016/S0007-8506(07)61238-4.

---

## Contribution des étudiants d'IUT à trente ans de recherche sur le patrimoine

---

Jacques Poisat

jacques.poisat@univ-st-etienne.fr

IUT Roanne, Université Jean Monnet, Saint Etienne  
Environnement, Ville, Société, UMR 5600

**Thèmes** – *Economie, SHS, communication*

**Résumé** – *Depuis mon arrivée à l'IUT de Roanne, en 1991, j'ai pris la responsabilité de l'organisation des projets tuteurés du département GEA et me suis attaché notamment à associer les étudiants à certains travaux de recherche-action. La présente communication insiste plus particulièrement sur les études patrimoniales, qui se sont développées à l'échelle nationale et internationale pour les patrimoines de la santé et au niveau roannais pour la création d'un réseau de musées. Les étudiants de l'IUT ont joué un rôle déterminant dans les deux cas.*

**Mots-Clés** – *Etudiants, patrimoines, projets tuteurés, santé*

Durant ma carrière universitaire, mes activités de recherche se sont développées autour de deux grands axes : le développement territorial et l'économie sociale et solidaire, d'une part ; l'économie du patrimoine et des musées, d'autre part. Depuis mon arrivée à l'IUT de Roanne, en 1991, j'ai pris la responsabilité de l'organisation des projets tuteurés du département GEA et me suis attaché notamment à associer les étudiants à certains travaux de recherche-action. J'insisterai plus particulièrement ici sur les études patrimoniales, qui se sont développées à l'échelle nationale et internationale pour les patrimoines de la santé et au niveau roannais pour la création d'un réseau de musées. Les étudiants de l'IUT ont joué un rôle déterminant dans les deux cas.

### **1. Recherche-action sur la patrimonialisation de la santé**

Depuis ma formation de directeur d'hôpital, en 1988-89, je me suis engagé dans la recherche-action sur la gestion des patrimoines artistique, historique, scientifique et ethnologique des hôpitaux et plus largement de la santé, en partenariat avec la Société française d'histoire des hôpitaux, des musées de la santé (musées hospitaliers, médicaux et d'histoire de la médecine) dans l'espace francophone (Suisse, Belgique, Québec) et maints professionnels de la santé, de la culture et du tourisme. Les questionnements, récurrents depuis un siècle, s'articulent autour de la conservation/valorisation des collections, des moyens mobilisés, des réseaux, de la médiation et des publics mais aussi, plus fondamentalement, de l'utilité et des fonctions sociales de ces patrimoines<sup>i</sup>.

Dès 1997, j'ai constitué, au sein d'un laboratoire de l'Université Jean Monnet de Saint-Etienne, un réseau de recherche- *le Groupe de recherche interdisciplinaire sur le patrimoine hospitalier*- largement ouvert à tous les acteurs intéressés (chercheurs, professionnels de la santé, du patrimoine et de la culture, associations...), qui a permis tant de faire circuler l'information sur les actions en cours que de faire progresser la réflexion collective sur les aspects conceptuels de la patrimonialisation de la santé. Les études réalisées et les rencontres organisées ont permis d'instituer les patrimoines de la santé en objet de recherche, sous l'angle notamment du « patrimoine-ressource », et de créer un espace d'échange sur la gestion de la mémoire hospitalière.

S'appuyant sur trente ans de recherches théoriques et empiriques ainsi que sur trois colloques internationaux, trois ateliers dans des congrès, en France, Belgique et au Québec, et 23 journées d'études thématiques organisées dans le cadre du Groupe de recherche interdisciplinaire

sur le patrimoine hospitalier ou de la Société française d'histoire des hôpitaux, mes travaux ont porté surtout sur les usages sociaux et la gestion des patrimoines de la santé. La question du futur de la patrimonialisation et de son influence sur les sociétés est au cœur des interrogations actuelles sur les patrimoines liés à la santé, dont l'avenir paraît pourtant incertain. Les enquêtes quantitatives et/ou qualitatives que nous avons conduites auprès des hôpitaux et des musées hospitaliers et médicaux français et étrangers, en 1989, 1997, 1999, 2003, 2004, 2006, 2008, 2009, 2010, 2015 et 2019 ont montré qu'aujourd'hui le patrimoine hospitalier n'est plus considéré et géré seulement comme collections d'objets mais tend à être utilisé par les acteurs sociaux comme une « ressource », scientifique, identitaire, communicationnelle, managériale mais aussi citoyenne. Après avoir rencontré un certain engouement dans les années 1990, la sauvegarde du patrimoine hospitalier connaît maintes vicissitudes depuis le début du XXIème siècle. Pourtant une étude de l'OCIM, conduite en 2019 auprès de 110 établissements, a montré une fois de plus la grande richesse des collections liées à la santé, le dynamisme des actions de valorisation, l'importance des partenariats ainsi que la diversité des publics<sup>ii</sup>.

Au fil des années, des étudiants du département GEA de l'IUT de Roanne ont été associés, dans le cadre de projets tuteurés, tant à l'organisation des rencontres thématiques qu'à la conduite des études par questionnaires auprès des hôpitaux et des musées. Cette participation leur a permis de s'initier à la méthodologie de la recherche, de développer des compétences dans la construction des questionnaires, la maîtrise des logiciels d'analyse des résultats et la rédaction d'un rapport d'étude. De même, leur aide me fit gagner un temps précieux, d'autant que depuis mon recrutement à l'IUT j'ai toujours eu une charge d'enseignement lourde et de nombreuses responsabilités pédagogiques et administratives.

Au niveau du développement local, les étudiants ont aidé à la création de plusieurs associations.

### **2. Création du Réseau musées et patrimoines en Roannais**

Dans le cadre de projets tuteurés, les étudiants du département GEA de l'IUT de Roanne ont joué un rôle essentiel dans la création et les activités de l'association « Réseau musées et patrimoines en Roannais », de 2013 à 2022.

Tout a commencé en 2010, dans le cadre d'un projet « Université citoyenne et solidaire » porté par l'Université Jean Monnet de Saint-Etienne et financé par la Région

Rhône-Alpes. En résumé, il s'est agi entre 2010 et 2013 d'amorcer la préfiguration d'une « **plateforme d'émergence citoyenne d'activités dans le Roannais** », en partenariat avec le Conseil local de développement du « Pays Roannais », des collectivités locales, de musées et de nombreuses associations. L'ensemble du projet Université citoyenne et solidaire s'est appuyé sur la mobilisation d'enseignants-chercheurs et d'enseignants de l'IUT de Roanne, mais aussi de **330 étudiants** issus de plusieurs filières (masters, IUT, IFSI). Au total, le projet a donné lieu à la production d'un film-vidéo et de 37 documents (mémoires de master, rapports de stage ou de projets tuteurés, communications dans 8 colloques internationaux, poster). J'ai coordonné l'ensemble du projet, en liaison avec les partenaires, et encadré la plupart des travaux étudiants, en particulier 11 projets tuteurés d'étudiants en DUT (GEA, TC) et 4 stages de master professionnel de 5 mois :

Outre l'élargissement des compétences et du capital social des étudiants et des enseignants-chercheurs, grâce à leur implication directe dans le développement local et aux contacts avec de nombreux acteurs institutionnels et associatifs, le projet a débouché sur des réalisations concrètes : accompagnement d'initiatives locales de lutte contre la dépendance des personnes âgées ; participation au développement de l'association POLLENS (Pôle local pour une économie nouvelle sociale et solidaire), constituée en février 2012, à l'initiative de la Communauté d'Agglomération du Grand Roanne et d'une cinquantaine de structures d'économie sociale et solidaire ; et enfin création et animation d'un réseau de musées en Roannais (5 établissements en 2013, 15 en 2022)

Chaque année, de 2013 à 2022, des groupes de projet tuteuré de l'IUT de Roanne ont contribué aux différentes activités de ce Réseau de musées, qui ne fonctionne qu'avec des bénévoles. A titre d'exemples :

- construction et mise en ligne du site web du réseau (<https://www.musees-en-roannais.org/>)
- création de documents de communication (flyers, marque-page, affiches, vidéos...)
- sondages auprès des musées sur leurs souhaits de mutualisation/coopération et les projets à destination du public étudiant
- étude des publics pour le Musée Déchelette de Roanne en 2013
- communication et logistique d'expositions temporaires chaque année de 2014 à 2019
- construction d'une exposition virtuelle présentant 14 musées du réseau, en 2021

- communication et logistique du colloque international et interdisciplinaire *Patrimoines et territoires*, organisé par deux chercheurs, à l'IUT de Roanne, du 7 au 9 novembre 2019
- communication et logistique de 3 journées d'études en 2018, 2021 et 2022.

Pour conclure, mon expérience d'enseignant-chercheur en IUT montre clairement que les étudiants en DUT peuvent jouer un rôle essentiel dans des travaux de recherche, à condition d'être correctement dirigés et de se voir confier des missions précises. Outre l'aide précieuse qu'une telle collaboration peut apporter à des enseignants-chercheurs souvent débordés par les activités pédagogiques et administratives, l'initiation à la recherche permet aux étudiants d'acquérir des compétences méthodologiques (voire scientifiques) qui les aideront dans leurs futures études et leur vie professionnelle. La réforme du BUT et la création des SAE devraient permettre, à l'avenir, de généraliser/intensifier l'initiation à la recherche.

## 1

<sup>i</sup> POISAT J., «A quoi servent les patrimoines de la santé ? », *Third Biannual Conference of the Association of Critical Heritage Studies: "What does heritage change?"*, Montréal, 3-8 juin 2016.

<sup>ii</sup> POISAT J (direction), *L'avenir des musées hospitaliers*, Paris, Société Française d'Histoire des Hôpitaux, Fédération Hospitalière de France, Fédération Internationale des Hôpitaux, 2021, 42 p.

## La Terre en danger

### *L'écologie et le développement durable s'invitent en littérature jeunesse*

---

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** – *En ce début du 21ème siècle, l'écologie connaît une résonance planétaire. Parallèlement aux discours scientifique et politique, elle s'insère dans différents domaines de la société, des sciences « dures » jusqu'au champ des lettres. Sur le plan de l'écriture, elle est exemplaire de la mondialisation des thèmes littéraires car la protection de l'environnement et le développement durable ne connaissent ni frontières géographiques, ni frontières linguistiques. L'« écocritique » cherche à analyser des spécificités culturelles du discours écologique dans un cadre comparatiste international et, dans ce contexte théorique, la production fictionnelle pour la jeunesse (« l'écolije ») offre un extraordinaire laboratoire au comparatisme littéraire et « intralittéraire ». L'« écocritique comparée » qui ne se contente pas d'analyser la réception d'œuvres anglo-saxonnes est actuellement l'un des grands enjeux de la recherche littéraire dans les universités à travers le monde et tout particulièrement en Europe.*

**Mots-Clés** – *Littérature jeunesse, écologie, apocalypse*

## 1 Introduction

La littérature jeunesse est devenue le témoin de préoccupations sociétales : réchauffement climatique, pollution de l'air, couche d'ozone, disparition de la biodiversité, écologie et développement durable s'y invitent et dopent les ventes de romans et d'albums. Si le thème de la nature et un certain nombre de motifs dont la pollution, la peur du manque d'eau, les arbres malades ou les animaux victimes de l'homme étaient présents dans la littérature jeunesse bien avant l'émergence, à partir des années 1970, de l'écologie au sens strict et politique, l'écologie est devenue, depuis 2000, un discours clé dans ces œuvres. Les fictions se font écho de ces grands problèmes de notre temps et sont attribuées à un nouveau genre littéraire, « l'écoliège », guidé par un projet éducatif : elles cherchent à sensibiliser les jeunes générations aux menaces qui pèsent sur la planète. Le livre permet d'aiguiser la sensibilité du lectorat aux défis écologiques d'aujourd'hui et de demain. L'approche littéraire de la thématique écologique favorise une conscience écologique juvénile et le développement de l'imagination de ces futurs adultes qui auront à proposer des réponses innovantes à des questions environnementales de plus en plus décisives et impérieuses. Cette « éco-littérature », tout en la prolongeant, transforme la tradition de la littérature jeunesse qui consiste à moraliser et à « adultérer » le jeune lecteur. Le présent travail examine la thématique de l'écologie et du développement durable dans la littérature jeunesse par le biais d'« éco-thèmes » et d'« éco-motifs » en relation avec les préoccupations environnementales contemporaines. L'analyse du discours et ses modalités constitue l'approche méthodologique d'œuvres qui s'adressent au jeune lecteur, cet « écocitoyen » en devenir.

## 2 Un champ nouveau de recherche littéraire interdisciplinaire

L'« écocritique », une nouvelle discipline dans le champ des études culturelles, a émergé d'abord aux États-Unis et dans les pays anglo-saxons, ensuite en Europe. Elle étudie les rapports entre la littérature et l'écologie, la connexion entre la culture humaine et la nature physique, ses représentations linguistiques et vise l'instauration d'un « tournant vert » au sein des Humanités pour, à l'instar des approches orientées par la distinction du genre ou par les contextes sociologiques de production et de réception des textes, garantir la pertinence de la notion de « nature ». Cette écocritique programmatique refuse toute projection anthropocentrique sur le monde car la nature ne peut pas être l'otage « d'un sens qu'on voudrait lui donner » [1]. Cette nouvelle discipline propose des outils de lecture, dont la reconnaissance de l'interconnexion de toute chose dans un écosystème et le dépassement des

dualismes nature/culture, environnement naturel/être humain, science/littérature. En se penchant sur « les liens entre conscience environnementale et esthétique littéraire », elle rapproche aussi imagination créative et action politique, s'intéresse à l'écologie dans la littérature et revendique une visée écologique de l'écriture même, car « l'écriture permet la modélisation de l'interaction humaine avec l'environnement » [2]. La littérature garantirait donc une prise de conscience de l'être-au-monde et créerait une *eco-poiesis* réunissant nature, texte et lecteurs. Publiés respectivement en 1957 et en 1967, *Tistou les pouces verts* [3] et *L'Arbre de Noël* [4] demeurent des classiques en France. En Allemagne sont publiées, dès les années 1960, des traductions d'œuvres anglophones décrivant la nature comme un écosystème à protéger. Mais ce n'est qu'à partir de 1970 que l'écologie devient un thème phare de la littérature jeunesse.

## 3 Le pouvoir des multinationales

Dans la « pluralité des éco-genres » ne sont donc abordées que des fictions car il ne s'agit pas, ici, de dresser un panorama éditorial, même particulièrement riche, sur le sujet, mais de déterminer quels aspects sont considérés dans ces récits et quel type de discours ils développent. Les fictions déploient une vision de l'impact de l'activité humaine sur l'environnement et leur message condamne moralement les pollueurs, les défricheurs et les multinationales qui utilisent les ressources de la planète sans se soucier de l'épuiser. Dans *Rhizome* [5], les plantes et l'eau sont exploités sans limite, exploitation menant à l'apocalypse. La nature menacée par l'exploitation destructrice humaine est présente dans tous les romans du corpus. En 2057, dans *Nachtläufer* [6], les défrichements ont entraîné une fonte massive des pôles. Les écosystèmes se sont effondrés et la biodiversité appartient au passé. Le Complexe du Delta, une sorte de mégapole, constitue l'espace de vie des protagonistes. Une production centralisée leur fournit, par le biais d'un rationnement strict de quelques denrées génétiquement modifiées, une alimentation peu naturelle. L'une des principales problématiques qui traverse cette œuvre est le contraste entre le monde naturel et le monde artificiel, entre un présent sans nature et un passé vert et sain. Les personnages aspirent à retrouver un monde qu'ils ne connaissent que par les vieux films et les tableaux de maître. Cet espoir d'un monde meilleur se dessine également dans *Welt aus Staub* [7] où sont élaborés des plans pour une serre dans laquelle seraient cultivées une variété de plantes résistantes aux maladies et aux parasites afin de recréer une biodiversité botanique. À côté des personnages qui s'engagent pour une revitalisation de l'environnement, nostalgiques d'un passé dans un environnement intact, les puissantes multinationales cherchent à engranger de plus en plus de profits. En

raison de leur influence considérable dans des domaines comme la production de biens de consommation ou la production d'énergie, elles sont présentées par les auteurs comme des adversaires dans la lutte pour l'environnement. Ainsi, la société Food Corp., de par sa position de monopole sur l'approvisionnement de base de la population, domine le Complexe du Delta. Elle détermine la politique par la corruption et la vie quotidienne des habitants par le contrôle, la surveillance, la réglementation, la destruction de l'environnement et l'organisation hiérarchique des citoyens. Il y aurait un danger pour ces multinationales à ce que la nature se rétablisse, car leur position de monopole dans la production de denrées alimentaires et leur pouvoir seraient menacés. L'antagonisme entre ceux qui exploitent la nature jusqu'à la détruire et ceux qui la protègent mène à la mise à mort symbolique des destructeurs et à la victoire des protecteurs [8].

#### 4 Prise(s) de conscience

La littérature jeunesse contemporaine thématise les dangers de l'énergie nucléaire et le monde post-catastrophique. De nombreux avertissements n'ont pu empêcher la catastrophe [9] et l'industrie s'est efforcée « avec zèle de minimiser les dangers de l'utilisation de l'énergie nucléaire » [10]. Les descriptions de la vie d'après, ainsi que les lésions causées par irradiation, constituent un avertissement pour les lecteurs [11]. Alors que dans *Noch lange danach*, les dangers de l'énergie nucléaire sont problématisés à l'aide d'un exemple dystopique, dans *Wake Up* [12], l'accent est mis, d'une part, sur les écoterroristes qui cherchent à obliger les gouvernements à fermer les centrales nucléaires en Europe et, d'autre part, sur l'écocratie et l'écodictature. Les différents dangers liés à la fracturation hydraulique, procédé controversé d'extraction du gaz naturel, et ses conséquences catastrophiques pour l'environnement et l'être humain sont au cœur du roman *Brennendes Wasser* [13]. Alors qu'à la fin de cette fiction les événements et les recherches conduisent à une prise de conscience et à un rejet de la fracturation chez les jeunes, les compagnies gazières, elles, ne se laissent guère détourner de leurs objectifs.

#### Conclusion

Dans la littérature jeunesse contemporaine, la problématique environnementale est abordée à travers des thèmes et motifs récurrents qui la rendent tangible aux yeux du jeune lecteur. Le succès des fictions semble garanti auprès des éditeurs, des libraires et des lecteurs par cette association entre écologie et littérature jeunesse. Des prix littéraires, dont le « Friends of the Earth Book Earthworm Award », récompensent des ouvrages dans lesquels des thèmes écologiques très divers constituent un

élément narratif central, servent de toile de fond, de prétexte à l'intrigue (destruction de la Terre, matérialisée par la mise en scène de mondes futuristes catastrophistes ou de mondes actuels déjà soumis aux changements climatiques, l'apocalypse ou la survie), permettent d'aborder les changements climatiques causés par l'exploitation des ressources naturelles et surtout le consumérisme de la société moderne présenté comme source de l'apocalypse. Les discours écologiques, appuyés par un système de valeurs sous-jacent transversal à toutes les œuvres du corpus, orientent le jeune lecteur vers une prise de conscience écologique, une remise en cause de la société moderne consumériste et une réorientation vers un retour vers la terre et le respect de la nature. Il y a là une réelle volonté d'avertir de l'imminence d'une catastrophe globale si les humains n'envisagent pas de nouvelles relations à l'environnement et aux ressources naturelles de la planète. Le lecteur est invité à prendre conscience de cette crise environnementale et à s'engager pour la freiner. Même si les fictions illustrent des terres détruites par une consommation sans vergogne qui a fini par épuiser les ressources naturelles, l'accent y est néanmoins mis sur l'espoir d'une vie future et la possibilité d'envisager différemment la place de l'humain dans son environnement. Cet espoir oppose « l'écologie » aux dystopies de la littérature pour les adultes qui connaissent souvent une fin tragique.

#### Références

- [1] Alain Suberchicot, *Littérature et environnement. Pour une écocritique comparée*, Paris, Honoré, 2012, p. 178.
- [2] Nathalie Blanc, Denis Chartier & Thomas Pughe, « Littérature et écologie : vers une écopoétique », dans *Écologie et politique*, Presses de Science Po, no36, 2008/2, p. 20
- [3] Maurice Druon, *Tistou les pouces verts*, Paris, del Duca, 1957
- [4] Michel Bataille, *L'Arbre de Noël*, Paris, Julliard, 1967
- [5] Nadia Coste, *Rhizome*, Paris, Seuil Jeunesse, 2018.
- [6] Reinhold Ziegler, *Nachtläufer*, Wien, Ueberreuter, 2008
- [7] Stephan R. Bellem, *Welt aus Staub*, Wien, Ueberreuter, 2012
- [8] Vincent Villeminot, *Nous sommes l'étincelle*, Paris, Pocket Jeunesse, 2019
- [9] Wolfram Hänel, *Störfall in Reaktor*, München, cbt 2012
- [10] Gudrun Pausewang, *Noch lange danach*, Ravensburg, Ravensburger Verlag, 2012, p. 236
- [11] Gudrun Pausewang, *Die Wolke*, Ravensburg, Ravensburger Verlag, 2001
- [12] Manfred Theisen, *Wake up*, Köln, Boje, 2012
- [13] Lukas Erler, *Brennendes Wasser*, Würzburg, Arena 2014

---

## La force créatrice de l'inspiration destructrice

---

Rodolphe Dalle

Rodolphe.Dalle@univ-nantes.fr

IUT de Nantes, Nantes Université

**Thèmes** – *Lettres - Communication*

**Résumé** – *Julien Gracq portait la littérature à l'estomac, Kevin Lambert tape plus bas et plus fort. Querelle est d'après son sous-titre une fiction syndicale qui met en scène une grève dans une usine des bords du lac Saint qui tourne en affrontement brutal, explosion de violence meurtrière entre grévistes, forestiers casseurs de grève et patrons. Sur ce fond de société tranquille bouleversée par cet événement, se joue la nuit les rencontres de garçons dont Querelle, bel ouvrier, constitue le point d'attraction. À l'image d'un ange pasolinien, son passage crée l'événement où tout se coagule : conflit social et mise en cause de la société hétérosexuelle et patriarcale. Refuser une littérature de l'endormissement et du divertissement revient à utiliser la violence non pas seulement comme le thème de la narration mais encore comme le modèle même de la production du texte. La destruction, symbolisée tout aussi bien par la mort du personnage éponyme et que par les vies brisées des autres personnages principaux, dont Jézabel, façonne non seulement l'écriture de Kevin Lambert mais en est encore le moteur dans une forme paradoxale d'inspiration. C'est là l'innovation même de ce texte étrange et brutal qui met en tension la notion de destruction créatrice avec celle de la mimesis classique sur fond de fiction sociale qui représente le travail et la grève.*

**Mots-Clés** – *Littérature contemporaine, inspiration, industrie, poétique, contestation sociale.*

## 1 Introduction

La théorie de Schumpeter consiste à considérer l'innovation comme un processus à la fois ambivalent et paradoxal selon lequel la disparition d'une activité économique est concomitante avec l'émergence d'une nouvelle. La destruction créatrice est un concept qui n'a pas véritablement fait école dans les études littéraires dont le modèle de référence reste celui de l'imitation aristotélicienne.

*Querelle de Roberval* du québécois Kevin Lambert constitue peut-être une intéressante forme de fiction-modèle qui illustre une force créatrice de la destruction. Le processus destructif à l'œuvre chez Kevin Lambert n'est pas le même que celui d'un Marcel Schwob par exemple<sup>1</sup> ; au texte coupé, morcelé de Schwob répond ici le fil continu de l'écriture romanesque, et au travail de sape l'activité destructrice directe.

*Querelle*, ce titre évoque directement un texte de Jean Genet dont les mémoires retiennent d'abord l'imaginaire portuaire qu'il est souvent difficile à faire coïncider avec la réalité de la ville d'aujourd'hui. Sans doute, la ville de Genet n'a-t-elle rien à voir avec celle de la reconstruction qui l'a tout autant remodelé que les images de Fassbinder l'ont rendu parfaitement abstraite, preuve en est cette lumière orangée qui tropicalise le décor. Le parcours que je propose pour lire *Querelle* porte sur deux aspects : d'une part la relation de l'écriture du roman au fantasme, ce décalage qui attache la création à l'ancienne *mimesis*, d'autre part, cette pratique sacrificielle de la destruction comme meilleure forme de la création.

