CNRIUT'2019
Congrès National
de la Recherche des IUT
IUT Toulon

6 & 7 juin 2019

Chimie Biologie Santé | Energie Environement | Infotmatique Robotique Imagerie Electronique Mathématique

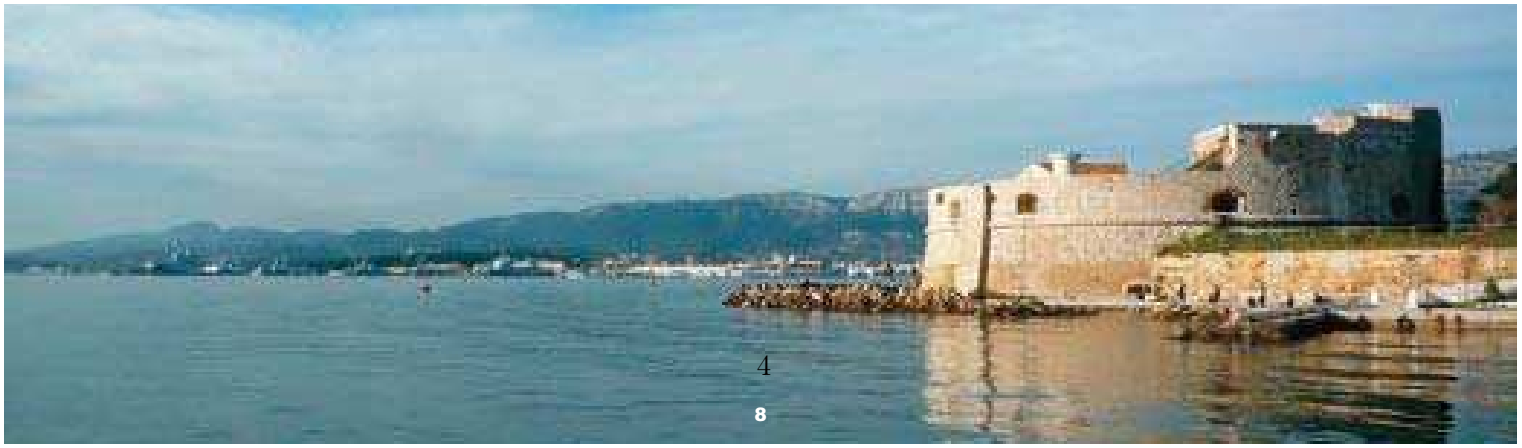
jeudi, 6 juin		
8h	**Accueil petit-déjeuner – Bâtiment Pi**	
9h00	Discours d'ouverture : Directeur de l'IUT de Toulon : Michel DEQUATREMARE Président de l'Université de Toulon : Xavier LEROUX Présidente de l'ADIUT : Alexandra KNAEBEL	
9h30	Plénière 1 FA001 : Sur la détermination du périmètre du Colisée. Jean-Marc Ginoux, IUT de Toulon.	
10h00	Plénière 2 FA001 : Cinéma et cordel au Brésil : jeux de miroirs, Sylvie Debs, IUT de Strasbourg	
10h30	**Pause café et sessions Posters-Démonstrateur - Bâtiment Pi**	
11h00	Plénière 3 FA001 : Coupe du Monde de Robotique 2019 : une équipe pour l'Université / IUT de Toulon, Valentin Gies.	
11h30	FA010 Nouvelle méthode de mesure de perméabilités gazeuses des matériaux d'emballage : application aux aliments frais conditionnés. Amandine Cottaz, IUT Lyon 1.	FA110 Etude du comportement d'un réseau électrique utilisé pour la transmission de données numériques. Ismail Aouichak, IUT de Tours.
11h45	FA010 La nature des contrats liant les transports particuliers de personnes à leur clientèle. Stéphane Carré, IUT de Nantes.	FA110 Quand des étudiants produisent un tutoriel vidéo sur l'orthographe : retour d'expérience. Laetitia Thobois Jacob, IUT de Strasbourg.
12h00	FA010 Détection de fortes collisions pour robots humanoïdes: application au robot NAO. Vincent Hugel, IUT de Toulon.	FA110 Influence des surfaces antifouling et de l'hydrodynamisme sur les biofilms marins. Elisa Catao, IUT de Toulon.
12h15	FA010 Etude thermique d'une carte électronique. Frederic Joly, IUT d'Evry.	FA110 Travail sous commande numérique et aliénation dans le processus d'industrialisation logistique: la préparation des expéditions sous commande vocale. Alain Arnaud, IUT d'Aix-Marseille.
12h30	**Buffet cocktail - Faculté de droit**	
14h00	Plénière 4 FA001 : Diversité et contrôle des biofilms marins. Briand Jean-François, IUT de Toulon	
14h30	FA010 Quand les hippocampes mâles prennent la pilule. Nathalie Prevot D'alvise, IUT de Toulon	FA110 Procédé de Datation des Images et de Caractérisation de la Fréquence d'Acquisition des Caméras Video. Michel Grimaldi, IUT de Toulon.
14h45	FA010 Pour en finir avec la réalité virtuelle. Olivier Nannipieri, IUT de Toulon.	FA110 Les jeunes travailleurs et les formations par alternance. Nathalie Dedessus-Le-Moustier, IUT de Lorient.
15h00	FA010 Estimation de l'attitude d'un véhicule à partir d'un système de fusion multi-capteurs basé sur le filtrage particulaire. Hiba Al-Assaad, IUT du Littoral-Côte d'Opale.	FA110 Modélisation de l'auto-inflammation de matériaux énergétiques : vers une approche utilisant les automates cellulaires. Philippe Gillard, IUT de Bourges.
15h15	**Pause café et sessions Posters-Démonstrateur - Bâtiment Pi**	
15h45	FA010 L'infirmier qui aimait la logistique, ou l'histoire d'une centralisation des flux dans un bloc opératoire. Virginie Andre, IUT de Nantes.	FA110 Réactiver le VIH pour mieux l'éliminer de l'organisme : un pas vers la guérison ? Jeanne Van Assche, IUT de Strasbourg.
16h00	FA010 Effet de l'ajout de fibres de Posidonia-Oceanica sur les proprietés thermiques et mécanique d'une pâte de ciment. Ons Hamdaoui, IUT de Créteil-Vitry.	FA110 Tableaux accessibles dans les documents numériques. Katerin Romeo-Pakker, IUT de Rouen.
16h15		FA110 Présentation d'une plate forme partagée Recherche/Pédagogie pour énergie et batiment durables et du projet Masters@Longwy. Mohamed El Ganaoui, IUT de Longwy.
16h45	**Départ visites guidées Toulon / 18H30 : départ visite de la Rade**	
20h00	**Apéritif et dîner de gala à la Vague d'or - Les Sablettes**	

Matériaux Mécanique | Sciences Humaines et Sociales Lettres Langues Communication | Economie Gestion Droit | Autre

vendredi, 7 juin		
8h00	**Accueil petit-déjeuner – Bâtiment Pi**	
9h00	Plénière 5 : De la sérendipité dans les projets pour cultiver l'imprévisible… Vareille Jean, IUT de Brest.	
9h30	FA010 Contacteur membranaire innovant pour la cristallisation. Maïté Michaud, IUT de Lyon 1.	FA110 La marque employeur CNES/CSG un outil de discrimination positive adaptative ? Anne Maeder, IUT de Thionville-Yutz. Koulani Rézaire de l'IUT de Kourou.
9h45	FA010 De l'image de marque à l'image de la marque : marketing horloger de luxe et réseaux sociaux. Magali Bigey, IUT de Besançon-Vesoul.	FA110 Synthèse d'observateurs fonctionels à temps de convergence finie. Carlos Rios Ruiz, IUT de Longwy.
10h00	FA010 Contrôle optimal de la source hybride basé sur la combinaison entre la PBC et HJB. Amel Benmouna, IUT de Belfort-Montbéliard.	FA110 L'autoévaluation, un outil de la réussite des étudiants de l'IUT. Robert Valls, IUT d'Aix-Marseille.
10h15	**Pause café et sessions Posters-Démonstrateur - Bâtiment Pi**	
10h45	FA010 Modèle Binaire Local multispectral pour le diagnostic du paludisme sans coloration. Yao Taky Alvarez Kossonou, IUT d'Angers.	FA110 Mise au point d'un microcosme de sol permettant d'évaluer la biosorption d'éléments métalliques par du mycélium fongique. Iham Benjelloun, IUT de Caen.
11h00	FA010 La porosité : une question de taille ! Thouraya Salem, IUT de Créteil.	FA110 Etude expérimentale par Tomographie Laser de l'évolution d'un écoulement généré par un jet impactant pour le renouvellement d'air dans l'habitat. Kamel Abed-Meraim, IUT La Rochelle.
11h15	FA010 Contribution à l'analyse de la mise en œuvre des normes IFRS dans le secteur public : l'application des normes IPSAS par l'ONU. Isabelle Dherment-Ferere, IUT de Toulon.	FA110 Contemporary erotic feminine literature. The renewal of a gender. Régine Atzenhoffer, IUT de Strasbourg.
12h00	**Votes et remise des prix / Clôture du Congrès - FA001 Batiment PI** **Buffet cocktail - Faculté de droit** 3	