## 2 L'explosion fantasmatique

Le livre de Kevin Lambert est bien entendu une évocation incontestable de Jean Genet. Au-delà de la référence, c'est un imaginaire qui s'en dégage directement, entre marins, port, virilité homosexuelle et rapport de domination. Cette frontière tremblée entre sexualité, marginalité et milieux interlopes est relayée d'abord par le film de Fassbinder mais aussi par toute une tradition littéraire et va finalement jusqu'aux images commerciales du parfum de Jean-Paul Gaultier, « Le Mâle », dont le nom est à ce titre le meilleur marqueur.

### 2.1 Les fantasmes de l'imitation

La tradition ouverte par Jean Genet avec *Querelle* n'est pas reprise par Kevin Lambert sous la forme d'un motif. A l'inverse du travail du couturier qui réinterprète le

<sup>1</sup> Dalle, Rodolphe, « Récit, fragment et nihilisme dans "Le livre de Monelle" de Marcel Schwob ». *L'Écriture fragmentaire, Actes du Ier Congrès International du Groupe de Recherches sur les Écritures Subversives*, Barcelone, 21-23 juin 2001, Textes réunis par Ricard Ripoll, collection « Études », Presses Universitaires de Perpignan, 2002. Littératures, 2005, vol. 53, no 1, p. 59-69.

motif du marin, Kevin Lambert ne reprend aucune forme liée à cet univers. C'est la puissance sexuelle qui constitue le modèle du roman transposé depuis Genet, telle qu'elle apparaît aussi dans l'affiche d'Andy Warhol où la langue est autant phallus que lame de couteau.

Pourtant le texte ne fait pas fi de la *mimesis* classique : le choix d'introduire une table des matières bâtie sur le schéma même de la tragédie grecque en est un indice : prologue, *parodos*, *stasimon*, *kommos exodos* et épilogue. L'imitation de la structure de la tragédie a pour fonction d'opérer une distance entre le texte et le lecteur qui indique la dimension cathartique de l'écriture. La violence tragique est le prix à payer pour accéder au réel dans sa pleine et entière vérité. Entre les parties apparaissent des titres de chapitres comme autant d'expressions issues du monde du travail. C'est finalement dans la force de l'imagination, dans ce qu'elle a de plus décalée par rapport au sujet traité, la grève, que s'exprime la réalité puissante du rapport de classe qui semble aujourd'hui gommé de la réflexion tout aussi bien politique que sociale. Cette imagination vraie tout aussi paradoxale dans sa formulation que ne l'est l'irruption de la sexualité dans ce récit de grève est aussi ce qui produit la force créatrice qui renouvelle les formes tant de la tragédie que du roman social.

### 2.2 La subversion fantasmatique

C'est sans doute le rôle de la subversion fantasmatique du récit que de rendre opérationnel le dispositif de l'imagination vraie. Hervé Guibert évoque au détour d'une phrase du *Mausolée*<sup>2</sup>, *La croisade des enfants* de Marcel Schwob. C'est par Guibert que passe le chemin qui relie Schwob à Lambert. La croisade des enfants est un épisode médiéval bien connu dont Albert de Stade, Albéric de Trois-Fontaines et Jacques de Voragine ont fait la chronique plus d'une décennie après les événements. En 1212, une croisade d'enfants venus d'Allemagne et de France s'engage vers la Terre sainte et périt en mer avant de toucher les côtes. C'est cet épisode que Schwob médiéviste accompli a repris. Il ne s'agit pas seulement de faire de l'enfance une forme un peu attendue de la pureté bien plutôt, Schwob décrit à travers ce récit polyphonique qui entrecroise les points de vue, un espace de la sensualité comme réponse à ces personnages sans voix, sans trace dans l'histoire. Le toucher du lépreux comme la caresse de Nicolas sur les épaules d'Alain ou de Denis, le risque permanent de la mort associé au corps supplicié du récit du Kalandar ou Allys tenant les mains du petit Eustace aveugle sont autant de points d'accroche à l'imaginaire de Guibert que l'on retrouve sous une autre forme et avec une autre logique dans *Vous m'avez fait former des fantômes*. Si Guibert fait des corps des enfants,

<sup>2</sup> Page 295.

toujours piteux, des instruments à vocation sadique ou des objets de domination c'est aussi ce que l'on retrouve assez nettement dans *Querelle* à travers la figure des trois garçons, dont la scène de viol post mortem de Querelle n'est pas sans évoquer la scène de flagellation où Pirate jouit du corps sacrifié de l'enfant.

### 3 L'écriture bachique

Qualifié de *fiction syndicale* par le sous-titre, le texte de Kevin Lambert s'inscrit dans la tradition de la représentation du travail. De fait, le réalisme des descriptions correspond assez bien à ces romans du travail<sup>3</sup> qui cherchent à rendre compte de la réalité sociale mais, comme on l'a vu préalablement, l'irruption du fantasme accorde un tout autre statut au récit.

#### 3.1 La laborieuse torture de la vie

Dans *Tu aimeras ce que tu as tué*, le premier texte publié de Kevin Lambert, la question de la destruction est centrale. Nihilisme d'autant plus complet que les sacrifiés sont d'abord des enfants, c'est-à-dire ce qui par principe soustrait le vif à la mort par effet de continuité des générations. Il s'agit là de couper le fil du renouvellement et de mettre un terme au remplacement d'une génération par la suivante. C'est à certains égards comme une façon de considérer l'irremplaçabilité d'une génération par une autre. C'est aussi l'exact contraire du statut du travailleur qui vaut moins comme individu que comme force de travail. À Roberval, la vie s'écoule tranquillement et toute irruption dans le cours épais du temps produit un acte de déconstruction de cette mécanique sociale du reproductible. Au travail auquel les ouvriers sacrifient leur vie répond la rébellion dont la description de la sexualité de Querelle, et son affirmation, est sans doute l'une des formes les plus saillantes du texte. La domination des garçons par Querelle est l'image inversée de la domination sociale que subi le jeune ouvrier. Querelle, actif fascinant par la puissance de son sexe, est transmué en dieu. Difficile de ne pas penser à Dionysos, à la fois *nuktelios*, son culte est nocturne, comme les garçons qui viennent l'honorer la nuit, et *Isodaites* puisqu'il se distribue à eux par l'offrande de son sperme. Par ailleurs, la mort tragique de Querelle, dont le cœur est transpercé, après que son corps ait été d'abord brisé se renouvelle transmué en sexe passif.

#### 3.2 La force mythique du sacrificiel

Jézabel, personnage féminin central, constitue comme une forme d'hétéradelphe de Querelle. La relation du double masculin-féminin pourrait être largement développée mais on se contentera ici de la restreindre à la seule force d'évocation du prénom dont l'ononastique, tout autant d'ailleurs que d'autres, Judith ou Abel par

exemple, rattache le personnage à la figure biblique bien connue. Querelle, le corps défait par la lutte entre syndiqués et forestiers, est achevé par Jézabel qui brise sa batte de baseball pour empaler Querelle. La symbolique du pieu (phallus) est représentative de la complexité intertextuelle du récit : le pieu-*ashérah* est un des éléments principaux du culte israélite lié à Astarté, déesse multifacette. Le pieu-*ashérah* a un rapport direct avec la prostitution sacrée, qui est du reste indifféremment féminine ou masculine. Il constitue le lien herméneutique entre récit du travail et sexualité : Astarté est une figure où se mêlent tout en même temps l'amour et la guerre, la fécondité et la destruction. C'est aussi cela même qui se joue dans ce récit du sacrifice du plus cher.

### 4 Conclusions

André Gide disait qu'on ne fait pas de bonne littérature avec de bons sentiments mais fait-on une littérature neuve, avec l'affirmation de mettre à feu et sang les personnages du récit ? La violence et la crudité du texte de Kevin Lambert en fait le pari. Pour lutter contre la *sensure* (Bernard Noël), il faut revenir à cette parole brute qui se défait des conventions. C'est aussi pour cela que l'imitation n'est pas celle d'un récit ou d'un motif mais celle d'une langue qui brise les conventions sociales de la bienséance en s'insérant jusque dans les espaces les plus profonds de notre culture. C'est ainsi qu'elle se renouvelle et qu'une écriture singulière peut naître, jaillissement éphémère en pure perte.

### 5 Références

- [1] Beinstingel, Thierry, *La représentation du travail dans les récits français depuis la fin des Trente Glorieuses*. Littératures. Université Bourgogne Franche-Comté, 2017. Disponible sur HAL, URL : <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01796986>, consulté le 7 mars 2022.
- [2] Guibert, Hervé, *Vous m'avez fait former des fantômes*, Gallimard, 1987.  
— *Le Mausolée des amants. Journal 1976-1991*, Gallimard, 2001.
- [3] Kluge, Alexander, « Neufs histoires pour Rainer Werner Fassbinder », *Traffic*, POL, été, 2019.
- [4] Lambert, Kevin, *Querelle*, Points, 2021 [première édition Le Nouvel Attila, 2019].  
— *Tu aimeras ce que tu as tué*, Le Nouvel Attila, 2021.
- [5] Schwob, Marcel, *La lampe de Psyché*, POL, « La Collection », 1993.
- [6] Vernes, Maurice, « VII. Religions d'Israël et des Sémites occidentaux », École pratique des hautes études, Section des sciences religieuses, *Annuaire 1918-1919*. 1917. pp. 69-97 consulté le 5 mars 2022, URL : [https://www.persee.fr/doc/ephe\\_00000002\\_1917\\_num\\_31\\_27\\_1\\_9947](https://www.persee.fr/doc/ephe_00000002_1917_num_31_27_1_9947)

<sup>3</sup> Cf. sur le sujet, la thèse de Thierry Beinstingel et ses propres romans.

---

**Politique de démocratisation ou expérience pédagogique locale : des bacheliers professionnels en Institut  
Universitaire de Technologie.**

---

Sonia Lefeuvre<sup>1</sup>

[Sonia.lefeuvre@univ-lyon2.fr](mailto:Sonia.lefeuvre@univ-lyon2.fr)

Michel Le Nir<sup>2</sup>

[michel.lenir@univ-lyon2.fr](mailto:michel.lenir@univ-lyon2.fr)

<sup>1,2</sup> IUT Lumière, Université Lyon 2  
Laboratoire Education, Cultures, Politiques

**Thèmes – SHS**

**Résumé** – *Comment expliquer la réussite de bacheliers professionnels en IUT ? L'enquête menée auprès de l'ISP<sup>1</sup> permet de mettre en évidence quelques leviers explicatifs. Les bacheliers professionnels de l'ISP réussissent mieux que d'autres étudiants au profil similaire dans des IUT comparables. A travers notre étude, nous avons observé que les étudiants de l'ISP se sentent engagés dans leurs études, travaillent plus régulièrement et ont développé un fort sentiment d'appartenance et d'intégration à l'institution, qui sont tous des prédicteurs de réussite. Cet engagement n'est pas sans lien avec la pédagogie proposée. Du côté des équipes pédagogiques elles adhèrent à cette expérimentation car elle est le moyen de défendre l'ouverture sociale, qu'elles mettent en application à leur échelle et dont elles voient les résultats immédiats. Le projet de l'ISP pourrait laisser penser qu'il s'agit là d'une ambition de démocratisation, mais le véritable enjeu de l'ISP réside plutôt dans l'expérimentation pédagogique que permet ce « laboratoire pédagogique ».*

**Mots-Clés** – *Bac professionnels, réussite, IUT*

---

<sup>1</sup> Institut Supérieur Professionnel. L'institut est intégré au sein d'un IUT de la région AURA. Afin de garantir l'anonymat de nos enquêtés, le nom a été modifié.

## 1 Introduction

Souvent accusés de recrutement élitiste et de voie de contournement des classes préparatoires aux grandes écoles, les IUT visaient, à leur création, à répondre à la massification dans l'enseignement supérieur et à l'échec important dans les premiers cycles universitaires (Le Nir, Seguy, 2018). D'aucuns interprètent ces missions comme une volonté politique affirmée dès le départ d'accueil de bacheliers technologiques. Au fil du temps, le caractère sélectif des IUT et la réputation de ces formations courtes a finalement attiré de bons étudiants issus de filière générale avec le projet d'intégrer des écoles d'ingénieurs ou de commerce, d'où la dénonciation de « voie de contournement ». Aujourd'hui, les IUT se voient contraints par les injonctions ministérielles d'accueillir 50% de bacheliers technologiques. Ces injonctions à un accueil renforcé des bacheliers technologiques génèrent des réactions réservées, voire des oppositions dans les instituts, ces points de vue étant parfois résumés dans une formule emblématique de cet état d'esprit : « le problème des bac techno » !

## 2 Présentation de l'ISP

Autant dire que l'arrivée de bacheliers professionnels - encore moins cotés dans la hiérarchie informelle des filières du secondaire que les bacheliers technologiques (Convert, 2003 ; Beaud, 2002) - n'est sans doute pas espérée dans les IUT<sup>2</sup>. C'est pourtant le projet de l'Institut Supérieur Professionnel : accueillir et faire réussir des bacheliers professionnels au sein d'un IUT. Le projet s'accompagne de moyens qui financent l'encadrement et les innovations pédagogiques<sup>3</sup>. Les bacheliers professionnels, comme les autres étudiants d'IUT, réalisent leur cursus en deux ans. S'ils sont regroupés lors de la première année ils intègrent le reste de la promotion de l'IUT l'année suivante. En ce qui concerne les taux de réussite, ils sont supérieurs aux moyennes nationales des bacheliers professionnels<sup>4</sup>.

---

<sup>2</sup> Entre 2011 et 2020, la part des bacheliers professionnels en IUT représente entre 3 et 2% et évolue à la baisse sur les neuf années considérées (repères et références statistiques 2012 à 2020).

<sup>3</sup> L'ISP fait partie des 37 projets lauréats de l'appel à projets Initiatives d'Excellence en Formations Innovantes (IDEFI) lancé fin 2011.

<sup>4</sup> Depuis 2012, les taux de réussite des bacheliers professionnels de l'ISP se situent aux alentours de 61% en deux ans et de 77% en trois ans alors qu'au plan national les mêmes peinent à atteindre 50% en trois ans (enquête sur le devenir des diplômés de DUT 2008 à 20015, DES-ADIUT).

## 3 Contexte de la recherche

Notre équipe de recherche a été sollicitée par l'ISP pour mieux comprendre les effets que produisait ce projet mais aussi parce qu'il devait faire la preuve auprès de ses financeurs de son efficacité. L'ambition affirmée était de contribuer à la réflexion sur l'ouverture sociale et l'égalité des chances dans l'enseignement supérieur. Nous avons donc abordé trois terrains : une enquête par questionnaires auprès des étudiants de l'ISP et de l'IUT, une observation des commissions de recrutement et une série d'entretiens avec des enseignants de l'ISP.

Si la réussite des étudiants de l'ISP n'est pas à démontrer statistiquement, la question qui nous occupe particulièrement ici est de présenter les leviers qui favorisent cette réussite d'une part (Romainville et Michaut, 2012), mais aussi de s'interroger plus globalement sur la question de la démocratisation universitaire d'autre part. En quoi, ce projet d'accueillir des bacheliers professionnels en IUT participe à la réduction des inégalités d'accès à l'enseignement supérieur ?

## 4 Enquête quantitative auprès des étudiants

L'enquête quantitative passée auprès des étudiants de l'IUT nous a permis de mettre en évidence que le cursus ISP a un effet sur l'engagement des étudiants. Cet engagement n'est pas sans lien avec la pédagogie proposée. Nous avons observé que la perception d'avoir des enseignants attentifs à leurs besoins ne cherchant pas à comparer ou mettre en compétition les étudiants était significativement plus développée chez les étudiants de l'ISP.

## 5 Le recrutement

A l'heure de Parcoursup où la sélection des étudiants se réalise souvent grâce à des algorithmes automatiques, l'observation des commissions de recrutement de l'ISP a mis en évidence que malgré la volonté politique affichée d'ouverture sociale de l'école, les réflexes de classement scolaire prennent souvent le dessus dans ces commissions. En réalité, cette mission d'ouverture sociale ne se concrétise pas tant lors des commissions de recrutement qu'en amont grâce à une politique de communication auprès des lycées de la région, et au-delà. Pour attirer suffisamment de candidats, les équipes de l'ISP multiplient les démarches de communication auprès d'un public qui aura tendance à s'autocensurer.

## 6 L'enquête qualitative auprès des membres de l'équipe pédagogique

Enfin, l'enquête qualitative menée auprès des acteurs

investis dans le dispositif nous a permis de mieux comprendre la posture pédagogique et en quoi elle influençait la réussite des étudiants. Le projet de l'ISP n'est pas partagé par l'intégralité des acteurs de l'IUT. Pourtant, ceux qui s'y s'engagent le font avec la conviction affirmée d'avoir à défendre l'ouverture sociale de l'enseignement supérieur. Ajoutons que les étudiants présents à l'ISP ont le sentiment de bénéficier d'une réelle chance si bien qu'au-delà de leur motivation à travailler ils vont remercier les équipes pédagogiques. Ces remerciements ne font que renforcer la posture militante des enseignants, ces derniers se sentant alors essentiels aux projets d'ascension sociale des étudiants. On entre alors dans un cercle vertueux d'engagement de chaque côté. On retrouve ici une situation analogue à celle des enseignants de cours complémentaires impliqués dans la réussite de leurs élèves dans les années 1950-60 (Prost, 1986). L'historien montre que ces enseignants, souvent issus du même milieu social que leurs élèves, connaissaient très bien les enfants et leurs parents. Un lien fort s'installait, et les enseignants mettaient souvent un point d'honneur à tirer les élèves vers une réussite leur permettant de s'inscrire en classe de seconde. Ces expériences demeuraient toutefois limitées, et c'est bien par le biais d'une politique générale instituant le collège unique, que la volonté de démocratisation de l'enseignement s'est affichée. De la même manière, le projet ISP pourrait laisser penser qu'il s'agit là d'une ambition de démocratisation universitaire afin de permettre à des bacheliers professionnels d'accéder à des études en IUT, accès qui leur est très restreint sans cela. En vérité, très peu de bacheliers professionnels entrent à l'ISP<sup>5</sup>.

## 7 Conclusions

La vocation de l'ISP est-elle de servir d'ascenseur social ? Elle permet certes à quelques étudiants « méritants » de bénéficier de véritables parcours de réussite académique (DUT, puis école d'ingénieur), seulement, ils sont tellement peu nombreux qu'on ne peut pas parler de l'ISP comme vecteur de démocratisation. Ces parangons des bacheliers professionnels permettent d'expérimenter toutefois une certaine approche pédagogique. Le véritable enjeu de l'ISP se trouve bien plus dans la réflexion pédagogique menée auprès d'un public - a priori plus éloigné académiquement que les étudiants traditionnels - que dans l'ambition d'ascenseur social.

Aujourd'hui, nous voyons se transformer la pédagogie –

---

<sup>5</sup> Entre 50 et 70 étudiants entrent à l'ISP chaque année. Ils représentent entre 30 et 50% de l'ensemble des bacheliers professionnels en IUT. Ils étaient 75 selon les données de Parcoursup 2020 (opendata Parcoursup)

comme la recherche a évolué avant elle en France - à travers des appels à projets (IDEFI<sup>6</sup>, PIA, projets cursus +, « oui-si », etc.) et des réformes ponctuelles. L'ISP illustre cette évolution. « La première origine des échecs successifs, l'esquisse antérieure l'a montré, c'est l'improvisation de la plupart des réformes. Les gouvernements (...) agissent de plus en plus dans l'urgence et en fonction de diagnostics conjoncturels, alors qu'il faut résoudre les problèmes structurels de longue durée qui mettent en jeu des processus sociaux et culturels de grande ampleur » (Charles, 2021).

## Références

BEAUD S. (2002), « Le rêve de retrouver la voie "normale" les bacs pros à l'université », in Les patrons, l'État et la formation des jeunes, MOREAU Gilles (coord.) Paris, La dispute.

CHARLES C. (2021), « Crises universitaires et réformes en France, l'éternel retour », in L'université pour quoi faire, Beaud S. et Millet M., PUF, Paris. p.18 à 38.

CONVERT B. (2003), « Des hiérarchies maintenues, espace des disciplines, morphologie de l'offre scolaire et choix d'orientation en France, 1987-2001 », Actes de la Recherches en Sciences Sociales, Les contradictions de la « démocratisation » scolaire, n°149, septembre 2003, p.61-73.

LE NIR M., & SEGUY J.Y., (2018) « Ouvrir l'université sur le monde économique et instaurer une orientation rationnelle : aux origines de la création des IUT », Carrefours de l'Éducation, n° 45, p. 115-127.

PROST A., (1986), L'enseignement s'est-il démocratisé ?, Paris, PUF.

ROMAINVILLE, M., & MICHAUT, C. (2012). Réussite, échec et abandon dans l'enseignement supérieur. Bruxelles : De Boeck.

---

<sup>6</sup> Initiatives D'Excellence en Formations Innovantes

# Représentation sociale du travail en équipe et émotions

---

Boumédine Bouriche<sup>1</sup>

boumedienne.bouriche@univ-amu.fr

<sup>1</sup> IUT, Aix-Marseille Université  
Laboratoire de Psychologie Sociale, UR 849

## Thèmes – SHS -

**Résumé** – *La recherche porte sur l'impact des émotions sur la représentation sociale (RS) du travail en équipe selon l'appartenance de genre. Cent soixante-cinq étudiants de DUT GEA devaient se remémorer des événements émotionnels très positifs et négatifs vécus directement après avoir participé à une situation de travail d'équipe dans le cadre d'une simulation de gestion. Les émotions rapportées ont été classées en émotions positives et négatives. Après avoir identifié le contenu et la structure de la RS du travail en équipe des participants préalablement à la simulation de gestion (phase 1), nous avons analysé l'impact cognitif des deux classes émotionnelles sur la RS du travail en équipe (phase 2). Cet impact s'est traduit par une clarification et une révision de la RS en fonction du statut des composants du champ représentationnel et de l'appartenance de genre des sujets. Ces résultats mettent en évidence, selon nous, le rôle que peuvent jouer les émotions comme cadre de régulation des rapports symboliques de genre au travail.*

**Mots-Clés** – *Représentations sociales, émotions, travail en équipe.*

## 1 Introduction

Définies comme des systèmes organisés d'idées, d'opinions, d'attitudes, de connaissances et de croyances partagées au sein d'un groupe social à propos d'un objet, et basées sur la communication et les interactions sociales (Rateau, Moliner, Guimelli, & Abric, 2011), les représentations sociales (RS) sont des formes symboliques de connaissance sur le monde avec une visée pratique. Pour pouvoir évoluer efficacement dans son environnement, le défi quotidien de l'être humain est de maintenir un système de connaissances valide. Cependant, dans un monde en constante évolution, ce défi implique de disposer d'un système de signalisation des changements significatifs de l'environnement. En tant que marqueurs de l'expérience individuelle du monde, les émotions sont précisément des modalités qui avertissent de changements significatifs dans l'environnement d'un individu. Nous situons donc l'étude des relations entre RS et émotions dans une approche conceptuelle des dynamiques de stabilité et de changement des systèmes de connaissances de l'individu.

## 2 Hypothèse

L'hypothèse porte sur l'impact de la nature (positive ou négative) de l'émotion sur la RS du travail en équipe. Nous nous attendons à ce que la nature de l'émotion ressentie crée le contexte de clarification de la RS.

Une émotion positive se traduira par un effet de renforcement des composants fortement consensuels de la RS du travail en équipe et par un effet d'affaiblissement des composants faiblement consensuels. En revanche, une émotion négative produira un effet d'affaiblissement des composants fortement consensuels et un effet de renforcement des composants faiblement consensuels.

## 3 Méthode

Participants : 165 étudiants (51,5 % de femmes ;  $M_{\text{âge}} = 20,4$ ,  $SD = 1,56$ ) participant à une situation de simulation de gestion d'entreprise ont été interrogés. L'échantillon était composé de 22 équipes constituées de sept à neuf participants féminins et masculins. L'équipe était autogérée, chaque membre agissant en tant que membre du conseil d'administration de l'entreprise. Les équipes sont restées les mêmes pendant toute la période d'entraînement.

Procédure : L'étape 1 a consisté à identifier, préalablement à la simulation de gestion, le contenu, la structure et la polarité de la RS du travail d'équipe avant de l'associer à une expérience émotionnelle. Cette étape avait pour objectif de différencier, parmi les composants de la RS, ceux portant la signification symbolique du champ représentationnel du travail d'équipe (les composants fortement consensuels) et ceux plus sensibles

au contexte immédiat permettant l'adaptation à la réalité et aux variations individuelles (les composants faiblement consensuels). Cette identification préalable des composants de la RS du travail d'équipe serait ensuite utilisée pour étudier l'impact des émotions sur leur dynamique. L'étape 2 se rapportait à une situation réelle de travail d'équipe durant une simulation de gestion d'entreprise. Dans cette situation, les participants ont géré des équipes d'entreprise pendant trois jours dans un environnement compétitif et des salles séparées. Avant la situation de travail en équipe, les équipes avaient défini leur stratégie et leurs objectifs pour guider la prise de décision. La situation de travail en équipe consistait en dix périodes de processus de prise de décision. Pour chaque période, le cycle des processus de travail en équipe était le même : analyse de la situation de l'entreprise, prise de décision, analyse des résultats. Chaque période de décision durait entre 1h30 et 2 heures. Les participants prenaient des décisions stratégiques, tactiques et opérationnelles au cours de chaque période. Ces décisions étaient notées sur une feuille et remises au formateur qui saisissait sur informatique toutes les données. Au cours de la simulation, plusieurs événements imprévus, fortuits ou induits par les formateurs, étaient susceptibles de produire des discordances avec les attentes des participants. Selon Weick (1995), ce genre d'événements est susceptible de produire des émotions.

Variables mesurées : Les participants ont été invités à remplir le Test d'Indépendance au Contexte (Lo Monaco, Lheureux, & Halimi-Falkowicz, 2008 ; Lo Monaco, Piermattéo, Rateau, & Tavani, 2017). Le TIC est un test de mesure du niveau consensuel des composants d'une RS. Le test comprenait 18 items composant la RS du travail en équipe sélectionnés à l'aide d'une analyse de contenu issue d'une technique associative. Le test a été complété deux fois. Le temps 1 était juste avant la simulation de gestion (TIC1) et le temps 2 (TIC2) immédiatement après et en référence à l'épisode émotionnel survenu durant la simulation. Les différences (TIC2-TIC1) du niveau consensuel des composants de la RS du travail en équipe ont été calculées. Plus la différence d'un composant de la RS est élevée, plus ce composant subit un impact lié à l'émotion ressentie.

## 4 Résultats

Cinq composants forment une dimension fortement consensuelle renvoyant à une vision collaborative du travail en équipe (travailler efficacement, avoir des objectifs communs, prendre des décisions communes, partager des informations, s'entraider). Deux dimensions moins consensuelles renvoient à une vision sociotechnique (planification du travail, répartition des rôles, partage des mêmes idées et opinions, organisation matérielle, méthodes de travail, partage des mêmes

valeurs, reconnaissance mutuelle, gestion des compétences) et à une vision centralisée du travail en équipe (dépendance interpersonnelle, la hiérarchie, l'exercice du pouvoir, les normes et les règles, la gestion des conflits).

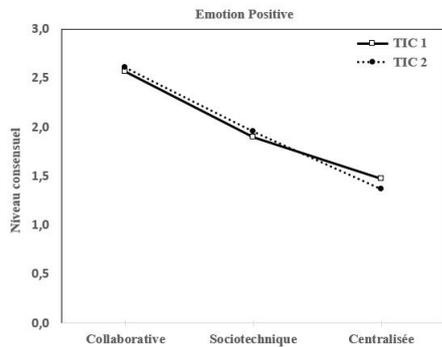


Figure 1 – Impact de l'émotion positive sur la RS du travail en équipe

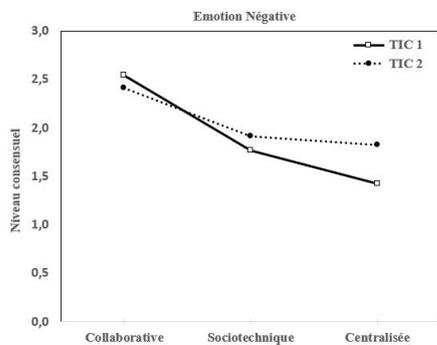


Figure 2 – Impact de l'émotion négative sur la RS du travail en équipe

Il existe un effet d'interaction entre la nature (positive et négative) de l'émotion et le niveau consensuel des composants de la RS du travail en équipe (voir Figure 1 & 2),  $F(2, 228) = 15,50$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,12$ . L'hypothèse est confirmée. Cependant, au lieu d'un effet de renforcement des composants fortement consensuels du travail en équipe (vision collaborative) et d'un effet d'affaiblissement des composants faiblement consensuels (vision sociotechnique et centralisée), une émotion positive se traduit plutôt par un effet de stabilité générale de la RS ( $M_{TIC1Coll.} = 2,57$ ,  $ET = 0,29$ ,  $M_{TIC2Coll.} = 2,61$ ,  $ET = 0,37$ ,  $t(64) = 0,79$ , ns ;  $M_{TIC1St.} = 1,90$ ,  $ET = 0,33$ ,  $M_{TIC2St.} = 1,95$ ,  $ET = 0,50$ ,  $t(64) = 0,85$ , ns ;  $M_{TIC1Cent.} = 1,47$ ,  $ET = 0,50$ ,  $M_{TIC2Cent.} = 1,37$ ,  $ET = 0,47$ ,  $t(64) = -1,48$ , ns). En revanche, comme attendu, une émotion négative produit un effet d'affaiblissement des composants fortement consensuels ( $M_{TIC1Coll.} = 2,55$ ,  $SD = .32$ ,  $M_{TIC2Coll.} = 2,41$ ,  $SD = .45$ ,  $t(64) = -1,94$ ,  $p < 0,06$ ,  $d = 0,36$ ), et un effet de renforcement des composants faiblement consensuels ( $M_{TIC1St.} = 1,77$ ,  $SD = 0,35$ ,  $M_{TIC2St.} = 1,91$ ,  $SD = 0,35$ ,  $t(64) = 2,11$ ,  $p < 0,05$ ,  $d = 0,40$  ;  $M_{TIC1Cent.} = 1,42$ ,  $SD = 0,55$ ,  $M_{TIC2Cent.} = 1,83$ ,  $SD = 0,47$ ,  $t(64) = 4,78$ ,  $p < 0,001$ ,  $d = .80$ ).

## 5 Conclusion

Étudier les émotions comme des modalités de clarification cognitive et de révision des RS crée l'opportunité de développer une analyse psychosociale des relations entre les émotions et les RS. Les résultats obtenus ont des implications importantes pour la considération qu'il convient d'accorder aux émotions dans l'étude des conditions d'évolution des RS et plus généralement de la construction sociale de la connaissance.

## Références

- [1] Gregory Lo Monaco, Florent Lheureux, & Severine Halimi-Falkowicz, *Test d'Indépendance au Contexte (TIC) et Structure des Représentations Sociales*. *Swiss Journal of Psychology*, 67(2), 2008, p. 119 – 123.
- [2] Gregory Lo Monaco, Anthony Piermattéo, Patrick Rateau, & Jean-Louis Tavani, *Methods for Studying the Structure of Social Representations : A Critical Review and Agenda for Future Research*. *Journal for the Theory of Social Behaviour*, 47(3), 2017, p. 306 – 331.
- [3] Patrick Rateau, Pascal Moliner, Christian Guimelli, & Jean Claude Abric, *Social Representation Theory*. In P. A. M. Van Lange, A. W. Kruglanski & E. T. Higgins (Eds.), *Handbook of theories of social psychology*. Thousand Oaks, CA: Sage, 2011, p. 477 – 487
- [4] Karl Edward Weick, *Sensemaking in Organizations*. Thousand Oaks: Sage, 1995.

---

# Sentiments et émotions dans les fake news et leur réception : l'utilité des dictionnaires électroniques avec informations sémantiques

---

Magali Bigey<sup>1</sup>

magali.bigey@univ-fcomte.fr

<sup>1</sup> IUT Besançon-Vesoul, Université de Franche-Comté  
Laboratoire ELLIADD, EA 4661

**Thème** – *Communication*

**Résumé** – *Le pouvoir de l'image est de toucher les sentiments les plus profonds du public (indignation, compassion, sublimation, peur, haine, sidération, etc.). Les internautes, qui sont souvent noyés dans un flux permanent d'information, ne sont pas amenés à analyser une information. Ils sont simplement touchés, affectés par le contenu, et ils l'expriment sur les réseaux socio-numériques. Cet appel à l'émotion est un terrain favorable au déploiement de fausses informations et de post-vérité. La notion de post-vérité regroupe les situations où la réalité des faits influence moins l'opinion publique que l'appel aux émotions et aux croyances personnelles. C'est l'émotion qui prime, la vérité est devenue secondaire. Après avoir défini ces notions, nous montrerons comment l'ajout d'informations sémantiques dans la création de dictionnaires électroniques permet de mettre au jour puis d'analyser automatiquement des discours de réception de fake news et d'infox par l'image. Nous montrerons également l'intérêt du surcodage de ces dictionnaires. Le travail d'analyse se fera sur différents discours de réception de fake news, issus d'enquêtes menées auprès d'étudiants d'IUT Information-Communication, via des analyses de concordances sur l'expression de sentiments.*

**Mots-Clés** – *Analyse de réception, Emotions, Dictionnaire électronique*

## 1 Introduction

La notion d'opinion, comme celle de sentiments, reste floue quand il s'agit d'expression sur Internet. Il faut bien définir les limites de chacun des paramètres qui entrent en compte quand il s'agit de penser à l'analyse, et ne pas prendre tout texte pour une expression d'opinion, souvent couplée de sentiments.

Le pouvoir de l'image est de toucher les sentiments les plus profonds du public (indignation, compassion, sublimation, peur, haine, sidération, etc.). Les internautes, souvent noyés dans un flux permanent d'information, ne sont pas amenés à analyser, et sont la plupart du temps touchés par le contenu. Cet appel à l'émotion est un terrain favorable au déploiement de la post-vérité (où la réalité des faits influence moins l'opinion publique que l'appel aux émotions et aux croyances personnelles). C'est l'émotion qui prime [1], la vérité est devenue secondaire, terreau fertile pour la circulation d'infox en tout genre.

## 2 Exprimer son avis

Nous savons que les sentiments et émotions sont des leviers importants de l'inscription de soi dans les discours, et dans la perméabilité aux fake news et particulièrement à l'infox par l'image [2] (Bigey & Simon, 2021).

« Un énoncé est ainsi toujours la réalisation d'un acte d'énonciation. Cette thèse [...] implique que l'énoncé [...] ne doit pas seulement être référé à l'état de choses, aux événements, aux faits qu'il rapporte, mais aux conditions de son énonciation, contexte et production, destinataires du message, intentions de l'émetteur, qui en déterminent la forme et les significations » [3]. Il est très important d'être conscient de cet état de fait, sans quoi l'analyse peut être facilement coupée d'informations essentielles à sa bonne réalisation. Il est capital d'examiner le contexte le plus finement possible, d'autant plus, et nous en avons des exemples quasi quotidiennement, que les discours du web provoquent une sorte d'émulation entraînant la surenchère dans les avis et les critiques, des tout signifiants des situations exprimées. L'expression du sujet ici est totalement en lien avec ses émotions, et avec ce qu'on appelle l'implication de soi en discours. Pour ce qui concerne les infox et la post-vérité, l'expression du sujet entre en adéquation avec l'image collective dans une posture de l'entre-soi. Pour une communauté donnée, chaque membre se sent attaqué par les critiques, d'autant plus si cet entre-soi est de mise comme on le constate régulièrement sur les réseaux sociaux.

### 2.1 L'expression des sentiments « en public » ?

Pour David Le Breton,

« si socialement il n'est guère pensable de laisser libre court à certaines émotions, les lieux appropriés autorisent en revanche à se vivre sans détour, sans crainte du jugement des autres, sans nécessité de réfréner sa sensibilité. » [4]

Nous pouvons aisément lire dans les commentaires des réseaux socio-numériques, dans les posts des exemples d'affirmation de soi et de revendications. Pour Claudine Haroche, on trouve dans ce qu'elle nomme « les formes d'aliénation contemporaines » l'idée de visibilité de soi :

« un type de visibilité qui, ignorant les frontières de l'intime, du privé et du public, tend à instrumentaliser et réifier l'individu par l'exhibition continue et exhaustive de soi, encourageant et renforçant le voyeurisme, l'exhibitionnisme, l'effacement du privé, de l'intime [...] Renforcée par les technologies contemporaines, cette aliénation contraindrait l'individu à présenter non pas une part de soi mais à se livrer à une mise à nu, un dévoilement continu de soi [...] La visibilité serait synonyme de légitimité, d'utilité, garantie de qualité : la fréquence, la quantité voire la continuité de la visibilité valoriserait l'individu. L'invisibilité, quant à elle, serait synonyme d'inutilité, d'insignifiance voire d'inexistence » [5].

Tous ces éléments, adéquation du lieu, visibilité de soi synonyme de légitimité, dévoilement continu de soi, donnent à penser que le web est le lieu idéal pour se dévoiler, exposer ses sentiments, être visible et trop en dévoiler, souvent, tout le temps [6]. Vu comme une agglomération d'« espaces sociaux accueillant l'expression des sentiments qui ne pourraient ouvertement se vivre ailleurs » (Le Breton, *ibid*), le web est donc un lieu (non-lieu ?) d'études unique.<sup>1</sup>

### 2.2 Quelle méthodologie ?

D'un point de vue méthodologique, l'étude des sentiments paraît difficile du fait qu'ils sont complexes, structurellement et linguistiquement parlant.

Concernant cette idée de la catégorisation des émotions, il est évidemment bien difficile de les recenser toutes, tellement les manières de les dire sont diverses et variées. Parfois, il peut s'agir d'un manque de précision, mais également de vocabulaire disséminé dans un post ou un commentaire, qui va donner cet effet d'empathie ou non au lecteur sans que toutefois il soit possible de repérer systématiquement et automatiquement ce qui l'a engendré : l'un va *aimer beaucoup*, l'autre *adorer*, l'autre encore *apprécier infiniment*, mais à quel degré, sur quelle échelle ? L'uniformisation de l'analyse est impossible, tout comme l'uniformisation du sens, alors nous avons

---

<sup>1</sup> Si l'auteur parle ici d'espaces physiques, il est aisé d'ajouter le web, sur lequel l'expression des sentiments se trouve souvent exacerbée.

travaillé sur des marqueurs fiables, les verbes de sentiments, avec une méthodologie alliant la lexicométrie et le traitement automatique.

### 3 Pour un dictionnaire des verbes de sentiments

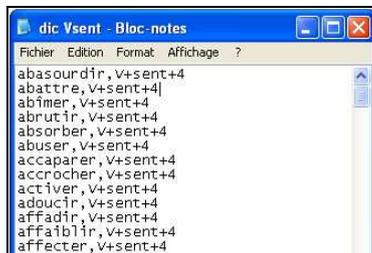
#### 3.1 La reconnaissance automatique d'informations sémantiques

Souvent, les logiciels de traitement automatique sont à même de reconnaître les verbes, mais ils ne font généralement pas de distinction sémantique, ils sont basés sur la forme d'un mot pour sa reconnaissance. S'il est possible d'extraire tous les verbes d'un corpus, il est ensuite plus ardu de *trier*, et ce qui nous intéresse serait noyé dans un flot d'informations inutiles (bruits) pour l'analyse ; ici, nous avons choisi de créer un dictionnaire électronique auquel nous avons ajouté des informations sémantiques (par exemple, un code « Vsent » pour Verbes de **s**entiments). Le logiciel utilisé pour cela est NooJ<sup>2</sup> ; il va nous permettre d'extraire tout ce qui aura été identifié comme verbe de sentiment.

#### 3.2 Réalisation du dictionnaire

Nous avons choisi de nous baser sur les tables 4 et 12 des verbes du lexique - grammaire de M. Gross (1975), qui recensent les verbes qui sont éprouvés par un sujet, et les verbes de jugement de valeur (*aimer, adorer, admirer, détester...*). M. Gross [7] y recense les propriétés d'environ 3000 verbes

Table 1 – extrait dictionnaire des verbes de sentiments (T4)



Les verbes de sentiment ainsi identifiés sont extraits sous forme de concordancier, avec une requête « V+sent ».

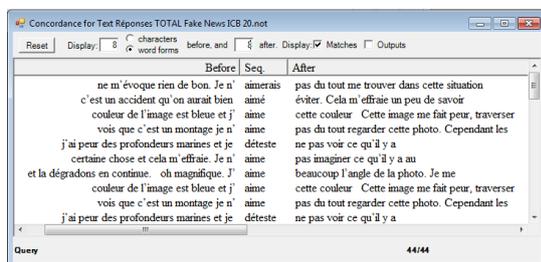


Figure 1 – concordance des verbes de sentiment sur un corpus de réception d'Infox par l'image

<sup>2</sup> Développé par Max Silberstein, à l'université de Franche-Comté

Dans cette figure, nous voyons que la requête nous a permis d'extraire automatiquement toutes les phrases qui comprennent un verbe de sentiment. Ces phrases peuvent être extraites en sous-corpus, et ainsi permettre une analyse fine de l'expression des sentiments des locuteurs, en contexte.

### 4 Conclusion

Les ajouts d'informations sémantiques permettent d'extraire automatiquement des données qui vont au-delà de la simple forme lexicale. Cela autorise la recherche d'informations basées sur les sentiments par exemple, comme nous l'avons vu, et aidera à terme à identifier de nouveaux leviers pour lutter contre la circulation des infox. Nous savons que l'infox passe particulièrement par l'émotion pour atteindre ses publics ; identifier les émotions présentes dans les infox ainsi qu'en réception, permet de leur donner un contour plus précis. L'automatisation de la reconnaissance des sentiments permet donc, en les identifiant précisément, de mieux comprendre les mécanismes de réception de ces infox, mais également les mécanismes de leur production, pour mieux pouvoir les déjouer ensuite.

### Références

[1] Alloing Camille, Pierre Julien, *Faire attention, ou l'affectivité en contexte numérique*, in Jehel S. et Saemmer A. (dirs), *Éducation critique aux médias et à l'information en contexte numérique*, Villeurbanne, Presses de l'ENSSIB, pp. 87-94.

[2] Bigey Magali., Simon Justine, *Sensitivity to Fake News: Reception Analysis with NooJ*. In: Bigey M., Richeton A., Silberstein M., Thomas I. (eds) *Formalizing Natural Languages: Applications to Natural Language Processing and Digital Humanities*. NooJ 2021. *Communications in Computer and Information Science*, vol 1520. Springer, Cham.

[3] Berthelot Jean-Michel, *Les vertus de l'incertitude*, PUF, *Essais Débats*, 1996, p.47

[4] Le Breton David, *Les passions ordinaires : anthropologie des émotions*, Payot, 2004 (1ère édition 1998), p.173

[5] Haroche Claudine, *Les sens et les sentiments en question*, PUF, *Sociologie d'Aujourd'hui*, 2008, p.202

[6] Bigey Magali, *Twitter et l'inscription de soi dans le discours. L'Ethos pris au piège (ou pas) de la frontière sphère privée/sphère publique*, *Les Cahiers du numérique*, n°14, 2018, pp. 55-75.

[7] Gross Maurice, *Méthodes en syntaxe : régime des constructions complétives*, Paris, Hermann, 1975

---

## Vers une nouvelle marque pays Liban ?

---

Chadi EL NAR <sup>1</sup>

chadi.el-nar@univ-lorraine.fr

Antoine ZAKKA<sup>2</sup>

antzakka@gmail.com

<sup>1</sup> IUT de Thionville-Yutz – Université de Lorraine  
Centre de Recherche sur les Médiations – CREM

<sup>2</sup> Institut Catholique de Lille

**Thèmes** – *Marques pays - Communication - Marketing*

**Résumé** – *Le présent poster s'interroge sur la perception de la jeunesse libanaise vis-à-vis de l'identité et l'image de marque de leur pays. La crise que connaît le Liban démontre d'importants problèmes qui sont la conséquence de la situation existante depuis trente ans. Le mouvement de contestation commencé en 2019 constitue alors un facteur d'optimisme pour les jeunes. Ces derniers expriment ainsi leur souhait de changements envers la structure du système actuel. Une évolution pourrait être bénéfique à l'image de la marque-pays du Liban.*

**Mots-Clés** – *identité, marque-pays, jeunesse, Liban*

## Introduction

Le Liban, un pays de 10 452 km<sup>2</sup>, est un État multiconfessionnel avec plus de 18 communautés religieuses qui impactent fortement les différents secteurs de la vie libanaise. La religion est un des composants principaux de l'image de marque du pays des cèdres et cela depuis sa création.

Cependant, cette image évolue à travers la vision de la jeunesse libanaise sur les aspects identitaires futurs de leur pays. Les jeunes expriment ainsi leur souhait de changements envers la structure du système actuel.

**La question qui se pose est alors de savoir comment la jeunesse libanaise conçoit-t-elle la marque-pays à travers l'identité nationale.**

Ce travail de recherche a pour objectif d'étudier la perception des jeunes libanais sur l'image de marque de leur pays suite à la crise économique historique que le Liban connaît depuis 2019.

## 2. Méthodologie

Un questionnaire a été transmis de manière électronique à travers l'application Google Forms. 250 jeunes libanais, âgés entre 15 et 29 ans, répartis sur l'ensemble du territoire, ont été interrogés durant cette étude réalisée entre le 3 et 10 mars 2020.

Ce questionnaire, composé de quinze questions sur la vision actuelle et future de l'identité et de la marque libanaise, a donc pour intérêt principal d'éclairer la perception de la jeunesse vis-à-vis des différents aspects de ces notions.

## 3. L'identité libanaise, entre diversité et communautarisme

La complexité de pouvoir dégager une identité libanaise unique passe par le fait que deux représentations différentes d'identité s'opposent dans l'esprit des Libanais. D'un côté, une version essentiellement soutenue par une partie importante des chrétiens, insiste sur la particularité du Liban au Moyen-Orient, de par son attachement à la culture occidentale et se différenciant de ses voisins arabes. De l'autre côté, s'oppose une version principalement encouragée par la communauté musulmane, qui indique que le Liban se trouve au cœur de son environnement arabe en partageant sa langue, sa culture et sa religion (Debs

107). État multiconfessionnel, avec pas moins de 18 confessions différentes reconnues par la Constitution libanaise, la religion est très présente dans tous les secteurs de la vie libanaise. De nos jours, nombreux sont les Libanais qui critiquent ce système communautaire et sont demandeurs d'un régime laïc ou civique. Il faut savoir que « l'État libanais n'a pas créé le régime communautaire, il n'a fait qu'en hériter depuis la première déclaration ottomane datant de plus d'un siècle et demi et accordant à des communautés religieuses un droit de législation et un droit de juridiction, en matière de statut personnel. » (Khair).

Les conséquences du régime confessionnel ont mené à une ambiguïté identitaire. Le peuple libanais est depuis toujours partagé entre les civilisations et les cultures qui l'influencent. Le facteur religieux représente ainsi sans aucun doute la composante la plus essentielle et la plus fragile de l'identité nationale libanaise. Cette caractéristique s'explique par le fait que la communauté religieuse a un caractère spécifique, autonome, par rapport à l'Etat libanais. L'aspect confessionnel régit le statut personnel des individus, ceci à la fois des points de vue spirituels, administratifs et juridiques (Kanafani-Zahar 79)

## 4. Résultats

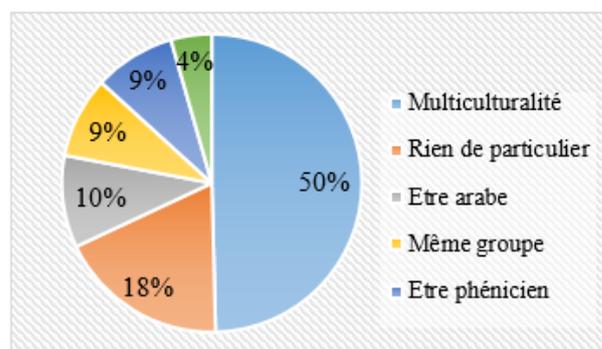


Figure 1 : Être libanais

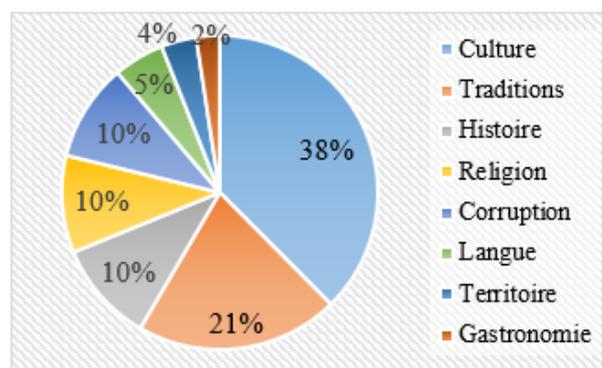


Figure 2 : Les composantes de l'identité libanaise

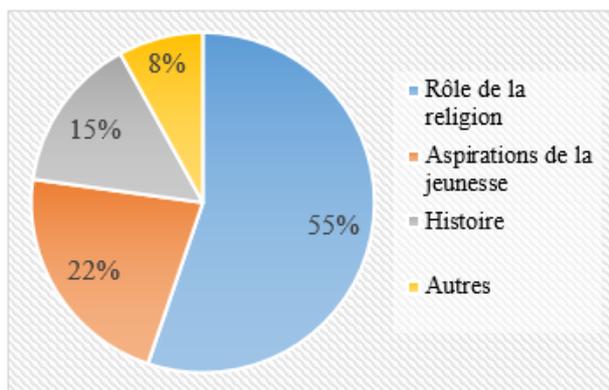


Figure 3 : Changement prioritaire dans l'identité libanaise

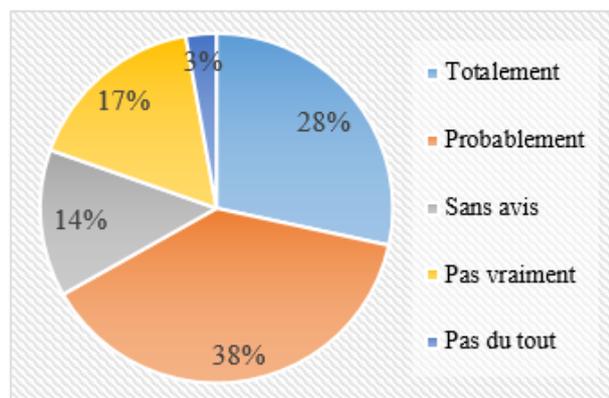


Figure 4 : Influence des contestations sur l'identité libanaise

## 5. Conclusions

La jeunesse libanaise considère que l'identité nationale, par ses composantes et son impact, doit être un élément essentiel au processus d'amélioration continue de la marque-pays Liban.

Les jeunes Libanais envisagent ainsi l'amélioration de l'image de marque du pays via à la fois la redéfinition d'une identité nationale davantage centrée sur la culture et les traditions du pays, ainsi que des changements importants dans le système politico-religieux au Liban.

La modification de ce système, via une diminution radicale du facteur religieux dans les décisions d'ordres politiques, représente ainsi la première volonté des jeunes au Liban.

## Références

- [1] DEBS Nayla, 2010, « L'identité libanaise, une difficile identité plurielle », *Topique*, 1: 110, 105-116.
- [2] KANAFANI-ZAHAR Aïda, 2000, « Liban, mémoires de guerre, désirs de paix », *La pensée de midi*, 3: 3, 75-84.
- [3] KHAIR Antoine, 2003, « Les communautés religieuses au Liban. Personnes Morales de droit public », dans CEDROMA, *Droit et religion*, Bruxelles, Bruylant, 584 p.

---

## Capital culturel, compétences entrepreneuriales et développement de la grande entreprise

---

**Pascale LAMBERT<sup>1</sup>**

[Pascale.lambert@univ-littoral.fr](mailto:Pascale.lambert@univ-littoral.fr)

**Gérard Kokou DOKOU<sup>2</sup>**

[gerard.dokou-kokou@univ-littoral.fr](mailto:gerard.dokou-kokou@univ-littoral.fr)

**Affiliation :**

[1], Docteur en Sciences de Gestion et Management. PRCE. IUT ULCO (TC Dunkerque), Université de la Côte d'Opale.  
[Pascale.Lambert@univ-littoral.fr](mailto:Pascale.Lambert@univ-littoral.fr)

[2], Maître de Conférences, HDR, IUT ULCO (TC Dunkerque), Université de la Côte d'Opale.

**Thématique :** *Gestion – Management - Economie*

**Résumé :**

*La grande entreprise que nous pourrions qualifier « d'éléphant » selon la littérature anglo-saxonne (Parsley et Dreessen, 2003 ; Saint-Jean et Julien, 2008) mais également dans la littérature francophone (Boutillier, 1996, 2006 ; Fayolle et Legrain, 2006 ; Léger-Jarniou, 2009) désigne le plus souvent une catégorie d'entreprises ayant connu une forte croissance sur différentes années et l'ayant stabilisée. À cet égard, la littérature abondante relie bien souvent cette croissance à des facteurs économiques et managériaux. Ainsi, la croissance et le développement de la grande entreprise (Greiner, 1998) semblent très peu reliés au capital culturel ou tout au moins à la capacité à mobiliser en interne ce capital culturel de manière à justifier et à réussir sa croissance conglomérale, interne et externe. Dès lors, notre recherche pourrait apporter un éclairage nouveau en mettant en relief le capital culturel (Bourdieu, 1979) comme moyen d'exploiter les compétences entrepreneuriales lors des phases critiques de développement et de croissance.*

**Mots-Clés :** *Croissance des éléphants, grande entreprise, capital culturel, croissance, entrepreneuriat, culture des entreprises, compétences entrepreneuriales, management, constructivisme.*

### 1. Intérêts et objectifs de la recherche

Lire le capital culturel sous le prisme des travaux de Bourdieu (1979) pour cerner celui de la grande entreprise permet de poser un regard neuf et disruptif. Notre second apport, est de nous concentrer sur la grande entreprise Galbraith (1984) qui est appelée *l'éléphant* dans la littérature anglo-saxonne (Parsley et Dreessen, 2003 ; Saint-Jean et Julien, 2008) et dans la littérature francophone (Boutillier, 2006 ; Fayolle et Legrain, 2006 ; Léger-Jarniou, 2009). La grande entreprise peut être assimilée à un groupe d'entreprises comprenant les filiales et le siège social. Selon nous, ses compétences entrepreneuriales pourraient être déterminantes pour sa croissance. Enfin, le troisième intérêt de cette recherche serait de se pencher sur les liens entre les compétences entrepreneuriales et la croissance. Dans ce cas, la croissance est qualitative pour Greiner (1998). Dans ce contexte, nous délimiterons les contours définitionnels du capital culturel avant d'en montrer les liens avec les compétences entrepreneuriales.

### 2. Interactions entre capital culturel et compétences entrepreneuriales

Le capital culturel traduit un ensemble de connaissances et de ressources en matière de culture, notamment la culture savante, au sens de la consommation des biens et des pratiques culturelles ainsi que des compétences capitalisables (Hervault et Godefroy, 2021). Il fait état des ressources propres aux familles permettant aux membres d'atteindre une position sociale particulière (Bourdieu, 1979). Il s'agit précisément des valeurs implicites et intériorisées transmises par les familles contribuant à définir les attitudes à l'égard des institutions de transmission des connaissances. Trois sources d'acquisition du capital culturel : la famille, la société et l'école (Bourdieu, 1994). Bien que, notre recherche se concentre sur la grande entreprise, nous pouvons faire une analogie entre la famille au sens premier du terme et la famille représentée par une culture d'entreprise forte pour Godelier (2009).

C'est aussi un capital de confiance et de loyauté inscrit dans les relations sociales qui favorisent un sentiment d'unité, d'appartenance, d'insertion, de participation, de reconnaissance, de partage des valeurs et de réciprocité. Le capital social peut être à la fois unissant, liant ou reliant (Razafindrazaka et Julien, 2017). Le capital culturel de (Bourdieu, 1979 ; 2015) se compose de trois formes. L'état incorporé qui s'assimile au temps passé à se procurer et assimiler ce capital. Puis, l'état objectivé (les individus tirent des atouts de ce savoir). Enfin l'état institutionnalisé (s'apparente à un degré de reconnaissance, de savoirs selon la sociologie des professions) pour Bourdieu et Darbel, (1969) ; Bourdieu, (2015). Cet état institutionnalisé peut être rapproché du *capital de connaissances* pour Glevarec (2018), comme pour les expériences de la vie Baatouche (2021). Aussi, la compétence entrepreneuriale correspond à l'ensemble des savoirs, savoir-faire et savoir-être dans une situation de création ou reprise voire de développement

d'entreprise. C'est la combinaison d'un ensemble de motivations, d'aptitudes, de comportements, de capacités psychosociologiques, stratégiques et managériales qui mobilisent les ressources de l'environnement afin d'accéder à un niveau de performances (Dokou et al., 2021).

### 3. Design de la recherche et méthodologie

Notre recherche vise à mesurer les compétences entrepreneuriales au sein de la grande entreprise au travers d'entretiens semi-directifs qui portaient sur la culture d'entreprise, la communication et les échanges. Ainsi, elle a pour objet de démontrer comment le capital culturel (Bourdieu, 1979) est déployé ainsi que les liens avec les compétences entrepreneuriales permettant à la grande entreprise de développer des compétences au niveau des divers établissements qui dépendent d'elle.

Dès lors, notre positionnement épistémologique était constructiviste puisque nous visons à comprendre un phénomène de longue ampleur permettant de démontrer les compétences entrepreneuriales au sein de la grande entreprise. De plus conformément à ce qui nous a été enseigné en épistémologie, nous construisons par interaction avec le réel, l'objet (Mbengue et Vandangeon-Derumez ; 1999), interaction intentionnelle qui vise à être active (Mhenna et Jamal ; 2020). Enfin, notre positionnement relève d'un constructivisme de l'ingénierie (Avenier, 2011). Notre recherche s'articule autour d'une méthode qualitative propre à Miles et Huberman (2003), méthode du cas Yin (2003).

Notre grande entreprise appartient au secteur vinicole et possède quatre filiales en France et dans d'autres pays. Nous avons interrogé des dirigeants de ces différentes structures avec deux entretiens afin de mesurer une évolution sur les concepts suivants, les qualités des futurs collaborateurs, les valeurs et rites, l'identité de la maison. Ces éléments nous ont semblé révélateurs et propices au capital culturel. Enfin, dans un souci de simplification méthodologique, nous concentrons nos efforts sur les cinq sites du territoire national. Forts, d'une dizaine d'entretiens, nous procédons par une analyse qualitative selon le prisme de Miles et Huberman (2003) en trois étapes. Tout d'abord nous isolons les éléments relatifs au capital culturel (entretien 1) en faisant ressortir les propos selon leur intensité. Nous isolons également les compétences entrepreneuriales (entretien 1). Enfin, nous relierons, selon un binôme cause-effet par des analyses matricielles, les faits principaux afin d'isoler les verbatims forts caractéristiques du capital culturel (entretien 2). Notre difficulté dans cette analyse a été contingente du volume des retranscriptions, de la longueur de nos analyses matricielles.

#### 4. Principaux enseignements et discussions :

Nous mettons ici en relief le fait que le capital culturel au sein de la grande entreprise est constitué des savoirs, savoirs faire et savoir être des individus. Ainsi, la grande entreprise est aussi un lieu, source d'acquisition du capital culturel (Bourdieu, 1994). Le management principalement « consultatif, participatif, assez participatif, plutôt participatif<sup>1</sup> » au sein de la grande entreprise favorise l'émergence de compétences entrepreneuriales mises en relief par notre entretien 1, celles-ci permettent aux entrepreneurs de développer des compétences culturelles inhérentes aux environnements qui deviennent des compétences capitalisables pour Hervault et Godefroy, (2021). Aussi, nous pensons que le management installe les conditions pour favoriser, créer et faire naître un capital culturel qui serait en quelque sorte l'agrégation des différents savoirs individuels transférables vers un savoir macro-organisationnel qui serait le capital social pour Bourdieu (1980). De fait, nous en déduisons qu'un management participatif voire consultatif serait la source d'un capital culturel encourageant les savoirs individuels.

Nous montrons, avec nos analyses, que le style de management semble une condition propice au déploiement de savoirs-être recherchés chez les collaborateurs tels que « les critères humains, le respect des valeurs, l'échange, l'écoute, l'attachement aux valeurs ». Cette condition implique « une fierté à porter le maillot, à travailler dans l'entreprise, à s'adapter à l'entreprise ». Le savoir-être s'amplifie, s'intensifie chez les collaborateurs. Nous pensons que cette combinaison entre, ce que nous nommons le savoir-être et un savoir-être transformé renforce l'identité de l'entreprise et caractérise cette dernière (Godelier, 2009). En effet, nos termes forts propres au capital culturel (Bourdieu, 1979) « ADN du groupe, culture d'entreprise, icône, personnalité » préexistaient avant les collaborateurs et ces derniers les véhiculent. Il nous semble préexister un mouvement de vase communicant entre le capital culturel de la grande entreprise et les compétences des individus comme une transférabilité entre eux (Razafindrazaka et Julien, 2017). Cette combinaison de capital culturel, culture d'entreprise, d'identité organisationnelle (Oliver et Roos, 2006) favoriserait les compétences entrepreneuriales de cette grande entreprise « la biodynamie, la bioclimatique, la taille des vignes, une connaissance parfaite du métier » compétences liées à l'environnement (Dokou et al, 2021). Lors d'une étude ultérieure nous pourrions confirmer ces résultats et en vérifier le niveau de développement (Greiner, 1998).

#### Bibliographie :

- [1] Bourdieu, P. (1979). Les trois états du capital culturel ». Actes de la recherche en sciences sociales. Vol. 30, *l'institution scolaire*. pp. 3-6.  
[2] Galbraith, J. K. (1984). Galbraith and the Theory of the Corporation. *Journal of Post Keynesian Economics*, 7(1), 43-60.

- [3] Parsley, C et Dreessen E (2003). Projet sur les entreprises en croissance. Principales constatations. Ottawa. Direction générale de la politique de la petite entreprise. *Industrie Canada*.  
[4] St-Jean, E., Julien, P. A., & Audet, J. (2008). Factors associated with growth changes in " gazelles". *Journal of Enterprising Culture*, 16(02), 161-188.  
[5] Boutillier, S. (2006). L'entreprise artisanale, entre l'entrepreneur et la grande entreprise. *Marché et organisations*, 1, 17-37. <https://doi.org/10.3917/maorg.001.0017>  
[6] Fayolle, A. & Legrain, T. (2006). Orientation entrepreneuriale et grande entreprise : Le cas EDF. *La Revue des Sciences de Gestion*, 219,  
[7] Léger-Jarniou. (2009). Voyage au pays des PME en croissance : une affaire de mentalité ? halshs-00537597, HAL  
[8] Greiner, Larry E. (1998). « Evolution and revolution as organizations grow ». *Harvard Business Review*, vol. 76, no 3, p. 55-64.  
[9] Hervault, M., Godefroy, J. (2021). Capital culturel ou capital cognitif ? Une analyse interdisciplinaire de la reproduction scolaire des inégalités sociales », *Revue européenne des sciences sociales*, vol.59-1, n°1, p.199-230.  
[10] Bourdieu, P. (1994). *Raisons pratiques : sur la théorie de l'action*, Paris, Seuil  
[11] Godelier, É. (2009). La culture d'entreprise. *Revue française de gestion*, (2), 95-111.  
[12] Razafindrazaka, T., Julien, P-A. (2017). Le rôle du capital social dans la modernisation d'un écosystème entrepreneurial traditionnel : le cas de la région de  
[13] Bourdieu, P. (2015), *Sociologie générale, volume I. Cours au Collège de France (1981-1983)*, Paris, *Raisons d'agir / Seuil*.  
[14] Bourdieu, P. et A. Darbel (1969), *l'amour de l'art. Les musées d'art européens et leur public*, Paris, *Minuit*.  
[15] Glevarec, H. (2018). Du « capital culturel » au savoir : critique des usages substantiels et cognitifs d'un rapport social arbitraire. *Sociologie et sociétés*, vol.50, n°1, p.205-234.  
[16] Baatouche, N. (2021). Sens de la formation et capital culturel : comprendre et prévenir le risque de perte de sens chez l'adulte apprenant. *L'orientation scolaire et professionnelle*, vol.50/2, p.337-345.  
[17] Dokou, G., Vernier, É., Dang, R., Houanti, L. & Scotto, M. (2021). Influence des facteurs culturels sur le développement des potentialités entrepreneuriales : Le cas comparé d'entrepreneurs français, marocains et djiboutiens ayant vécu en France. *Gestion 2000*, 38, 41-71.  
[18] Mbengue, A., & Vandangeon-Derumez, I. (1999, May). Positions épistémologiques et outils de recherche en management stratégique. *In communication à la conférence de l'AIMS* (p. 22).  
[19] Mhenna, R., Jamal, Y. (2020). Le cadre épistémologique : pierre angulaire de toute recherche en science de gestion. *Revue Economie, Gestion et Société*, 1(25).  
[20] Avenier, M. J. (2011). Les paradigmes épistémologiques constructivistes : post-modernisme ou pragmatisme ? *Management Avenir*, (3), 372-391.  
[21] Miles, Matthew B.; Huberman, Michael A. (2003). Analyse des données qualitatives. Traduction de la 2ème édition américaine par M. Hlady Rispal, 5ème tirage, Editions *De Boeck*, 626 p.  
[22] Yin, R. K. (2009). Case study research: Design and methods (Vol. 5). *Sage*  
[23] Oliver D et Roos J. (2006). « Créativité et identité organisationnelle ». *Revue française de gestion*. (2). P139-153

1 : Nos verbatims

---

## Comment mieux assumer les responsabilités sociales et environnementales des entreprises : le cas des Coopératives Multi-Sociétaires

---

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

Benjamin DUBRION<sup>2</sup>

Francesca PETRELLA<sup>3</sup>

[jean-yves.juban@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:jean-yves.juban@univ-grenoble-alpes.fr)

[benjamin.dubrion@sciencespo-lyon.fr](mailto:benjamin.dubrion@sciencespo-lyon.fr)

[francesca.petrella@univ-amu.fr](mailto:francesca.petrella@univ-amu.fr)

<sup>1</sup> IUT Valence, Université Grenoble Alpes, CERAG EA 7521

<sup>2</sup> Sciences Po Lyon, Triangle CNRS UMR 5206

<sup>3</sup> Aix Marseille Univ, LEST CNRS UMR 7317

**Thèmes :** Économie - Gestion - Droit

**Résumé :** Notre article étudie le fonctionnement de quatre Sociétés Coopératives d'Intérêt Collectif (SCIC) au regard de leurs engagements en matière de responsabilité sociétale. Il est issu d'une recherche financée par l'Agence Nationale de la Recherche qui portait sur dix sociétés coopératives, dont les quatre SCIC qui sont présentées ici. Nous analysons dans quelle mesure les Coopératives Multisociétaires (CMS) parviennent à réguler les comportements de leurs membres autour d'un projet commun et à visée sociétale. Les membres des CMS, associés au capital, sont variés et leurs intérêts ne convergent pas naturellement. Nous étudions les dispositifs, statutaires, non-statutaires et informels mis en place au service de l'intérêt collectif.

**Mots-Clés :** Responsabilité sociétale des entreprises - Sociétés coopératives multi-sociétaires - Intérêt collectif - Règles et dispositifs de fonctionnement

## 1 Introduction

A l'échelle internationale, les trois dernières décennies sont marquées par un renouveau coopératif. Celui-ci est porté par le développement, dans de nombreux pays, de formes d'entreprises sociales multisociétaires, les coopératives multisociétaires (CMS). En France, ce mouvement s'est traduit en 2001 par la création d'un statut coopératif basé sur le multisociétariat, la Société Coopérative d'Intérêt Collectif (SCIC). Notre article s'intéresse aux organisations relevant de ce statut.

La recherche d'équilibre entre des associés aux attentes diverses selon leur catégorie est une question centrale traversant les CMS. Si l'objet du multisociétariat est de faire coopérer autour d'un objectif commun non exclusivement économique des groupes d'individus aux profils et intérêts souvent très différents, la mobilisation d'acteurs de catégories diverses peut en même temps s'avérer être le « talon d'Achille » des CMS [1].

Cette question est au cœur de notre article dont l'objectif est d'analyser dans quelle mesure les CMS parviennent à réguler autour d'un projet commun les comportements d'une pluralité d'acteurs aux intérêts propres. Comment encadrer les actions de membres des CMS et les canaliser autour du projet commun ? Quels dispositifs sont mis en place pour coordonner les actions des individus ?

L'article est composé de trois parties. La première partie, de nature théorique, sera consacrée à l'approche de Barnard [2], qui nous semble pertinente pour analyser l'intérêt collectif (*common purpose*). La deuxième partie exposera la méthodologie appliquée à l'étude des 4 SCIC. La troisième partie exposera les résultats de notre analyse et la discussion que nous proposons.

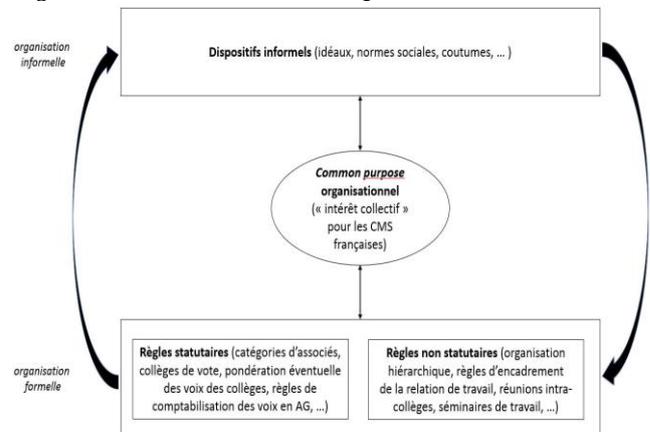
## 2 Le cadre théorique de C. Barnard

La coopération d'une pluralité d'individus autour d'un projet commun est la question centrale traitée par Barnard dans *The Functions of the Executive*. Barnard y définit l'organisation comme un « système consciemment coordonné d'activités ou de forces de deux personnes ou plus », système prenant justement corps autour de ce qu'il appelle le *common purpose* organisationnel. Ce concept prend un sens aigu dans le cas des CMS et fait écho à l'intérêt collectif au service duquel ces organisations sont censées agir.

Le *common purpose* est pour Barnard l'« objectif de la coopération ». Il désigne la finalité à partir de laquelle prennent sens les actions des membres de l'organisation. Pour l'auteur, la question essentielle qui traverse toute organisation est celle de la manière dont des individus aux motifs spécifiques et personnels de participation à une organisation vont être amenés à plus ou moins bien agir dans le sens du *common purpose*, étant supposé que la concordance entre les attentes de l'organisation et celles des individus ne se réalise qu'exceptionnellement. Cela explique pourquoi selon lui les organisations sont fondamentalement marquées par l'instabilité voire l'échec. En effet, le *common purpose* n'est jamais aisé à définir pour les membres de l'organisation car il est difficilement identifiable de manière précise et complète. Pour reprendre les termes de Barnard, le *common purpose*

« est peu souvent formulé en mots et parfois ne peut l'être ». Aussi n'est-il jamais figé une fois pour toute et chaque membre de l'organisation peut en avoir une représentation personnelle. Par ailleurs, il ne peut se saisir sans lien avec ce que Barnard nomme l'organisation formelle et l'organisation informelle.

Figure 1 : Le cadre de Barnard pour de l'étude des CMS



## 3 La méthodologie de notre étude

Les 4 CMS étudiées sont les 4 SCIC de l'échantillon de coopératives que nous avons étudiées dans le cadre d'une recherche financée par l'ANR et portant sur les impacts de la coopération sur les relations des coopératives avec leurs partenaires dans leurs zones d'implantation. Nous présentons les 4 SCIC dans l'encadré ci-dessous.

### Encadré 1 : Présentation des CMS

Les 4 CMS étudiées sont des SCIC, toutes créées sur la base d'associations. Elles sont devenues des SCIC entre 2007 et 2016, nous les avons étudiées en 2017 et 2018.

**CMS-alim** accompagne des entrepreneurs à la tête d'activités en aval de la filière alimentaire bio et circuits courts (épiceries, boulangeries...). Au moment de notre étude, CMS-alim avait 10 salariés en ETP. Cette SCIC a la particularité d'être une coopérative dont une partie des membres est organisée en Coopérative d'Activité et d'Emploi (CAE).

**CMS-bio** est spécialisée dans la production de pain bio par des personnes en insertion et a pour objectif la construction d'une filière territorialisée : de la céréale au pain en passant par l'activité de minoterie. C'est une petite structure de 4,5 salariés ETP.

**CMS-culture** est la SCIC de notre échantillon la plus ancienne et qui emploie le plus grand nombre de salariés (60 ETP). Elle héberge des activités de production et de diffusion artistique et culturelle. Il s'agit d'un des premiers Tiers-lieux créé en France.

**CMS-art** est dédiée aux apprentissages des arts du cirque. Elle développe diverses activités circassiennes et est un Centre régional des Arts du cirque. Elle employait 9.5 salariés ETP en 2017. Elle propose des formations pour une pratique amateur, des activités scolaires, un lieu de résidence, elle abrite aussi des événements liés au

cirque.

Cette recherche est fondée prioritairement sur des observations de terrain. La majeure partie des données issues des études de cas résulte d'entretiens semi-directifs menés avec des membres des différentes catégories d'associés des CMS analysées ainsi que des partenaires externes. Notre guide d'entretien était bâti en trois parties : la gouvernance de l'entreprise ; le management et la GRH ; les relations avec les partenaires externes. Nous avons interrogé nos interlocuteurs sur les domaines d'action dans lesquels la coopération était mise en œuvre, sur les ressources mobilisées au service de la coopération et sur des expériences concrètes de mise en œuvre de la coopération. Tous les entretiens ont été enregistrés et retranscrits. Au total, pour les 4 SCIC, 39 entretiens ont été menés, ce qui représente près de 34 heures d'enregistrement, retranscrits en 621 pages. Dans une perspective d'enrichissement des données, nous avons consulté les bilans et comptes de résultat des entreprises, leurs statuts, des comptes-rendus d'AG, des articles de presse et les sites internet des SCIC étudiées.

L'approche qualitative est adaptée à l'objectif de notre article, qui est de comprendre l'effet des règles structurant les comportements et décisions des membres des CMS. Nous cherchons à faire émerger du sens à partir de matériaux bruts [3]. Au final, du point de vue méthodologique, l'étude exposée ici repose sur un travail de construction de sens et de connaissances élaboré collectivement.

#### 4 Résultats et discussion

Les 4 CMS étudiées dans cet article étaient à l'origine des associations portant des valeurs et idéaux que l'on peut qualifier de fondateurs des CMS qu'elles sont devenues. Ces éléments sont essentiels en matière de mobilisation des individus autour du *common purpose*.

Au-delà des propos des personnes interrogées, le *common purpose* peut être saisi à partir de l'analyse des statuts des coopératives étudiées, même s'il ne peut jamais être complètement formalisé selon Barnard. Dans le cas des CMS françaises, les préambules des statuts décrivent très souvent des éléments au fondement du *common purpose* et rendant compte de ce qui rassemble les sociétaires au-delà-même des activités constitutives de leur objet social. La diversité dans le multisociétariat et l'organisation des collègues d'associés conditionne l'exercice démocratique lorsqu'il s'agit de prendre des décisions en AG puisque dans toutes les SCIC étudiées, par le système de pondération des voix des collègues retenu, certaines catégories de membres ont, de fait, statutairement plus de pouvoir que d'autres.

Parmi les 4 organisations étudiées, deux modes de fonctionnement-type opposés sont identifiables dans la manière dont les règles non statutaires s'articulent avec les collègues. Dans le premier, les SCIC ont instauré des instances réunissant régulièrement les membres d'un même collège indépendamment de la tenue d'un Conseil d'Administration ou d'une Assemblée Générale, là où dans le second, au contraire, on refuse de le faire, par crainte d'accentuer les oppositions d'intérêts et conflits

entre groupes.

Les valeurs de solidarité, l'engagement volontaire mais aussi l'existence d'une dynamique collective portée par la croyance en certains idéaux repérés doit beaucoup au fait que les SCIC étudiées ont toutes des origines associatives. Ces valeurs et idéaux participent à la construction du *common purpose*. Il apparaît que l'ajustement de l'organisation formelle et informelle au *common purpose*, lui-même jamais totalement figé, est une condition essentielle au maintien dans le temps de l'organisation. En cela et pour reprendre les termes de Barnard, le *common purpose* est « le pont entre le passé et le présent ».

Notre travail fait ressortir un élément intrigant quant aux travailleurs : leur place au sein des SCIC étudiées paraît souvent minorée. En effet, dans 3 des 4 SCIC analysées à la lumière du cadre de Barnard, la place des travailleurs reste modeste. Nous proposons enfin un lien entre CMS et entreprises à missions au sens où la loi PACTE (Plan d'Action pour la Croissance et la Transformation des Entreprises) de 2019 permet d'ajouter une mission sociale ou environnementale aux statuts d'une entreprise. Les CMS sont statutairement des entreprises qui, à l'instar des *benefit corporations* aux États-Unis, ont des missions sociales et/ou environnementales.

#### 5 Conclusion

Au-delà de ces apports, notre travail est porteur de certaines limites. D'une part notre échantillon de SCIC n'est évidemment pas représentatif du millier de SCIC françaises. Les structures que nous avons étudiées sont plutôt jeunes, appartiennent à des secteurs particuliers, ont toutes des sources associatives et chacune leur histoire propre. D'autre part, saisir le fonctionnement des organisations sous leur dimension informelle n'est pas forcément évident. Les dispositifs informels de coordination repérés dans nos 4 terrains sont issus de l'étude de documents et de propos recueillis à un moment donné de l'histoire de chaque SCIC. Une démarche ethnologique, plus participative et de long terme que celle menée ici pourrait constituer un prolongement de notre travail. Une telle approche reposant sur une méthodologie différente que celle que nous avons adoptée pourrait permettre non seulement de saisir autrement la dimension informelle du fonctionnement des CMS étudiées mais également de comprendre plus amplement la dynamique sous-jacente à l'évolution dans le temps du *common purpose*.

#### Références

- [1] Margado, A. (2005). « La SCIC, une coopérative encore en devenir », *RECMA*, n° 295, p. 38-49.
- [2] Barnard, C. (1968). *The Functions of the Executive*, 30<sup>th</sup> Anniversary Edition, Cambridge: Harvard University Press.
- [3] Strauss, A. ; Corbin, J. (1990). *Basics of qualitative research: grounded theory procedures and techniques*, Londres: Sage.

---

## Déterminants de l'intention de développement du micro-entrepreneur : cas du micro-entrepreneur en Région Hauts-de-France

---

Gérard Kokou DOKOU<sup>1</sup> Amen ABIASSI<sup>2</sup> Charlotte Kayi GBADDOE<sup>3</sup>

gerard.dokou-kokou@univ-littoral.fr amenabiassi@yahoo.fr kakagbadoe@gmail.com

<sup>1</sup> MCF-HDR., IUT LCO, Université de la Côte d'Opale, LEM (UMR 9221)

<sup>2</sup> MCF, ISCID-CO, Université de la Côte d'Opale.

<sup>3</sup> Doctorante, Université de la Côte d'Opale, LEM (UMR, 9221)

**Thématique** – Gestion – Management – Entrepreneuriat - Economie

**Résumé** – *L'objectif fondamental de notre recherche est de mettre en évidence les principaux déterminants de l'intention des micro-entrepreneurs enclins au développement de leur affaire. Pour ce faire, nous avons conduit une enquête par questionnaire auprès de 736 (63% de femmes et 37% d'hommes) micro-entrepreneurs accompagnés en région des Hauts-de-France, soit 15% de la population ciblée. Les tests des hypothèses (ANOVA et test de khi2) confirment 6 types de déterminants de l'intention du micro-entrepreneur de passer en entreprise classique et de développer son affaire avec la possibilité de création d'emploi. Il s'agit de : réseau d'affaires, caractéristiques personnelles, motivations, apports de l'accompagnement en compétences transversales, succès de carrière, peur de l'échec ou capacité personnelle. Ces déterminants constituent de précieux leviers d'action en matière d'accompagnement et de politique publique de développement de l'entrepreneuriat endogène.*

**Mots-Clés** – micro-entrepreneur, entrepreneur ambitieux, motivations et compétences entrepreneuriales, accompagnement.

## 1 Intérêt et objectif de la recherche

Le micro-entrepreneur est un entrepreneur individuel qui relève du régime fiscal de la microentreprise<sup>1</sup>. Pour nous, le micro-entrepreneur est considéré comme un « *innov-acteur* », créateur d'emplois, générateur de la compétitivité de la nation, elle-même génératrice de richesses (Schumpeter [1], 1942). Par ailleurs, le décryptage de sa démarche s'inscrit pleinement dans les quatre paradigmes de l'entrepreneuriat : l'émergence organisationnelle, l'opportunité, l'innovation et la création de valeur. En effet, il existe une dynamique combinée de ce type de créateur et le projet qu'il met en œuvre. Au même titre que l'entrepreneur classique, le micro-entrepreneur crée ou capte de la valeur. Nous postulons que certains micro-entrepreneurs, forts de leurs premières réussites, forment l'intention de développer leurs affaires et passer au statut de l'entrepreneur classique. A notre connaissance, les actions de ce groupe de micro-entrepreneurs ne sont pas encore décryptées dans la littérature académique et opérationnelle. Un tel vide fonde l'enjeu de notre recherche dont l'objectif fondamental est de mettre en évidence les déterminants de l'intention du micro-entrepreneur développeur. L'ambition de ce dernier peut être orchestrée par plusieurs facteurs prégnants : les caractéristiques et les motivations personnelles, les ressources mobilisables auprès des réseaux d'affaires et d'aides diverses, les satisfactions perçues de l'accompagnement, les représentations relatives au succès de carrière entrepreneuriale et à la peur de l'échec. Cette thèse est déclinée en hypothèses opérationnelles. Les résultats issus des tests de ces hypothèses orientent les pistes d'action à destination des micro-entrepreneurs potentiellement ambitieux et désireux de passer en entreprise classique et d'embaucher. Ces mêmes résultats sont destinés à guider l'action des organismes d'accompagnement ainsi que la politique publique de développement de l'entrepreneuriat endogène.

Auparavant, nous tentons d'extraire le fondement théorique de notre recherche. Ce fondement a permis de faire le point sur les composantes et les déterminants des motivations, des besoins et des compétences du micro-entrepreneur développeur accompagné. De tels composantes et déterminants sous-tendent le questionnaire de 70 questions (mis en ligne entre mi-octobre et mi-décembre 2021) adressé aux micro-entrepreneurs accompagnés en région Hauts-de-France. Sur la base des données régionales, nous avons recensé 4994 micro-entrepreneurs post-créateurs avec 2253

<sup>1</sup> Depuis le 1er janvier 2018, les seuils de chiffre d'affaires permettant l'accès au régime fiscal de la microentreprise et du régime microsocial ont été doublés. Ils s'appliquent désormais aux entreprises dont le chiffre d'affaires de l'année civile précédente ou de l'avant-dernière année n'excède pas :

- 170 000 euros pour une activité de vente de marchandises, d'objets, d'aliments à emporter ou à consommer sur place, ou de fourniture de logement ;

- 70 000 euros pour une activité de services.

hommes (45,11%) et 2740 femmes (54,87%). A l'arrivée, nous avons obtenu 736 questionnaires exploitables, soit 15% de la population ciblée. Les répondants effectifs sont composés de 467 femmes (63,5%) et 269 hommes (36,5%). Aussi, les deux sections qui structurent notre contribution exposent-elles respectivement les fondements théoriques de notre recherche et les principaux résultats discutés autour des leviers d'action qui s'y dégagent.

## 2 Fondement théorique des déterminants de l'intention du micro-entrepreneur développeur : motivations et compétences

La lecture conceptuelle de notre recherche conduit à questionner les trois volets clés des fondements théoriques et pratiques de l'entrepreneuriat. Le premier volet relève de la littérature économique insistant sur la fonction clé de l'entrepreneur : la création et le développement de l'activité économique. Le second volet concerne les travaux des psychologues et des sociologues très attachés aux traits de personnalité, aux caractéristiques et au profil type de l'entrepreneur au regard du contexte d'appartenance. Parmi les caractéristiques les plus citées, on note : le besoin élevé d'accomplissement, d'autonomie ou d'indépendance, de pouvoir ou du leadership, de sens ou d'éthique, d'équilibre vie professionnelle et vie privée, la forte confiance en soi, la capacité à appréhender et à gérer les risques ainsi que la sensibilité au retour rapide des résultats des actions menées. De telles caractéristiques évoquent également les motivations entrepreneuriales au sens de la traduction des liens entre l'activation de l'énergie interne et son orientation vers la création d'entreprise et le résultat de déterminants personnels et environnementaux plus ou moins conscients. Le troisième axe résulte des contributions des gestionnaires. Ceux-ci vont prendre fait et cause aux actions de l'entrepreneur résultant d'un ensemble de variables en interaction. Les principales facettes de ce processus sont : 1) les qualités et les valeurs personnelles de l'entrepreneur ; 2) l'anticipation du futur, la reconnaissance et la découverte des opportunités ; 3) l'utilisation des outils managériaux techniques et non techniques ; 4) les changements d'orientations stratégiques requises par les besoins d'adaptation. Ces différentes facettes structurent les différents domaines de compétences entrepreneuriales que nous retenons. Il s'agit de compétences conceptuelle, relationnelle, stratégique, de leadership ou d'organisation, d'engagement et de reconnaissance (Namrata et Niladri [2], 2016 ; Baluku et al., 2018 [3]). Ces mêmes facettes sont prises en compte lors de l'accompagnement entrepreneurial qui s'effectue à travers les composantes du métier d'entrepreneur.

## 3 Principaux déterminants opérationnels du micro-entrepreneur développeur

Les principaux résultats de l'enquête quantitative retenus sont issus des tests ANOVA et khi<sup>2</sup> au seuil de 5%. Ces tests mettent en évidence 6 types de déterminants

de l'intention du micro-entrepreneur enclin au développement de son affaire avec la possibilité de création d'emploi. Il s'agit de :

- Réseau d'affaires : collègues, fournisseurs et aides publiques ;
- Caractéristiques personnelles : genre (femmes), âge (50 ans et plus), niveau d'études (minimum Bac) ;
- Motivations : indépendance/autonomie, équilibre vie familiale/vie professionnelle, création activité/nouvelle et innovante, amélioration de la rémunération, pression familiale/entourage ;
- Apports de l'accompagnement en termes de compétences transversales (créativité, flexibilité, capacité de communication, réseautage, résolution de problème, esprit critique, capacité d'adaptation) ;
- Succès de carrière : perspective de pérennité, progression du chiffre d'affaires ;
- Peur de l'échec et capacité personnelle : adaptation produit/service au marché (crédibilité et compétences d'entrepreneur), conséquences financières de la faillite sur la famille.

Les micro-entrepreneuses de 50 ans et plus apparaissent plus déterminées à développer leur affaire. Elles ont un niveau Bac et représentent environ 15% de la population enquêtée. Elles semblent afficher quatre motivations clés : indépendance, équilibre vie personnelle et vie professionnelle, création d'une activité nouvelle/innovante et amélioration du revenu. On observe que les femmes prennent plus le temps à valider toutes leurs options avant d'agir et que certaines d'entre elles attendent de fonder leur famille avant de se lancer en affaires. De plus, il est possible que les femmes diplômées préfèrent occuper des postes décisionnels sur le marché du travail. Celles qui sont moins scolarisées verraient dans l'entrepreneuriat un tremplin pour améliorer leurs conditions de vie, gagner en autonomie, bâtir leur capital financier, se valoriser dans la société et obtenir un certain pouvoir ou encore propulser leur cheminement de carrière. Malgré tout, elles semblent afficher quelques difficultés. Il s'agit de : Atteinte des objectifs et génération de revenu financier, Collaboration entre entrepreneurs et Adaptation de l'offre au marché. Leurs besoins en accompagnement concernent : Compétences transversales et managériales, Développement des capacités personnelles pour gérer efficacement l'entreprise ou lancer de nouveaux produits et Développement de la crédibilité auprès de clients réels ou potentiels voire des proches. Aussi, elles éprouvent l'obligation de se mettre à jour et d'exploiter toutes les compétences et ressources accessibles à l'instar de tout entrepreneur ambitieux.

#### 4 Conclusions

Au total, notre recherche a mis en évidence l'existence

de micro-entrepreneurs enclins au développement de leur affaire. Certains auraient besoin des conseils de mentors en plus de l'intervention de leur coach. D'autres qui ont perdu leur enthousiasme du départ pourraient nécessiter une « thérapie » de re-motivation. Bref, le micro-entrepreneur ambitieux souhaite davantage être accompagné. Deux types de leviers d'action sont mobilisables. Le premier concerne la prise en compte des caractéristiques psychosociologiques au-delà des aspects motivationnels. La personnalité et les motivations entrepreneuriales sont incontournables. Le milieu dans lequel se situe l'entrepreneur exerce une influence sur le processus qu'il emprunte afin de mettre son organisation sur orbite. En effet, outre les précédents facteurs de motivation évoqués, se greffent d'autres influences tels que la proximité avec des parents, notamment entrepreneurs, l'accès à l'information sur l'entrepreneuriat, la réceptivité de la société envers l'entrepreneuriat, la capacité à accéder et à mobiliser les ressources de tous genres, notamment le capital financier, la disponibilité du personnel compétent ainsi que l'accessibilité à une clientèle solvable et rentable. Le second levier est relatif aux connaissances et aux compétences entrepreneuriales. Dans la tradition de Fayol [4] (1916), le métier d'entrepreneur comporte les actions clés suivantes : Prévision / Planification (objectifs, plans), Manœuvres stratégiques, Organisation (structuration, délégation), Conduite et Motivation des collaborateurs (recrutement, motivations, résolution des conflits), Contrôle (budgets, tableaux de bord, évaluations). A ces fonctions s'ajoutent des rôles qui concernent la garantie de pérennité de l'entreprise, la production, l'interaction entreprise environnement (y compris l'écosystème entrepreneurial), la construction de la réalité et sa diffusion, la contribution à la création et à la promotion de valeurs communes. Dit autrement, le métier d'entrepreneur relève d'une alchimie des compétences et de potentialités consignées dans le modèle MACES<sup>2</sup>. Les composantes de ce modèle sont différemment sollicitées en fonction des stades de développement de l'entreprise. Ces mêmes composantes tiennent compte aussi du profil de l'entrepreneur, notamment, l'artisan ou le PIC (Pérennité, Indépendance et Croissance), l'opportuniste ou le CAP (Croissance, Autonomie et Pérennité).

#### Références bibliographiques

- [1] Schumpeter - *Socialism and democracy*, New York, 1942
- [2] Chatterjee Namrata, Das Niladri, *A study on the impact of key entrepreneurial skills on business success of Indian micro-entrepreneurs: A case of Jharkhand region*. Global Business Review, 17(1), 2016, p. 226 - 237
- [3] Baluku M. M., Kikooma J. F., Bantu E., Otto, K. *Psychological capital and entrepreneurial outcomes: the moderating role of social competences of owners of micro-enterprises in East Africa*, Journal of Global Entrepreneurship Research, 8(1), 2018, p.1-23
- [4] Fayol H. (1916), *Administration industrielle et générale*, Bulletin de la société de l'industrie minière, p. 5- 162

<sup>2</sup> MACES : Motivations, Aptitudes, Compétences Entrepreneuriales et Stratégiques

---

# L'évolution des performances scolaires en France depuis 1970 : un déclin inéluctable ?

---

Nadir Altinok<sup>1</sup>

nadir.altinok@univ-lorraine.fr

<sup>1</sup> IUT de Metz, Université de Lorraine  
BETA (Bureau d'Economie Théorique et Appliquée)/CNRS

**Thèmes** – Économie - SHS

**Résumé** – *En utilisant les enquêtes internationales sur les acquis des élèves (telles que l'enquête PISA), notre travail propose d'analyser l'évolution des compétences scolaires en France entre 1970 et 2020, dans une optique de comparaison internationale. Nous créons une base de données internationales qui permet d'obtenir des scores comparables dans le temps et entre les pays sur une période de 50 ans pour trois domaines de compétences (mathématiques, sciences et littérature). Les compétences en mathématiques diminuent de façon significative en France depuis environ une vingtaine d'années, contrairement à d'autres pays tels que les Etats-Unis ou le Japon. L'expansion scolaire ne peut expliquer à elle seule cette évolution à la baisse, d'autant plus que les tests sont effectués en 4<sup>ème</sup> année du primaire ou à la fin du collège. Au-delà de la baisse du niveau en mathématiques, notre étude souligne le caractère très inégal du système éducatif français, sur la dimension cognitive. En effectuant un classement de la France parmi les 40 pays les plus performants du monde, on constate que la position de la France passe de la 29<sup>ème</sup> place à la 38<sup>ème</sup> entre 1970 et 2020.*

**Mots-Clés** – *Compétences scolaires, comparaison internationale, PISA.*

## 1 Introduction

Depuis quelques années, le niveau en mathématiques est souvent critiqué et les polémiques actuelles avec la réforme du Baccalauréat soulignent la volonté de renforcer les compétences en mathématiques des élèves. Or, nous savons peu de choses sur l'évolution réelle des compétences scolaires des Français depuis plusieurs décennies.

Les seules données vraiment véhiculées renvoient aux résultats de la DEPP sur le niveau des élèves au primaire et au collège. De façon épisodique, les résultats des enquêtes internationales, telles que PISA, sont mises en avant. Mais le tout s'effectue de façon désordonnée et non cohérente. L'objectif de notre projet de recherche est d'avoir des données comparables sur les compétences des élèves sur le long terme.

En utilisant les résultats issus d'enquêtes effectuées depuis la fin des années 1960, il reste possible de se demander comment ont évolué les compétences dans les domaines fondamentaux que sont les mathématiques, la lecture ou les sciences.

Les enquêtes n'ont pas été construites pour être comparables entre elles. Cependant, en utilisant des méthodes d'ancrage, il reste possible d'ajuster les scores afin d'obtenir des données comparables (Hanushek et Kimko [1]). C'est avec l'aide de méthodes issues de la psychométrie que nous parvenons à obtenir une base de données internationale sur les acquis des élèves pour plus de 160 pays entre 1970 et 2020 (Koelen et Brennan [2]).

## 2 Données et méthodologie

Les niveaux cognitifs des élèves peuvent être mesurés à travers les résultats aux enquêtes internationales sur les acquis des élèves. Ces enquêtes ont mis en place des procédures spécifiques afin de mesurer les niveaux de compétence en mathématiques, sciences et lecture, en administrant à plusieurs milliers d'élèves par pays des questionnaires à la fois adaptés aux contextes locaux et permettant une comparaison internationale (standardisation internationale des tests).

Pour autant, la question de la comparabilité des résultats entre les enquêtes peut être posée, étant donné que les enquêtes ont été effectuées avec des méthodologies différentes et dans des niveaux de difficultés variées. Afin de garantir la comparabilité entre les enquêtes, nous avons mis en place une procédure spécifique.

### 2.1 Données

Nous avons utilisé les résultats les plus récents issus de 6 enquêtes internationales différentes (IEA, PISA, SACMEQ, PASEC, LLECE et EGRA).

La première mesure des acquis au niveau individuel et

permettant une comparabilité internationale a été initiée au début des années soixante par l'Association Internationale pour l'Évaluation du Rendement scolaire (IEA). L'IEA a réalisé plusieurs enquêtes pluriannuelles. Plus récemment, l'enquête "Trends in International Mathematics and Science Study" (TIMSS) a été lancée en 1995, puis prolongée tous les quatre ans (1999, 2003, 2007, 2011, 2015, 2019). Dans le domaine de la lecture, nous avons utilisé les résultats issus de l'enquête "Progress in International Reading Lecture Study" (PIRLS) qui a été effectuée pour les élèves de grade 4 (9 et 10 ans) en 2001, 2006, 2011, 2016 et 2021.

L'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) a débuté en 1998 un projet dans le domaine éducatif en lançant un programme cyclique sur la lecture, les mathématiques et les sciences, connu sous le nom de Programme international pour le suivi des acquis des élèves (PISA, "Programme for International Student Assessment"). Le rapport du Programme international de l'OCDE pour le suivi des acquis des élèves (OCDE/PISA) présente des données comparables sur la mesure dans laquelle les élèves de 15 ans sont à même d'appliquer à des situations concrètes ce qu'ils ont appris à l'école. Le premier test de 2000 a été centré sur la maîtrise de la lecture dans 43 pays. D'autres cycles ont été effectués avec un intervalle de trois ans (2003, 2006, 2009, 2012, 2015, 2018).

D'autres enquêtes régionales ont également été utilisées afin d'avoir des données comparables pour un nombre de pays plus important. Les évaluations réalisées par le Laboratoire latino-américain pour l'évaluation de la qualité scolaire (LLECE) se sont intéressées aux acquisitions en lecture et mathématiques aux grades 3 et 6 dans 16 pays du sous-continent (1997, 2006, 2013 et 2019). Les enquêtes issues du "Programme d'Analyse des Systèmes Educatifs" (PASEC) de la Conférence des ministres de l'éducation ayant le français en partage (CONFEMEN) concernent les pays francophones d'Afrique subsaharienne. Quatre vagues ont été finalisées jusqu'à aujourd'hui (1995, 2005, 2014 et 2019). Les enquêtes issues du Consortium de l'Afrique australe et orientale pour le pilotage de la qualité de l'éducation (SACMEQ) concernent les pays anglophones d'Afrique subsaharienne. Trois vagues ont eu lieu : 1995, 2000 et 2007. Enfin, l'enquête EGRA (Early Grade Reading Achievement study) mesure le niveau de lecture minimum dans les premières années de l'école primaire sur un échantillon de plus de 50 pays.

### 2.2 Méthodologie

Étant donné la présence de six groupes d'enquêtes internationales d'analyse des compétences des élèves, notre étude a tenté de regrouper ces enquêtes sur des échelles communes, ceci afin de permettre une

comparaison internationale des compétences des élèves entre les pays. Après constat, il ressort une assez grande cohérence entre les résultats de mêmes pays ayant participé à des enquêtes différentes.

Plus précisément, nous tentons de prendre en compte les pays qui participent à plusieurs enquêtes simultanément et par le biais de leurs résultats, nous procédons à un ancrage des enquêtes les unes avec les autres. Cette approche permet, dans une certaine mesure, de faire réellement fi des différences qui peuvent exister entre les enquêtes, en dehors des résultats aux tests. Cette condition d'équivalence entre les enquêtes est ici postulée, mais pas toujours vérifiée : ainsi, nous supposons dans notre ajustement que le système éducatif d'un pays ayant participé à deux enquêtes est identique et que donc nous pouvons comparer les compétences mesurées. Ceci est critiquable dans la mesure où l'âge des élèves, le niveau d'études considéré, les procédures d'analyse des compétences, ou encore la date de l'établissement des enquêtes peuvent varier entre les différentes enquêtes. Ainsi, notre procédure possède de nombreux biais, mais nous pouvons supposer qu'un système éducatif performant devrait, en toute hypothèse, conduire à des résultats assez similaires quelle que soit l'enquête.

### 3 Résultats

Nous obtenons une base de données internationales sur la qualité de l'éducation pour 160 pays entre 1970 et 2020 (avec 5 années d'intervalle) pour trois domaines de compétences (mathématiques, sciences et littérature) et deux niveaux scolaires (primaire et secondaire).

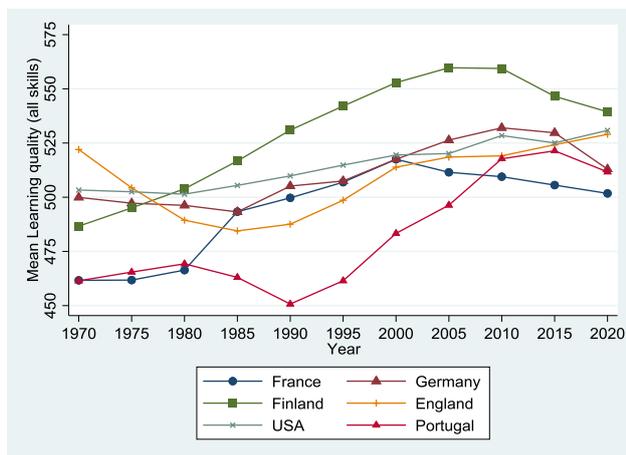


Figure 1 –Qualité de l'éducation, sélection de pays

Les résultats pour la France sont assez contrastés. Comme nous pouvons le voir dans la Figure 1, le score général, qui agrège tous les niveaux et les domaines de compétences, augmente de 1970 jusqu'en 2000 (de 462 à 517 points), puis baisse continuellement jusqu'en 2020

(de 517 à 502 points). En comparaison, d'autres pays suivent des tendances différentes. Par exemple, la Finlande observe une croissance régulière et très au-dessus de la France jusqu'en 2010. Le score est d'environ 560 points à son maximum, ce qui représente environ 2 années scolaires de plus si l'on suppose qu'une année scolaire augmente les acquis scolaires de 30 points.

La tendance observée dans les pays diffère selon les régions du monde (Figure 2). Si globalement, la qualité de l'éducation augmente dans la plupart des pays, on observe une globale stabilité des différences de performance entre régions. La région Amérique du nord observe les meilleurs scores, tandis que l'Asie du Sud et l'Afrique sub-Saharienne ont les scores les plus faibles.

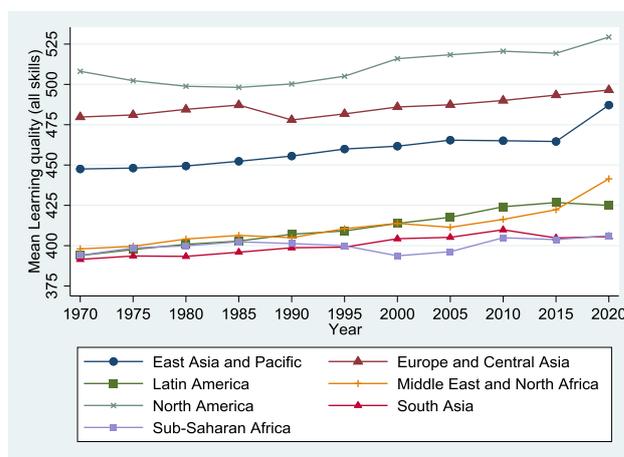


Figure 2 –Qualité de l'éducation, régions du monde

### 4 Conclusions

En utilisant les résultats issus d'enquêtes effectuées depuis la fin des années 1960, nous analysons l'évolution des compétences dans les domaines fondamentaux que sont les mathématiques, la lecture ou les sciences. Les scores de la France sont loin derrière les autres pays de l'OCDE.

La France est classée 38<sup>ème</sup> en 2020 en recul de 19 places par rapport à 1995. Si globalement la qualité de l'éducation progresse partout de 1970, des contrastes importants subsistent entre les régions du monde.

### Références

- [1] HANUSHEK, Eric A. et KIMKO, Dennis D. Schooling, labor-force quality, and the growth of nations. *American economic review*, 2000, vol. 90, no 5, p. 1184-1208.
- [2] KOLEN, Michael J., BRENNAN, Robert L., et KOLEN, Michael J. *Test equating, scaling, and linking: Methods and practices*. New York : Springer, 2004.

---

# La professionnalisation par la création d'entreprise, retour sur Campus des Entrepreneurs

---

Stéphane Foliard<sup>1</sup>

Sandrine Le Pontois<sup>1</sup>

Stephane.foliard@univ-st-etienne.fr sandrine.lepontois@univ-st-etienne.fr

<sup>1</sup> IUT, Roanne  
Laboratoire Coactis

**Thèmes** – *Éducation en entrepreneuriat – apprentissage par la pratique*

**Résumé** – *Cette communication propose un retour d'expérience sur un programme d'éducation en entrepreneuriat développé à l'IUT de Roanne et ayant faisant l'objet d'un programme de recherche depuis 2016. La démarche qualitative inductive suivie nous a permis de comprendre le fonctionnement des équipes entrepreneuriales à trois niveaux : le fonctionnement propre de l'équipe et les stratégies individuelles mises en place, le rôle des coéquipiers dans l'apprentissage vicariant et enfin le rôle de l'équipe dans la capacité à agir dans un écosystème entrepreneurial inconnu. Nos résultats soulignent l'importance des compétences interpersonnelles développées dans de tels programmes et certaines compétences techniques transférables à d'autres projets.*

**Mots-Clés** – *entrepreneuriat étudiant, modèle d'enseignement, compétences entrepreneuriales, écosystème.*

## 1 Introduction

Ancré dans l'écosystème roannais, le programme d'éducation à l'entrepreneuriat « Campus des Entrepreneurs » conduit un groupe d'étudiants volontaires à travailler sur une période de dix mois à la création d'une entreprise réelle. Ce projet tuteuré ouvert à tous les départements de l'IUT est encadré par des enseignants et chercheurs (sciences de gestion, psychologie) et des acteurs professionnels issus de l'écosystème local. Il a pour vocation de développer les compétences et l'état d'esprit entrepreneuriaux de nos étudiants inscrits dans un cursus professionnalisant. Nous proposons ici un retour d'expérience soulignant d'une part l'importance de l'équipe dans le développement des connaissances et compétences individuelles et d'autre part, le rôle des parties prenantes membres de l'écosystème. Nous illustrons également quelles compétences ont été développées.

## 2 Campus des Entrepreneurs

Pour éviter certains errements rencontrés dans des programmes d'éducation en entrepreneuriat trop souvent basés sur la seule pratique, « Campus des Entrepreneurs » a été développé sur les théories, modèles et taxonomies de l'apprentissage expérientiel (APP) liés à la théorie de l'action, propre à l'entrepreneuriat. Le modèle d'enseignement repose sur la pratique réflexive et sur un processus d'apprentissage individuel et collectif itératif. Suivant la logique d'effectuation, l'essentiel des actions se passe en dehors de la classe en environnement d'affaires réel et nécessite donc un degré d'autonomie important (figure 1).

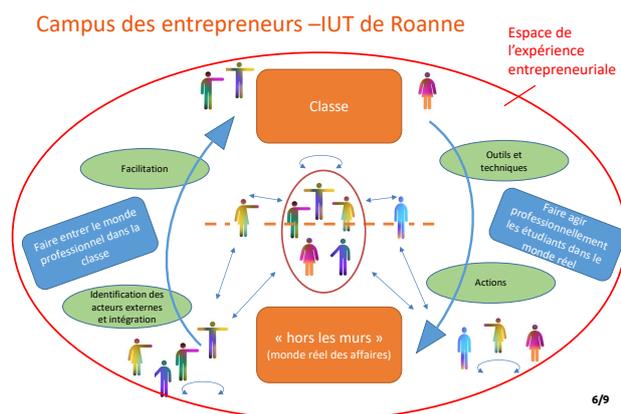


Figure 1 – Un enseignement ouvert sur l'écosystème

Pour soutenir l'autonomie et accompagner les étudiants dans le développement de leur projet entrepreneurial et dans la compréhension des compétences développées, le modèle d'enseignement est basé sur la proposition d'outils

et de connaissances mobilisées dans des ateliers. L'objectif, au-delà du projet, est de développer les apprentissages souhaités et les comprendre.

## 3 Méthodologie

Initié en 2012, le programme est devenu en 2016 un terrain de recherche intervention qui a permis le développement d'artefacts autour des thématiques suivantes : verbalisation des compétences (atelier), gestion des dynamiques individuelles et collectives au cours du projet (contrat d'équipe/atelier de verbalisation « cartes sur table »), recouvrement des compétences entre étudiants (focus groupe) et plus récemment liens entre émotions et événements du projet entrepreneurial. Parce que nous voulions comprendre ce qui se passe dans la classe et dans l'écosystème, les méthodes de recherche choisies sont de nature qualitative avec une majorité d'études de cas multiples.

Pendant ces quatre ans, nous avons collecté des données à partir de 91 entretiens semi-structurés. Le protocole d'entretien est construit autour du processus entrepreneurial suivi par les étudiants et au fonctionnement de l'équipe. Il est également consacré à la perception des contributions des coéquipiers et des intervenants extérieurs sur l'apprentissage individuel. Nous avons utilisé à plusieurs reprises l'auto-confrontation croisée pour aider les étudiants à gagner en objectivité. Le traitement des données a été réalisé sur le logiciel Nvivo en suivant les méthodes et conseils de Gioia, Corley et Hamilton (2013).

## 4 Résultats et discussion

Le retour d'expérience du programme Campus des Entrepreneurs souligne l'importance de l'équipe dans la capacité individuelle à investir l'écosystème et à y développer les apprentissages souhaités. Apprendre à entreprendre en équipe suppose tout d'abord un fonctionnement collectif dans un cadre nouveau potentiellement déroutant. Nous identifions les stratégies individuelles dans les équipes utiles à l'enseignant pour comprendre des situations et aider à les déminer. La gestion des émotions est alors de première importance et l'équipe doit pouvoir proposer un cadre d'apprentissage apaisé sur la durée. Nous montrons également l'importance de l'équipe, de l'accompagnement et des parties prenantes externes dans la capacité des étudiants à oser agir dans ce nouvel environnement et à apprendre de ces actions (figure 2). Pour oser agir dans un environnement inconnu, nous soulignons les apports rassurant de l'équipe mais également l'importance des coéquipiers dans les apprentissages.

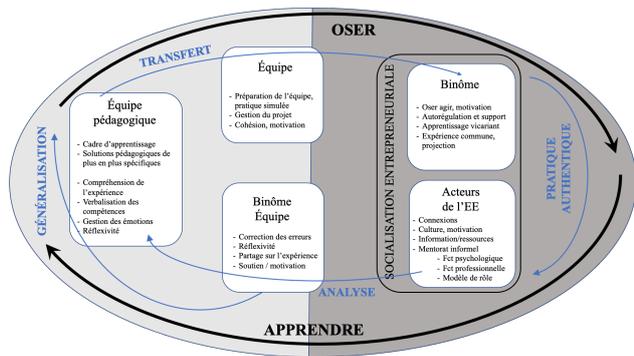


Figure 2 : La dynamique d'action et d'apprentissage

Ces apprentissages se concentrent dans deux grands domaines : les compétences interpersonnelles et les compétences techniques. Souvent considérées comme acquises, ces compétences interpersonnelles sont de première importance et appellent à des activités pédagogiques nouvelles pour préparer les étudiants à aller dans l'inconnu. Les acteurs de l'écosystème jouent un rôle important dans ces apprentissages par la socialisation entrepreneuriale et par les soutiens issus de la relation informelle de mentorat qu'ils développent avec les étudiants. Tout cela n'est possible que si les étudiants perçoivent l'intérêt de ces enseignements et la légitimité de l'enseignant qui les accompagne dans le premier projet entrepreneurial de leur existence.

Les réflexions que nous proposons sont destinés à aider les enseignants à se saisir de l'éducation en entrepreneuriat et à accompagner les étudiants en équipe dans le développement de leur projet. Elles proviennent d'une expérience, d'un programme et nous espérons qu'elles soient le plus généralisable possible.

## Références

- Béchar, J. P., Grégoire, D., Kyrö, P., & Carrier, C. (2005). *Understanding teaching models in entrepreneurship for higher education*. HEC Montréal, Chaire d'entrepreneuriat Rogers-J.-A.-Bombardier.
- Fayolle, A., & Gailly, B. (2015). The impact of entrepreneurship education on entrepreneurial attitudes and intention: Hysteresis and persistence. *Journal of Small Business Management*, 53(1), 75-93.
- Foliard, S., & Le Pontois, S. (2017). Équipes entrepreneuriales étudiantes : comprendre pour agir. *Entreprendre & innover*, (2), 44-54.
- Foliard, S., Le Pontois, S., Fayolle, A., & Diermann, I. (2018). *The legitimacy of teachers in entrepreneurship education: what we can learn from a literature review*. Creating entrepreneurial space: talking through multi-voices, reflections on emerging debates.
- Foliard, S. (2021). Apprendre dans les écosystèmes éducatifs entrepreneuriaux : le peer pour le meilleur. *Revue internationale PME*, 34(3-4), 118-141.

Foliard, S. (2021). *Peer learning and informal mentoring in the entrepreneurial ecosystem: turning students into entrepreneurs*. BCERC 2021 Conference – Babson College.

Foliard, S., & Le Pontois, S. (2021). *Vie et émotions des équipes entrepreneuriales étudiantes*. *Les Annales de QPES*, 1(2).

Frese M. et Sabini J. (1985), *Goal Directed Behavior: The Concept of Action in Psychology*, L. Erlbaum Associates.

Gibbs G. (1988), *Learning by Doing: A guide to teaching and learning methods*, Further Education Unit, Oxford Polytechnic: Oxford.

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.

Kolb D. (1984), *Experiential learning*, Englewood cliffs.

Le Pontois, S., & Foliard, S. (2018). Une vision à 360° de l'accompagnement des équipes étudiantes. *Entreprendre Innover*, (1), 55-66.

Le Pontois, S. (2019). Enseigner l'entrepreneuriat, accompagner les étudiants : Question (s) de légitimité. *Entreprendre & Innover*, (3), 159-172.

Le Pontois, S. (2020). *L'impact de l'éducation en entrepreneuriat au prisme de son évaluation : pour une approche multidimensionnelle de l'efficacité de l'éducation en entrepreneuriat* (Thèse pour le doctorat en Sciences de Gestion, Université Grenoble Alpes [2020]).

---

## Une contribution à l'étude des profils de management : le cas de Barack Obama

---

Pierre Marquès<sup>1</sup>      Julien Granata<sup>2</sup>

pierre.marques@u-pec.fr    j.granata@Montpellier-BS.com

<sup>1</sup> IUT, Sénart-Fontainebleau Université Paris-Est Créteil  
Institut de recherche en gestion (EA 2354)

<sup>2</sup> Montpellier Business School

**Thèmes** – *Sciences de gestion et du management*

**Résumé** – *Cette recherche mobilise deux approches conceptuelles en sciences de gestion : la grille managériale de Blake & Mouton (1964) ainsi que les strates hiérarchiques (top management, management intermédiaire et management opérationnel). Nous étudions ici la convergence de l'étude des comportements managériaux et celle du niveau hiérarchique de prise de décision en réalisant un focus sur le comportement managérial au sein du top management. Dans le cadre d'une étude qualitative, le cas choisi est celui de Barack Obama lors de son premier mandat présidentiel. En multipliant les lectures de son autobiographie « une terre promise » nous avons isolé de nombreux verbatims dans le but d'enrichir la littérature relative aux rôles des top managers. Dans cette perspective nous proposons –in fine- un nouveau cadre théorique pour l'étude du rôle des top managers qui recense les dimensions sur lesquelles l'attention des recherches futures pourra être portée.*

**Mots-Clés** – *Top management, Grille managériale, Barack Obama*

## 1 Introduction

Le développement des sciences de gestion est récent si on le compare à d'autres disciplines. Pourtant certains concepts encore largement répandus dans l'enseignement commencent à dater. Publiée dans la prestigieuse Harvard Business Revue en 1964 [1], la grille managériale de Blake et Mouton en est l'illustration parfaite.

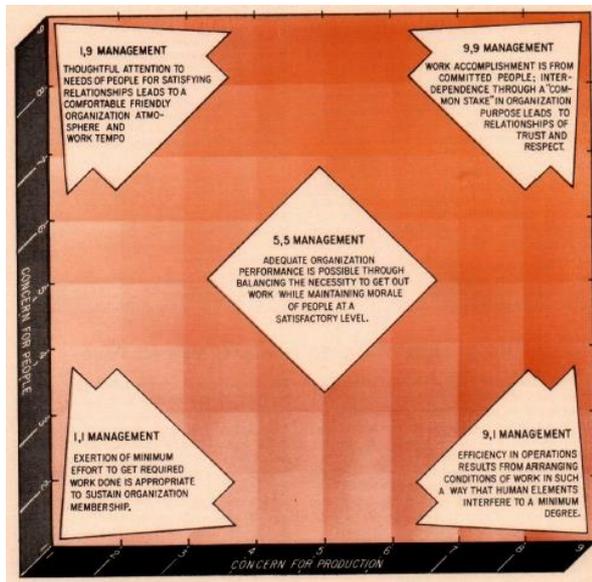


Figure 1 - La grille managériale (Blake & Mouton)

Outre la graphie qui rappelle celle des comics contemporains à sa sortie cette grille identifie cinq types de comportements managériaux qui dépendent de la propension du manager à être focalisé sur le rendement et/ou sur les individus. Ceux-ci peuvent être résumés ainsi :

- 1,1 : Fournir le minimum d'efforts pour maintenir l'adhésion à l'organisation ;
- 1,9 : Porter de l'attention aux collaborateurs conduit à entretenir une bonne ambiance de travail ;
- 5,5 : Equilibrer la pression exercée tout en veillant à ce que le moral des collaborateurs soit satisfaisant
- 9,1 : Maximiser l'efficacité des conditions de travail en limitant les interactions entre collaborateurs
- 9,9 : Favoriser l'engagement des collaborateurs en liant leurs intérêts à ceux de l'organisation

En sus de l'étude de la manière dont les managers agissent auprès des équipes, de nombreuses recherches évoquent le niveau auquel les décisions ont été prises. On considère alors l'existence de plusieurs niveaux de management : au sommet hiérarchique, à proximité des

équipes ou entre ces deux strates. [2] Floyd & Lane (2000, p. 158) considèrent « *qu'une part importante des recherches relatives aux processus stratégiques s'intéresse aux rôles stratégiques des différents niveaux de management* ». On qualifie alors de rôle un ensemble de comportements que les autres attendent des individus dans un certain contexte ([3] Friedman & Podolny, 1992 ; [4] Katz & Kahn, 1978 ; [5] Nadram & Kalndermans, 1993). On admet alors que le top management a un rôle de prise de décision tandis que le management opérationnel met en place sur le terrain ces choix, le management intermédiaire relayant l'information entre ces deux niveaux.

Les différents niveaux ont donc des rôles distincts :

- le top management exerce un pouvoir formel de ratification. Il doit être en mesure de formuler des stratégies puis de les mettre en scène ;
- le management intermédiaire promeut ensuite ces décisions en les synthétisant. Il doit permettre de faciliter la mise en œuvre ;
- le management opérationnel déploie l'exécution de ces instructions en veillant à la conformité des actions réellement effectuées. Il doit être capable de mettre en place des expérimentations ou de procéder à des ajustements.

Notre travail de recherche se situe à la convergence de l'étude des comportements managériaux et de celle du niveau hiérarchique de prise de décision. Il est l'occasion de réaliser un focus sur le comportement managérial au sein du top management en prenant l'exemple de comportement managérial de Barack Obama lors de son premier mandat de Président des Etats-Unis d'Amérique.

## 2 Le cas Obama

Barack Obama fût de 2008 à 2016 le 44<sup>ème</sup> président américain. Premier président afro-américain de l'histoire du pays Obama a publié le premier tome de ses mémoires à la toute fin de l'année 2020 dans un ouvrage intitulé « Une terre promise » [6]. L'exigence de la fonction le conduit à affirmer « *Ce que je découvrais à mon poste de président, c'est qu'aucun problème atterrissant sur mon bureau, qu'il s'agisse de politique étrangère ou intérieure n'avait de solution claire et nette à 100%. Si ç'avait été le cas, quelqu'un, à un échelon ou un autre, l'aurait déjà trouvée. Au lieu de quoi, j'étais tout le temps confronté à des probabilités : 70% de chances, par exemple, que la décision de rien faire aboutisse à un désastre ; 55% de chances que cette approche-ci plutôt que celle-là résolve peut-être le problème (et 0% de chance que cela se déroule exactement comme prévu) ; 30% de chances que la solution que nous choisissons, quelle qu'elle soit, ne fonctionne pas du tout, et 15% de chances qu'elle ne fasse qu'aggraver la situation* » (p.375-376).

Obama présente dans cette première partie de son autobiographie (un second tome est attendu à court-terme) sa version des événements qui l'ont conduit au début de sa carrière à se lancer en politique jusqu'à sa décision de se présenter pour un second mandat. Au fil des pages il relate à la fois sa vision a posteriori des décisions qu'il a prises en faisant référence à de nombreuses reprises :

- à la manière dont lesdites décisions ont été prises
- aux interactions qu'il entretenait avec son entourage professionnel

La méthodologie retenue pour notre approche est l'étude de cas. Selon Yin (1990) [7] il s'agit d'un choix pertinent lorsque l'on étudie les processus décisionnel ou l'élaboration puis la mise en œuvre d'actions organisationnelles. Sans ignorer le débat sur le nombre de cas nécessaires (Eisenhardt, 1989 [8] ; Dyer et Wilkins, 1991 [9]) nous faisons le choix d'un cas unique pour nous inscrire dans une démarche hypothético-inductive au fil des lectures multiples d'un manuscrit brut de 848 pages lues et relues jusqu'à saturation.

La table 1 présente quelques exemples d'extraits susceptibles de représenter les différents rôles du top management identifiés dans la littérature.

Table 1 – Verbatims exprimant les rôles au sein du top management

Rôles du top management	Exemple de verbatims
Ratifier	« La présidence bouleverse votre horizon temporel. Il est rare que vos efforts portent immédiatement leurs fruits ; la majorité des problèmes qui atteignent votre bureau sont trop vastes, et les facteurs trop nombreux. Il faut apprendre à juger sa progression en fonction d'étapes plus modestes – qui peuvent chacune exiger des mois de travail et ne méritent aucune déclaration publique – et accepter le fait que l'objectif final, si jamais vous y parvenez, ne sera pas atteint avant un an ou deux, voire avant la fin de votre mandat » (p.597)
Reconnaître	« Les instructions que j'ai données à Kathleen et à l'équipe chargée des questions de santé publique étaient simples : nous fonderions nos décisions sur les meilleurs avis scientifiques possibles, et nous expliquerions à la population chacune des étapes de notre dispositif, point par point – en ne cachant rien de ce que nous savions et de ce que nous ne savions pas. Et pendant les six mois suivants, c'est exactement ce que nous avons fait » (p.483)
Mettre en scène	« Il a fallu que je répète que tout président se devait de gérer les conséquences des choix et des décisions du gouvernement précédent, que 90% du boulot consistait à naviguer en évitant

	les écueils dont on avait hérité et les crises inattendues » (p.436)
--	--

### 3 Résultats

Les résultats de cette recherche consistent en un enrichissement de la littérature relative au rôle des top managers.

La table 2 résume une proposition de cadre théorique pour les recherches futures relatives aux managers qui travaillent dans cette strate décisionnelle.

Table 2 – Proposition d'un cadre théorique pour l'étude du rôle des top managers

Rôles du top management	Dimensions à mobiliser
Ratifier	Maîtriser des compétences techniques Capacité à justifier ses choix
Reconnaître	Compréhension stratégique Propension à susciter l'adhésion
Mettre en scène	Aptitudes à l'organisation Aptitude à communiquer

Les dimensions à mobiliser dans les recherches futures doivent permettre d'aider à mieux comprendre les différentes dimensions des rôles des top managers.

### Références

- [1] Blake, R. R., Mouton, J. S., Louis B., Barnes, & Larry E. Greiner. (1964). Breakthrough in organization development. Graduate School of Business Administration, Harvard University.
- [2] Floyd, S. W., & Lane, P. J. (2000). Strategizing throughout the organization: Managing role conflict in strategic renewal. *Academy of management review*, 25(1), 154-177.
- [3] Friedman, R. A., & Podolny, J. (1992). Differentiation of boundary spanning roles: Labor negotiations and implications for role conflict. *Administrative Science Quarterly*, 28-47.
- [4] Katz, D., & Kahn, R. L. (1978). Organizations and the system concept. *Classics of organization theory*, 80, 480.
- [5] Nandram, S. S., & Klandermans, B. (1993). Stress experienced by active members of trade unions. *Journal of Organizational Behavior*, 14(5), 415-431.
- [6] Obama, B. (2021). Une terre promise. AVH.
- [7] Yin R. (1990). *Case Study Research: Design and Methods*
- [8] Eisenhardt, K. M. (1989). Building theories from case study research. *Academy of Management Review*, 14(4), 532-550.
- [9] Dyer, W. G., & Wilkins, A. L. (1991). Better stories, not better constructs, to generate better theory: A rejoinder to Eisenhardt. *Academy of Management Review*, 16(3), 613-619.

---

## Vers une intersectionnalité agricole ? Une analyse comparative de la succession agricole dans les zones sous influence urbaine de la Ceinture de Verdure de l'Ontario, Canada et de l'InterSCoT toulousain, France.

---

Akimowicz Mikaël<sup>1</sup>

mikael.akimowicz@iut-tlse3.fr

Charilaos Képhaliacos<sup>3</sup>

charilaos.kephaliacos@ensfea.fr

Karen Landman<sup>2</sup>

klandman@uoguelph.ca

Harry Cummings<sup>2</sup>

harry@hcaconsulting.ca

<sup>1</sup> IUT, Université Fédérale de Toulouse Midi-Pyrénées / IEP Toulouse / Université Toulouse III - Paul Sabatier  
Laboratoire d'Etude et de Recherche sur l'Economies, les Politiques et les Systèmes sociaux (LEREPS), EA4212

<sup>2</sup> University of Guelph  
School of Environmental Design and Rural Development (SEDRD)

<sup>3</sup> Université Fédérale de Toulouse Midi-Pyrénées / IEP Toulouse / Ecole Nationale Supérieure de la Formation de  
l'Enseignement Agricole  
Laboratoire d'Etude et de Recherche sur l'Economies, les Politiques et les Systèmes sociaux (LEREPS), EA4212

**Thèmes** – Économie - SHS

**Résumé** – *En contribuant à l'alimentation locale et à la fourniture d'externalités agricoles multifonctionnelles, l'agriculture périurbaine peut contribuer à la résilience métropolitaine. Toutefois, l'agriculture périurbaine est caractérisée par de fortes incertitudes sociales qui ralentissent le transfert intergénérationnel des structures agricoles. Dans cet article, nous abordons les croyances qui sous-tendent la prise de décision des agriculteurs afin d'identifier les facteurs qui peuvent faciliter le transfert intergénérationnel des exploitations agricoles. La conception d'un cadre conceptuel institutionnaliste fondé sur l'incertitude keynésienne et la futurité commonsienne vise à analyser les croyances des agriculteurs associées à la décision de transmission des exploitations. Cette analyse comparative repose sur 41 entretiens avec des éleveurs, des céréaliers et des maraîchers dans les espaces sous influence urbaine de la Ceinture de Verdure de l'Ontario, Canada, et de l'InterSCoT toulousain, France, au cours desquels les agriculteurs ont conçu un modèle mental de leur décision d'investissement. Les résultats soulignent la prédominance d'un modèle agricole à forte intensité capitaliste structuré par un nexus finance/foncier/marché qui freine le changement structurel des exploitations. Des inégalités d'accès, fondées sur les caractéristiques des agriculteurs et de leurs projets, confirment l'existence d'une intersectionnalité agricole. Les résultats mettent également en évidence le rôle positif du contexte institutionnel ; l'alignement des croyances des agriculteurs avec celles qui façonnent leur environnement institutionnel réduisent les frictions qui peuvent ralentir le changement structurel des exploitations agricoles dans les zones périurbaines. L'élaboration d'une vision du futur partagée par les acteurs permettrait de faire converger les croyances.*

**Mots-Clés** – Succession Agricole, Agriculture Péri-urbaine, Croyances des Agriculteurs, Intersectionnalité Agricole

## 1 Introduction

La transmission intergénérationnelle des exploitations agricoles est une étape clef de leur trajectoire structurelle. L'identification d'un successeur favorise par exemple le maintien d'une dynamique d'investissement renforçant la viabilité des exploitations (Akimowicz et al. [1]).

Dans un environnement périurbain où l'accès aux terres agricoles est restreint et conflictuel, les stratégies d'adaptation des agriculteurs ne reposeraient pas uniquement sur l'agrandissement, mais aussi sur une croissance verticale synonyme de développement d'activités de transformation et de vente directe (Inwood et Sharp [2]). Une meilleure rémunération du travail et la possibilité de diversifier les sources de revenus favoriseraient également la transmission des exploitations horticoles dans les zones plus densément peuplées du fait de la proximité aux marchés du travail urbains (Bertoni et Cavicchioli [3]).

Si la reprise d'une exploitation agricole peut être considérée comme un investissement résultant d'un calcul économique rationnel, elle peut également être interprétée comme une action intentionnelle basée sur des raisons propres au preneur de décision, par exemple ses croyances. Dans cette présentation, nous nous intéressons aux croyances qui structurent la décision de transmission et de reprise des exploitations agricoles. Nous mettons en évidence l'existence d'un nexus à l'origine d'une intersectionnalité agricole qui rigidifie la dynamique de transmission intergénérationnelle.

## 2 Méthodologie

Cette recherche repose sur un cadre d'analyse institutionnaliste tenant compte de l'agencéité des agriculteurs dans un contexte incertain. L'analyse est structurée par les concepts d'incertitude keynésienne (Keynes [4]) et de futurité commonsienne (Commons [5]). La construction des modèles mentaux (Carley and Palmquist [6]) des décisions d'investissement des agriculteurs a permis d'opérationnaliser ce cadre théorique.

### 2.1 Des croyances pour la prise de décision

Pour les agriculteurs, mener une activité agricole au cœur d'un territoire périurbain multiplie les sources d'incertitude. Déjà confrontés à l'incertitude provoquée par la complexité des processus biologiques, l'imprévisibilité des changements climatiques et les fluctuations des prix agricoles, les agriculteurs périurbains doivent également faire face à une incertitude sociale - recours à des baux de courte durée (Léger-Bosch [7]), réglementation fluctuante des pratiques agricoles afin de limiter les conflits avec les usagers non-agricoles (Owen

et al. [8]), ou encore révision du zonage foncier pour permettre l'urbanisation (Jongeneel et al. [9]).

Dans ce contexte, la prise en compte des anticipations des agriculteurs pourrait être à l'origine d'une conceptualisation plus appropriée du temps. Selon Peirce [10], cette projection reposerait sur des croyances qui constitueraient un stock de connaissances tacites permettant de surmonter le doute généré par l'incertitude même si, parfois, ces connaissances peuvent se révéler inexactes. Résultant de l'intégration des activités des agriculteurs dans un territoire, où la coordination est plutôt d'ordre politique, et une filière, où la coordination est plutôt d'ordre marchand, cette connaissance est située au sein de communautés interprétatives ; elle nécessite la résolution de tensions qui découlent de la divergence des objectifs des parties prenantes (Théret [11]).

### 2.2 Recueil des données

L'approche comparative repose sur 41 entretiens avec des agriculteurs installés dans deux territoires périurbains canadiens et français. Au cours des entretiens, les agriculteurs ont construit les modèles mentaux sous-jacents à leur décision d'investissement (Figure 1) tout en répondant aux questions complémentaires nécessaires à la compréhension des interactions existantes entre ces facteurs. L'échantillon téléologique comprenait des éleveurs, des maraîchers et des agriculteurs engagés en grandes cultures.

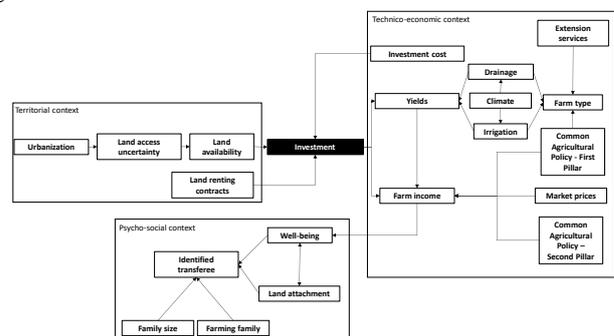


Figure 1 – Modèle mental réalisé au cours des entretiens

## 3 Résultats et discussion

Les résultats mettent en évidence que le transfert intergénérationnel des exploitations agricoles est tout d'abord associé à un transfert patrimonial structuré par un ensemble de valeurs (personnelles, familiales, sociétales) qui contribuent à l'identité de l'agriculteur et constituent un cadre à sa prise de décision. Parfois source de tensions, l'équilibre entre vie familiale et sacrifices entrepreneuriaux nécessaires au bon fonctionnement de l'exploitation agricole est un des enjeux majeurs des agriculteurs interrogés. Selon les orientations technico-économiques des exploitations, la définition de cet équilibre apparaît plus ou moins évidente. Il existe ainsi

une différence significative entre les agriculteurs de grandes cultures, qui raisonnent leur investissement en termes de rentabilité et ont tendance à investir sans relâche (agrandissement foncier, achat de nouvel équipement), et des maraîchers, qui raisonnent leur investissement en termes de bien-être et ont tendance à limiter leur investissement en fonction de leurs besoins. L'ensemble des agriculteurs interrogés semblait néanmoins ne disposer que de peu de flexibilité pour faire face à l'incertitude caractéristique des territoires périurbains. En outre, le contexte institutionnel semblait orienter le développement de formes d'agriculture insérées soit dans les filières, soit dans les territoires.

Ces entretiens ont permis de mettre en évidence des facteurs conditionnant l'accès aux ressources foncières, aux ressources financières ainsi qu'au marché (Figure 2). Ces trois formes d'accès, indispensables à la viabilité des projets agricoles, apparaissent source d'inégalités entre agriculteurs. Ces facteurs renvoient au concept d'intersectionnalité (Crenshaw [12]) qui offre un cadre propice à l'identification des inégalités. Dans notre cas, une première liste non-exhaustive de ces facteurs comprendrait l'orientation technico-économique, la valeur du capital propre disponible, la propriété ou non des terres, des pratiques agricoles employées et le fait d'être un enfant d'agriculteurs. Ces facteurs s'ajoutent à ceux plus classiques que sont le genre, l'âge et l'origine ethnique.

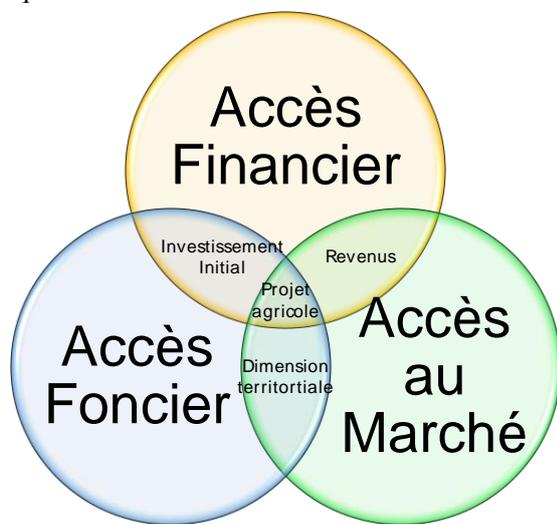


Figure 2 – Le nexus structurant les dynamiques d'installation

#### 4 Conclusions

Le transfert intergénérationnel des exploitations agricoles n'est pas qu'un enjeu économique, c'est également un enjeu social. Les inégalités qui caractérisent la décision d'installation nuisent au renouvellement des agriculteurs. Les barrières intersectionnelles qui ont été mises en évidence dans cette recherche méritent plus

d'attention. Il existe un espace politique pour la mise en œuvre de solutions transformatives issues de processus plus participatifs. Le leadership des acteurs locaux pour faciliter l'accès des agriculteurs au foncier agricole, aux financements et aux marchés pourrait ainsi contribuer à améliorer l'autonomie de décision et accroître la capacité des agriculteurs à s'engager dans des transitions en faveur de systèmes alimentaires plus inclusifs

#### 5 Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier la Research Executive Agency de Commission Européenne pour le financement du projet MARSUPIA (projet Marie Curie - IOF 622830), l'IEP Toulouse pour son aide à la publication ainsi qu'à tous les participants pour leur temps et leur engagement.

#### Références

- [1] Akimowicz M., Magrini M.B., Ridier A., Bergez J.E., Requier-Desjardins D. (2013) What influences farm size growth? An illustration in Southwestern France. *Appl. Econ. Perspect. Pol.* 35, 242–269.
- [2] Inwood S.M., Sharp J.S. (2012) Farm persistence and adaptation at the rural/urban interface: succession and farm adjustment. *J. Rural Stud.* 28, 107–117.
- [3] Bertoni D., Cavicchioli D. (2016) Farm succession, occupational choice and farm adaptation at the rural-urban interface: the case of Italian horticultural farms. *Land Use Pol.* 57, 739–748.
- [4] Keynes J.M. (1921) *A Treatise on Probability*. London: MacMillan.
- [5] Commons, J.R. (1934) *Institutional Economics: Its Place in Political Economy*. New York, NY: Macmillan.
- [6] Carley K., Palmquist M. (1992) Extracting, representing, and analyzing mental models. *Soc. Forces* 70, 601–636.
- [7] Léger-Bosch C. (2019) Farmland tenure and transaction costs: public and collectively owned land vs conventional coordination mechanisms in France. *Can. J. Agric. Econ.* 67, 283–301.
- [8] Owen L., Howard W., Waldron, M. (2000) Conflicts over farming practices in Canada: The role of interactive conflict resolution approaches. *J. Rural Stud.* 16, 475–483.
- [9] Jongeneel R.A., Polman N.B., Slangen L.H. (2008) Why are Dutch farmers going multifunctional? *Land Use Pol.* 25, 81–94.
- [10] Peirce C.S. (1931–1958) *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- [11] Théret B. (1994) To have or to be: On the problem of the interaction between State and economy and its 'solidarist' mode of regulation. *Econ. Soc.* 23, 1–46.
- [12] Crenshaw K. (1991) Mapping the margins: intersectionality, identity, politics, and violence against women of color. *Stanford Law Rev.* 43, 1241–1299.

## Morale et entreprise : le point de vue du philosophe

---

Isabelle Dherment-Férère<sup>1</sup>

Isabelle.dherment-ferere@univ-tln.fr

<sup>1</sup> IUT puis IAE Toulon

Université de Toulon, CERGAM, Aix- en-Provence, France.

### Thèmes – *Gestion*

**Résumé** – Cet article fait le point sur les réflexions du philosophe André Comte-Sponville autour des thèmes de l'éthique des affaires, de la morale au sein de l'entreprise et de la RSE. Son angle d'approche est de répondre aux problématiques actuelles en utilisant les apports des philosophes d'hier. Avec son sens de la formule, André Comte Sponville remet la morale à sa juste place au sein de l'entreprise en utilisant trois angles d'approche : 1) une **morale nécessaire mais non suffisante**, 2) **une éthique pour les individus** uniquement 3) une **morale relativiste et une distinction entre valeurs morales et valeurs d'entreprise**. A travers ses nombreuses conférences auprès de dirigeants étudiants en management, et ses écrits (*Petit traité des grandes vertus* (1995), *Le capitalisme est-il moral ?* (2004)), les idées d'André Comte-Sponville sur la morale et les affaires ont connu un large écho en France tant dans le monde professionnel du management que dans le monde académique.

**Mots-Clés** – *morale, éthique, management, philosophie*

## Introduction

Cet article fait le point sur les réflexions du philosophe André Comte-Sponville autour des thèmes de l'éthique des affaires, de la morale au sein de l'entreprise et de la RSE. Son angle d'approche est de répondre aux problématiques actuelles en utilisant les apports des philosophes d'hier. Avec son sens de la formule, André Comte Sponville remet la morale à sa juste place au sein de l'entreprise en utilisant **trois angles d'approche**, qui sont repris dans l'article : 1) en s'appuyant sur l'approche de Kant dans son *dictionnaire philosophique* (2013), André Comte Sponville montre que la **morale est certes nécessaire mais non suffisante** pour le manager qui ne doit basculer ni dans la barbarie ni dans l'angélisme (« *notre pays a davantage besoin de bons patrons que de patrons bons* »), 2) dans *Le capitalisme est-il moral ?* (2004, le philosophe s'appuie sur les trois ordres de Pascal pour montrer que l'on fait une erreur en parlant d'éthique d'entreprise alors qu'en **vérité il n'y a d'éthique que pour les individus** (« *il n'y a de morale que pour et par les individus. Il n'y a donc pas, en toute rigueur, de morale de l'entreprise* », mais il doit y avoir « *de la morale dans l'entreprise* » ; 3) enfin, dans son œuvre, *C'est chose tendre que la vie* (2015), André Comte-Sponville met en lumière le **relativisme de la morale et fait la distinction entre valeurs morales et valeurs d'entreprise**. A travers ses nombreuses conférences auprès de dirigeants étudiants en management, et ses écrits (*Petit traité des grandes vertus* (1995), *Le capitalisme est-il moral ?* (2004)), les idées d'André Comte-Sponville sur la morale et les affaires ont connu un large écho en France tant dans le monde professionnel du management que dans le monde académique. Après avoir rappelé la définition de la conception de morale chez André Comte Sponville, nous abordons la place que doit tenir la morale d'après le philosophe, le rapport entre morale et travail ainsi que celui de la morale et des salariés. Nous terminerons par une discussion.

### 1. Qu'est que la morale ?

#### 1.1. Morale=désintéressement

Selon André Comte Sponville, le propre d'une action morale est d'être fondée sur le désintéressement (il rejoint la vision de KANT qui s'oppose aux utilitaristes) et cesse de l'être si elle est accomplie en vue d'un bénéfice ou d'une récompense attendus. C'est donc **l'intention** qui compte, mais quel que soit le point de vue kantien ou utilitariste, elle **s'oppose à l'égoïsme**. Cf tableau 1

#### 1.2. Une morale individuelle et non collective

D'après le philosophe : « *il n'y a de morale que pour et par les individus. Il n'y a donc pas, en toute rigueur, de morale de l'entreprise* », mais il doit y avoir « *de la morale dans l'entreprise* ».

1.3. **Morale et éthique : deux mots pour un même concept**

## 2. La morale dans l'entreprise : nécessaire mais non suffisante

### 2.1. Nécessaire sinon on tombe dans la barbarie (être un bon patron)

D'après André Comte Sponville, il faut de la morale pour prendre des décisions acceptables : « *Mais si vous croyez pouvoir vous passer de morale, parce que la gestion suffirait à tout, vous êtes un salaud ou un nihiliste* ». Il y a un risque de tomber dans la barbarie s'il n'y a pas de morale.

### 2.2. ....mais non suffisante sinon on tombe dans l'angélisme (être un patron bon) :

Mais d'après lui, la morale ne va pas les aider à trancher dans leurs décisions managériales et il le montre par quelques exemples : *faut-il embaucher ou non ? Faire de la croissance externe ou interne ? S'implanter à l'étranger ou pas ? Licencié ou pas ? Délocaliser ou pas ?*

### 2.3. Morale et managers

#### 2.3.1. Trouver une ligne de crête

D'après le philosophe, les patrons doivent donc rester sur une ligne de crête pour ne pas se retrouver ni dans la barbarie ni dans l'angélisme : « *une action qui serait à la fois économiquement efficace, quant à ses conséquences, et moralement acceptable, par les limites qu'elle s'impose, voire moralement louable, par les intentions qui la motivent* ». Cf tableau 2

#### 2.3.2. L'efficacité plus importante que la morale

Selon le philosophe, la question de l'efficacité occupe légitimement plus de place, dans le quotidien d'un dirigeant d'entreprise, que celle de ses propres intentions. Mais pour les managers, les conséquences de leurs actes sont plus importantes que l'intention de départ (qui définit le degré de moralité) (ils préfèrent être « de bons patrons que des patrons bons » et ils ont raison) : « *Notre pays a davantage besoin de bons patrons (compétent, performant, efficace) que de patrons bons* »

#### 2.3.3. Des managers soumis aux quatre ordres à la fois

André Comte Sponville reprend les ordres de Pascal pour montrer que les managers (et non le management) ou les gestionnaires (et non la gestion) ne sont pas cantonnés dans l'ordre économique-techno-scientifique, ils sont dans les quatre ordres à la fois. Selon lui, il ne faut pas les confondre, on a besoin des quatre et il avance : « *arrêtez de vous cacher derrière la gestion ou le management : assumez plutôt vos responsabilités de gestionnaire et de manager !* ». Cf tableau 3

## 3. Morale et travail

Le travail n'est pas une valeur morale; c'est une valeur marchande. : « *Je dis toujours aux managers : ne comptez*

pas sur des leçons de morale que vous feriez à vos collaborateurs pour les motiver ou pour tenir lieu de management ! ».

#### 4. Morale et salariés : Des chartes éthiques pour influencer le comportement et les valeurs morales des salariés ? Le risque de dérive

#### 5. Discussion

D'après Basso et Zimnovitch (2017), les idées d'André Comte-Sponville sur la morale et les affaires ont connu un large écho en France tant dans le monde professionnel du management que dans le monde académique, on peut considérer qu'elles font référence. Mais pas unanimité. En effet, sa définition de la morale est trouvée réductrice par certains qui lui opposent les conceptions utilitaristes, conséquentialistes, pour lesquelles la moralité d'une action est à juger au regard des effets bénéfiques ou non qu'elle produit.

De plus, le refus d'étendre à l'entreprise toute responsabilité morale, pour restreindre l'acceptation de personnalité morale à son sens juridique suscite également débat.

#### Références

Basso O., Zimnovitch H., 2017, « Grand angle avec André Comte-Sponville », *Entreprise & Société*, vol. 2, n° 2, p. 23-37.

Comte-Sponville A. (2001), *Dictionnaire philosophique*, Paris, PUF.

Comte-Sponville A., 2004, 2009, *Le capitalisme est-il moral ?*, Paris, Albin Michel., Paris, Albin Michel, réédition, *Le Livre de Poche*, 2009.

Comte-Sponville A., 2015, 2017, *C'est chose tendre que la vie. Entretiens avec François L'Yvonnet*, Paris, Albin Michel, réédition en 2017 *Le Livre de poche*.

Point de vue	Kantien	Utilitariste/conséquentialiste
une action est morale si elle...	est désintéressée C'est l'intention qui compte indépendamment du résultat Contrairement au politique	tend à augmenter le bonheur du plus grand nombre, pas si elle tend à n'augmenter, aux dépens d'autrui, que mon bonheur à moi
Le caractère moral d'une action...	...est indépendante du résultat	...doit être jugé en fonction du résultat bénéfique ou non
Point de vue d'André Comte Sponville	OUI	NON : on peut satisfaire le plus grand nombre sans être moral pour autant Ex : corrompre un concurrent
commentaire		La fin ne justifie pas les moyens ! Le bonheur du plus grand nombre ne garantie pas la morale

Tableau 1. Les différentes conceptions de la morale

Degré de morale :	trop		Pas assez
	angélisme		barbarie
	Etre un patron bon		Etre un bon patron
Citation d'André Comte Sponville	« Si vous comptez sur la morale pour tenir lieu de gestion ou de management, vous avez du souci à vous faire ! »		Mais si vous croyez pouvoir vous passer de morale, parce que la gestion suffirait à tout, vous êtes un salaud ou un nihiliste »
exemple	La morale ne permet pas de trancher sur : Faut-il embaucher ou non ? Faire de la croissance externe ou interne ? S'implanter à l'étranger ou pas ? Licencier ou pas ? Délocaliser ou pas ?		Ne pas choisir le meilleur collaborateur parce qu'il est noir
Valeur du manager	morale		professionnelle
Dépend de ses ...	intentions		compétences, et plus encore de ses performances ou résultats
Point de vue dominant du patron			OUI : accorde plus d'importance au résultat
Point de vue ACS	NON : être un bon patron ne dispense pas d'être un patron bon	OUI et NON action à la fois économiquement efficace, et moralement acceptable	OUI : On a davantage besoin de bons patrons que de patrons bons
politique	gauche angélisme politiquement correct : tyrannie des grands principes et des bons sentiments)		Droite : tyrannie des marchés

Tableau 2. La place de la morale dans l'entreprise

	ORDRES	qui	Soumis à	
1	Economico technoscientifique		loi du marché bouleversements technologiques	Pascal
2	juridico-politique	citoyens	loi	Pascal
3	morale	sujets	devoir	Pascal
4	éthique	personnes	amour	André Comte Sponville

Tableau 3. Les quatre ordres

## Construire et décliner son image de marque. L'exemple de l'entreprise Casino

---

Anne-Céline Callens

[anne.celine.callens@univ-st-etienne.fr](mailto:anne.celine.callens@univ-st-etienne.fr)

IUT de Roanne, Université Jean Monnet  
Laboratoire ECLLA (Études du Contemporain en Littératures, Langues, Arts)

**Thèmes** – *Autre (arts) ; Communication*

**Résumé** – *Créée à Saint-Étienne en 1892, l'entreprise Casino se développe rapidement. Elle adopte le modèle succursaliste alors en vogue et ouvre de nombreuses enseignes dans tout le sud-est de la France. Dès le début des années 1920, elle met en place une importante communication auprès de sa clientèle comme de son personnel, notamment grâce à des catalogues de vente par correspondance et un journal d'entreprise (le Casino Magazine). En 1931, elle fait appel au célèbre dessinateur Cassandre pour la réalisation d'une affiche. Celle-ci constitue une image-type de la vitrine de commerce modèle et de l'épicier Casino. Ce personnage devient alors le tout premier logotype de la marque. À partir de cela, l'entreprise va se créer une véritable identité visuelle qu'elle déclinera ensuite afin d'asseoir son image auprès de la clientèle.*

**Mots-Clés** – *publicité ; graphisme ; affichistes ; Cassandre ; avant-garde artistique ; communication ; image de marque*

L'évolution de l'entreprise Casino[1] s'inscrit dans la dynamique de développement du modèle succursaliste[2] du début du XX<sup>e</sup> siècle[3]. Le groupe passe de 100 à 1670 succursales entre 1904 et 1939[4]. Dans le domaine de la distribution (et notamment de l'alimentation), il s'agit de fidéliser la clientèle afin d'écouler les marchandises au quotidien. Pour se faire connaître, l'entreprise va se forger une identité visuelle forte qu'elle décline ensuite afin d'asseoir son image.

### 1. Se forger une identité visuelle

Dès le XIX<sup>e</sup> siècle, les étalages et vitrines de magasins se multiplient et façonnent, au côté des foires et grandes expositions, une nouvelle forme de « spectacle du commerce et de l'industrie ». Casino l'a bien compris et s'attache à soigner les devantures de ses succursales. Afin d'unifier les différents points de vente, l'entreprise les approvisionne non seulement des mêmes articles, mais elle requiert également une uniformité de leurs modes de présentation. Des consignes techniques précises sont données aux gérants et aux inspecteurs[5] : taille et emplacement de l'enseigne, couleurs de la façade, disposition des vitrines...

À partir de 1931, des concours sont régulièrement organisés par Casino pour récompenser les gérants qui réalisent les plus beaux étalages et vitrines. Les plus réussis sont photographiés et mis à l'honneur dans le journal interne de l'entreprise, le *Casino Magazine*. Ces concours s'inscrivent dans une stratégie globale d'organisation de nombreuses compétitions, en particulier à destination des gérants, afin de créer une forme d'émulation et de sentiment de reconnaissance des employés. Le *Casino Magazine* qui rend compte des résultats de ces concours constitue, quant à lui, un outil managérial en cela qu'il vise à former et fidéliser les salariés[6].

### 2. Créer une figure-signature

Jusqu'à cette date, le groupe communique auprès de ses clients essentiellement au niveau opérationnel – dans le but d'inciter à l'action, en l'occurrence à l'acte d'achat. Il use pour cela des catalogues, prospectus, affichettes et du *Casino-Journal*, tous ces supports servant à délivrer un même message axé sur la qualité des produits et les prix avantageux. Mais sur le plan institutionnel – lorsque l'organisation communique sur son identité et ses valeurs – Casino privilégie la voie interne avec le *Casino Magazine*. Geoffroy Guichard élargit le message sur ce qui fait la spécificité de l'entreprise auprès du grand public.

Conscient du développement croissant de la publicité[7] et de l'importance de l'image dans la communication, il fait appel à Cassandre en 1931 pour concevoir l'identité visuelle du groupe. Comme tous les grands affichistes français de cette période, Cassandre met son talent au service de la communication commerciale en créant des

compositions graphiques inspirées des courants artistiques modernes – cubisme, purisme, constructivisme, école du Bauhaus, futurisme – qui se caractérisent par une géométrisation du motif et l'emploi de couleurs vives et uniformes.

L'affiche qu'il conçoit pour Casino constitue une image schématique de la devanture-type du groupe. Sa dominante verte reprend la couleur des façades des épiceries. La composition se résume à un assemblage de formes géométriques : un rectangle allongé dans lequel le nom de la marque est inscrit en grosses lettres capitales blanches symbolise l'enseigne du commerce ; il se superpose à un second rectangle qui matérialise le reste de la devanture ; le store est synthétisé par de larges bandes obliques orange et blanches. Sur le bas, un petit personnage, lui aussi simplifié à l'excès, tenant un globe terrestre et une balance dans chaque main, surmonte le slogan « Je suis partout. Je vends de tout ». Ce « bonhomme Casino »[8] sera extrait de l'affiche pour devenir le tout premier logotype de la marque[9]. Le choix du personnage-type n'est pas anodin : « Même brève comme celle du Casino, une raison sociale se lit, un personnage ne se lit pas, il se voit et s'enregistre aussitôt et le résultat c'est que, de par sa nature, notre mémoire l'assimile beaucoup plus facilement que la raison sociale[10] ». Casino s'inscrit alors dans une mouvance de création de personnages publicitaires depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle : la Vache qui rit, le Bibendum de Michelin, Nectar le livreur des vins Nicolas, le bonhomme Dubonnet, le serveur Saint Raphaël, les personnages Banania et Monsavon, etc. Au-delà du caractère récréatif, ces « personnages-types » ont l'avantage de s'ancrer facilement dans la mémoire du consommateur et de symboliser à eux-seuls l'ensemble des produits et l'identité de la marque. Casino choisit d'axer son image de marque non plus sur les petits prix et l'excellence de ses produits, mais sur la qualité de service offerte au client.

La force du message du logotype Casino tient à la congruence qui s'établit entre les signes textuels, iconiques et plastiques[11], tous trois chargés du même sens qui repose sur l'opposition entre la /stabilité/ et le /dynamisme/ : le « Je », qui se répète, incarne la présence fidèle du gérant, tandis que « suis partout » et « vend de tout » expriment la vivacité de l'activité du groupe ; au niveau des figures, les plateaux en équilibre de la balance traduisent la stabilité – le motif symbolisant également le commerce et la justice (des prix) –, tandis que le globe terrestre renvoie à la mondialisation et la diversification des produits, et donc à l'énergie de Casino ; tout cela se traduit plastiquement par le dynamisme des lignes obliques des membres inférieurs du personnage en marche, et donc en action, la stabilité des lignes horizontales de ses bras et l'immobilité des lignes

verticales de son tablier, qui renvoient à l'ancrage de l'épicier dévoué à son commerce et ses clients.

### 3. Asseoir son image

Une fois l'identité visuelle du groupe bien définie, il est nécessaire de la décliner de sorte à assurer une homogénéité et une cohérence dans la mise en image de la société qui est, grâce à cela, perçue comme qualitative. La figure et les codes graphiques du bonhomme Casino sont ainsi réutilisés de nombreuses fois, sur des supports multiples et variés. Cette déclinaison concerne tout d'abord l'ensemble des imprimés réalisés par la maison. Au niveau de la communication interne, l'identité visuelle du *Casino Magazine* évolue en mars 1932 : le vert des devantures et le nouveau bonhomme Casino s'imposent désormais en couverture. Les nombreux supports publicitaires permettent également de diffuser la nouvelle identité visuelle du groupe. L'essentiel des dépenses publicitaires concerne les imprimés, catalogues en tête, suivis des prospectus, puis des journaux et revues, et enfin des affiches. La figure schématique du bonhomme de Cassandre est notamment reproduite sur plusieurs des couvertures du catalogue Casino, sur des dépliants publicitaires ainsi que sur les nombreuses étiquettes, boîtes et emballages de produits vendus en vrac et directement fabriqués par l'entreprise<sup>[12]</sup>. Ces éléments de *packaging* contribuent à asseoir l'image de la marque : s'ils n'apportent pas de qualité intrinsèque au produit, ils permettent à la fois de l'identifier et de le rendre plus attractif. Ils constituent ainsi une forme de Publicité sur le Lieu de Vente (PLV), au même titre que les enseignes, affichettes et l'agencement des vitrines et étalages.

Les frais de publicité concernent également les foires, quinzaines commerciales et braderies. Celles-ci sont l'occasion de déployer l'affiche de Cassandre en un stand en trois dimensions. Lors de cavalcades, un char Casino défile accompagné de nombreux inventaristes conduisant des triporteurs ou distribuant des prospectus à la foule. L'entreprise participe également à la Caravane du Tour de France en juillet 1935 et réalise à cette occasion une action de sponsoring en faveur des coureurs. Ces actions constituent de véritables coups d'éclat qui laissent une trace dans la mémoire du public.

### Conclusion

La réflexion menée sur le choix et l'agencement des différents éléments constitutifs de l'identité visuelle du groupe Casino se décline donc de multiples manières, chaque support constituant un terrain d'expérimentation. En tant que système de monstration se mettant au service des produits, la scénographie de vitrine constitue un média, au même titre que l'affiche, le logo, la couverture de magazine, le stand d'exposition et le défilé. Qu'ils soient en deux ou trois dimensions, mobiles ou immobiles, l'ensemble de ces outils contribue à

l'avènement d'un « spectacle du commerce » qui s'inscrit dans la nouvelle culture capitaliste, visuelle et médiatique du début du XX<sup>e</sup> siècle. On perçoit que « dans la dizaine d'années qui précéda la guerre [...] c'est déjà le fonctionnement contemporain qui se met en place : dispositif de production et de diffusion de la communication<sup>[14]</sup> ». L'activité de Casino préfigure ainsi les transformations des années d'après-guerre en cela qu'elle est précurseuse de l'arrivée de la société de consommation de masse, des nouvelles techniques de médiation et du développement des outils de marketing.

### Références

- [1] Olivier LONDEIX, *Du Client au consommateur. Casino, une chaîne succursaliste alimentaire française (1898-1960)*, Aubervilliers, Éditions du Comité des Travaux Historiques et Scientifiques, « CTHS Histoire », 2021.
- [2] Qui repose sur la centralisation des achats et la décentralisation des ventes.
- [3] Jean-Claude DAUMAS, *La Révolution matérielle : une histoire de la consommation. France XIX<sup>e</sup>-XX<sup>e</sup> siècles*, Paris, Flammarion, 2018.
- [4] Éric PERRIN, « L'impérieuse nécessité du succursalisme », in Marie-Caroline JANAND (dir.), *Vendre de tout, être partout : Casino*, Milan, Silvana editoriale, 2019, p. 26-29.
- [5] Schéma des « Prescriptions à observer pour l'organisation des devantures », 1<sup>er</sup> juin 1932, AMSE, Fonds Jo Roux, 66 FI et recueil des plans d'installation des succursales établis par le service technique à destination des inspecteurs entre 1933 et 1936, AMSE, 102 S 1254.
- [6] Anne-Céline CALLENS, « Les usages de la photographie par Casino durant l'entre-deux-guerres : promotion des produits de consommation et stratégie succursaliste », *Photographica*, n° 4 : *Derrière l'image. Pour une histoire sociale et culturelle des producteurs de photographies (XIX<sup>e</sup>-XXI<sup>e</sup> siècles)*, avril 2022, p. 56-77.
- [7] Marc MARTIN, *Trois siècles de publicité en France*, Paris, Odile Jacob, 1992 et Marie-Emmanuelle CHESSEL, *La Publicité. Naissance d'une profession, 1900-1940*, Paris, CNRS, 1998.
- [8] Anne-Céline CALLENS, « Le bonhomme Casino de Cassandre ou le don d'ubiquité », in JANAND (dir.), *op. cit.*, p. 80-83.
- [9] L'entreprise dispose alors d'un monogramme, mais pas de logotype bien défini.
- [10] « Un grand évènement. La naissance du bonhomme Casino », *Casino Magazine*, n° 80, novembre 1931, p. 2.
- [11] Martine JOLY, *L'Image et les signes. Approche sémiologique de l'image fixe*, Paris, Nathan, 1994, p. 124-126.
- [12] AMSE, fonds de la famille Guichard, 107 S.
- [13] Alain FLEIG, *Étant donné l'âge de la lumière II. Naissance de la photographie comme média en France dans les années trente*, Neuchâtel, Ides & Calendes, p. 289-290.

---

## TECH'NOMAD

Construction d'un projet de médiation technologique

---

Nadine Allanic

Christophe Plot

Pierre Mousseau

nadine.allanic@univ-nantes.fr christophe.plot@univ-nantes.fr pierre.mousseau@univ-nantes.fr

IUT de Nantes, Nantes Université

### Thèmes – Autre

**Résumé** – *La diffusion de la culture scientifique et technique fait partie des missions possibles confiées aux enseignants-chercheurs. Dans cet article nous décrivons les étapes de la mise en place d'un projet de médiation technologique porté par l'IUT de Nantes. Ce projet, nommé TECH'NOMAD, a pour objectif d'aller à la rencontre des jeunes publics pour éveiller leur curiosité scientifique, pour les sensibiliser à la technologie, pour comprendre le monde et la société qui les entourent. Le principe est simple : se rendre dans les écoles avec un bus aménagé d'objets technologiques et proposer des ateliers autour de ces objets. Si le principe est simple, la réalisation d'un projet de cette envergure dans un cadre universitaire contraint n'est pas chose aisée. Nous montrerons comment nous avons progressivement fait sauter les verrous pour que le projet puisse voir le jour. Les premières sorties du bus sont prévues fin 2022 – début 2023.*

**Mots-Clés** – *médiation technologique, sciences et société, culture scientifique, technique et industrielle (CSTI).*

## 1 Introduction

L'IUT de Nantes porte depuis longtemps, comme de nombreux autres IUT, des actions de diffusion de la culture scientifique et technique : fête de la science, projet [MERITE](#), [Course en cours](#), etc. Le public touché par ces animations est celui des collèges et lycées que l'on fait venir à l'IUT pour faire découvrir la dimension technologique de nos formations.

Avec le projet TECH'NOMAD, l'objectif est de sensibiliser un public plus jeune (CM, 6<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup>) en allant à leur rencontre dans les espaces scolaires, en particulier ceux éloignés des zones urbaines. Très loin d'une démarche de promotion des formations (Figure 1), nous souhaitons éveiller la « curiosité technologique » des enfants, les faire inter(ré)agir sur des objets technologiques proches de leur environnement.

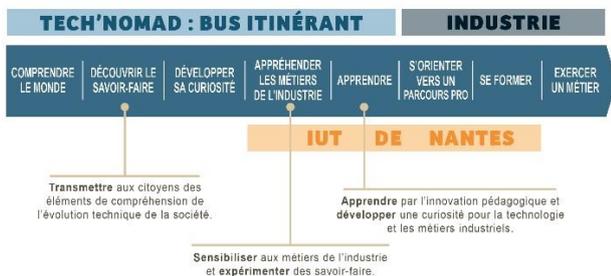


Figure 1 – Position du projet

## 2 Les objets technologiques

Les objets technologiques sont thématiques. Pour cette première version du TECH'NOMAD, ils traitent de la conversion mouvement-énergie-mobilité. Chaque objet part d'une proposition et d'une conception proposés par des groupes d'étudiants de l'IUT (projet BUT ou MASTER), Figure 2. Les objets sont ensuite repris par le service technique de l'IUT qui en finalise la forme.

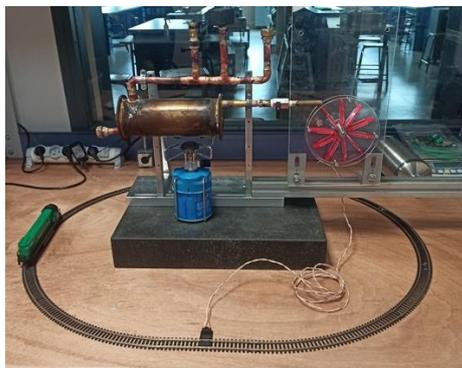


Figure 2 – Prototype de l'objet vapeur-électricité-train

Des ajustements sont ensuite réalisés après une mise en situation sous forme d'atelier auprès d'élèves d'une école partenaire (Figure 3).



Figure 3 – Test in-situ de l'objet « moteur électrique »

## 3 De la genèse à la phase d'amorçage

Le développement d'un projet comme le TECH'NOMAD nécessite de l'abnégation, c'est un long chemin semé de périodes de doutes et de confiance. L'idée est sortie en 2017. Le [Scientibus](#), action pluridisciplinaire de CST portée par l'Université de Limoges a servi de référence dans le montage du projet. Nous détaillons ci-après les étapes clés du développement du projet et ses spécificités.

### 3.1 Convaincre l'IUT puis l'université

C'est un projet ambitieux à l'échelle d'une composante, il est donc nécessaire d'avoir l'appui fort de la direction de l'IUT en termes d'engagement de moyens. En particulier l'engagement de payer les heures des intervenants enseignants au même titre qu'une heure complémentaire (total estimé à 20k€/an pour une sortie du bus par semaine avec trois intervenants). Engagement également d'avoir le soutien des services de l'IUT (technique, communication, relation entreprise, etc.)

Ensuite, il faut obtenir le soutien de l'Université en défendant que ce projet doit dépasser, à moyen terme, la seule composante IUT de Nantes. Le TECH'NOMAD a vocation à embarquer de nombreuses autres composantes de l'Université qu'elles soient technologiques ou non.

L'Université de Nantes soutient fortement le projet.

### 3.2 Créer une dynamique collective

Un des enjeux fort est de réussir à créer une dynamique collective interne suffisamment forte pour se rassurer sur la pérennité du projet. Nous avons donc constitué un groupe de pilotage d'une dizaine de personnes représentant les services et les départements de l'IUT. Un groupe restreint de 4-5 personnes assure la partie opérationnelle du projet. Un sondage a été fait auprès des collègues enseignants pour évaluer le potentiel d'intervenants-animateurs lors des sorties du bus.

Les étudiants eux sont mobilisés sous la forme de projets. Nous travaillons également avec des stagiaires extérieurs spécialisés dans la médiation scientifique ou dans l'histoire des sciences. Une réflexion est à l'étude pour introduire l'action TECH'NOMAD dans la formation de nos étudiants en MASTER.

### 3.3 Trouver des financements

Un des verrous est bien évidemment le financement du projet. Le budget nécessaire à la mise en place du projet a été évalué à 300k€ et le budget de fonctionnement annuel à 70k€/an. Associée à une orientation avant tout CSTI, ce budget au vu des faibles leviers et créneaux de financement possibles est encore plus complexe à obtenir. Bien sûr, ça ne se trouve pas sous le sabot d'un cheval une somme pareille.

Considérant que le projet est d'envergure régionale, nous nous sommes tournés vers la Région Pays de la Loire (et le FEDER). Après un an et demi de discussions, de dossiers variés et parangonnage, de réunions et d'explications répétées, la Région a finalement décidé de ne pas soutenir la mise en place du TECH'NOMAD. Pour la phase de lancement du projet, le financement sera donc porté par les ressources propres de l'IUT (200k€ alloués) et par une subvention du ministère (150k€) suite aux échanges réalisés avec le rectorat.

Le budget de fonctionnement annuel sera couvert en partie par l'IUT et par des fonds d'entreprises privées sous forme de don à la fondation de l'Université.

### 3.4 Créer des partenariats

Pour garantir la réussite du projet, il a été indispensable de mettre en place des partenariats :

- D'abord avec la SEMITAN, régie des transports urbains de la métropole nantaise. La SEMITAN nous a fait don d'un bus de ville roulant au gaz naturel (Figure 4). Une convention doit être signée pour l'entretien, le dépannage et le garage du bus.



Figure 4 – BUS 540 de la TAN

- L'école Louis Armand de Carquefou avec laquelle nous travaillons pour tester les ateliers basés sur différents objets technologiques.
- Le Rectorat de l'académie de Nantes pour le lien avec les programmes, l'implication des inspecteurs et la mise en relation à venir avec les écoles.
- L'association OMNIBUS NANTES pour la mise à disposition de chauffeurs lors des sorties du bus.

D'autres partenariats devraient voir le jour, en particulier ceux avec les entreprises.

### 3.5 Sécuriser

Un enjeu important du projet est d'assurer sa pérennité sur un temps long.

Le partenariat avec la régie des transports est un élément essentiel. Il est conclu pour cinq ans avec le bus actuel et sera reconduit ensuite avec un autre bus.

L'aménagement intérieur et extérieur du bus, se doit d'être respectueux des contraintes techniques de sécurité mais aussi intégrer de manière originale la scénarisation des ateliers dans une unité de volume (Figure 5).

L'autre aspect fondamental pour cette sécurisation est la nécessité de fédérer le maximum de collègues et d'animateurs. Plusieurs pistes sont à l'étude :

- Associer d'autres composantes de Nantes Université : IUTs, écoles, UFR
- Inscrire le projet dans les formations doctorales ou contrats doctoraux pour associer des doctorants.

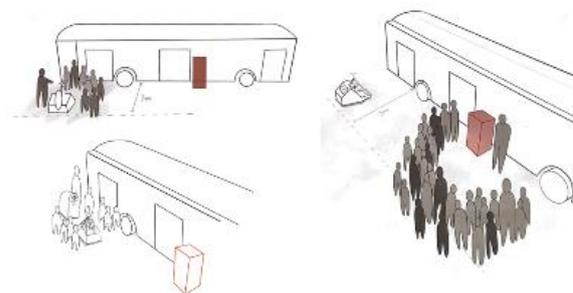


Figure 5 – Scénarisation des ateliers

## 4 Autour du TECH'NOMAD

Trois axes d'évolution vers la recherche sont envisagés :

- Une configuration « grand public » du bus tournée autour de l'imaginaire technologique et la déconstruction des idées reçues en matière de science et technologie. Des étudiants en MASTER et chercheurs d'histoire des sciences travaillent actuellement sur le sujet.
- Le TECH'NOMAD comme objet d'étude pour des activités recherche tournée vers les processus d'apprentissage.
- Intégration d'objets technologiques issus de travaux de recherche.

## 5 Conclusions

Nous avons présenté les étapes de construction du TECH'NOMAD, un outil original de médiation technologique à destination des jeunes publics et du grand public. Les premières sorties du bus sont prévues fin 2022-début 2023.

Peut-être un jour présent au CNR...

## 6 Remerciements

Les auteurs remercient toutes les personnes impliquées dans le projet : collègues de l'IUT et de l'Université.