Liste des posters

P 1	Characterization of cigarette tobacco blends using HRMAS NMR based Metabolomics *Campredon Mylène ,Caldarelli Stefano, Shintu Laetitia*
P 2	Etude de l'influence de la lumière sur la croissance et la production de protéines par Arthrospira *(Spirulina) platensis en vue d'optimiser le rendement de production. Lejeune Hortense, Lefebvre Loick, Maire Yanis, Watier Lucie, Anselin Loïc, Deblieck Marie, Watier Denis*
P 3	Danse thérapeutique réelle et/ou virtuelle pour réduire la neuro inflammation chez les MCI et la Maladie d'Alzheimer. *Ayari Sawsen, Watelain Eric, Abellard Patrick*
P 4	Évaluation et estimation de la qualité des sédiments par analyse thermogravimétrique (ATG) *Oudghiri Idrissi Youssefi Fatiha, RodrÍguez Barroso Rocío, Quiroga José María*
P 5	Evaluation du DART-MS pour le dosage des acides organiques dans des échantillons urinaires *Bonose Myriam*
P 6	Une synthèse douce électroassistée de phosphonates d'(hétéro)aryle *Sengmany Stéphane, Ollivier Anthony, Le Gall Erwan, Leonel Eric*
P 7	Cancer de la prostate, vers une prise en charge personnalisée des patients : Améliorer le diagnostic. *Huet Eric*
P 8	Techniques de synchronisation de signaux de marche. *Bonnardot Frédéric*
P 9	Annélation [3+2] catalysée au cobalt entre des ortho-halogénoarylimines et des alcènes pour la préparation d'indanamines. *Paul Jérôme, Presset Marc, Léonel Eric, Le Gall Erwan*
P 10	Investigation des matériaux les plus appropriés pour réaliser les électrodes nécessaires à la mesure de l'électrocardiogramme à domicile *Vauche Rémy, Gan Yajian, Rahajandraibe Wenceslas, Pons Jean-François*
P 11	Evaluation en temps réel des états de fatigue et de fatigabilité chez les gamers des jeux violents *Sabrine Dhaouadi, Mohamed Moncef Ben Khelifa, Olivier Gavarry*
P 12	Application de l'Analyse de Cycle de Vie Dynamique pour l'évaluation de l'impact environnemental d'une baie double vitrage-menuiserie acier. *Megange Patrice*
P 13	Représentation d'état d'ordre réduit des équations de Vlasov-Poisson. *Cisse Amadou, Boutayeb Mohamed*
P 14	Etude numérique du comportement hygrothermique d'un matériau biosourcé pour une construction durable. *Alioua Tarek, Chennouf Nawal, Boudenne Abderrahim, Agoudjil Boudjemaa*
P 15	Détermination des paramètres thermiques de couches minces par thermoréflectance et ajustement numérique multiparamètre. *Bardoux Mathieu, Badine Élie, Sahraoui Abdelhak Hadj, Herro Ziad, Abboud Nadine*
P 16	Etude du Tompon Hydrique (MBV) d'un matériau biosourcé *Chennouf Nawal, Boudenne Abderrahim, Alioua Trek, Agoudjil Boudjemaa*
P 17	Valorisation de sédiments marins de dragage en briques de terre cuite : comportement des éléments Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn. *Baraud Fabienne, Leleyter Lydia, Oudghiri Fatiha*



P 18	Adaptive Functional Electrical Stimulation (AFES) to Increase Ankle Dorsiflexion in Spastic Paresis *Canchola Hernandez Carlos Jaime*
P 19	Économie circulaire, développement durable et modélisation mathématique *Vareille Jean, Becar Jean-Paul*
P 20	Apprendre à programmer en autonomie et par l'exemple: efficacité d'une plateforme en ligne dédiée. *Moulin Antoine, Chibout Karim, Capobianco Antonio, Cazier David*
P 21	Reconnaissance des émotions par l'informatique affective *Yang Fan, Belaiche Reda , Migniot Cyrille, Ginhac Dominique*
P 22	Géométrie de l'Information Finslerienne R-complexe *Corbier Christophe*
P 23	Application of Deep Belief Network for early smoke detection *Rabeb Kaabi*
P 24	Automatic Detection of Disc herniation using Axial View MRI *Wafa Mbarki*
P 25	Détermination rapide du comportement en fatigue des composites stratifiés en Carbone/Epoxyde basés sur des phénomènes thermodynamiques observés par thermographie infrarouge *Gong Xiaojing*
P 26	Porosité de bétons bio-sourcés par méthode thermique *Salem Thouraya*
P 27	Mesure de l'atténuation acoustique d'un matériau bio-sourcé : la mousse de tanin, Jean-françois Fontaine, IUT Dijon/Auxerre.
P 28	Une ville logistiquement durable: explorer l'intermédiation grossiste *Sirjean Stéphane, Morel Christian, Paché Gilles*
P 29	Evaluations et réactions face au risque nucléaire *Rambour Muriel*

Posters soumis au vote

Démonstrateur

D 1	Capteurs connectés et supervision *Mousseau Pierre, Champlon Jordan*

Table des matières

Titre **1**

Programme **2**

Posters **4**

Chimie / Biologie / Santé **1**

Annélation [3+2] catalysée au cobalt entre des ortho-halogénoarylimines et des alcènes pour la préparation d'indanamines, Paul Jérôme [et al.] 1

Techniques de synchronisation de signaux de marche, Bonnardot Frédéric 5

Cancer de la prostate, vers une prise en charge personnalisée des patients : Améliorer le diagnostic, Huet Eric 8

Une synthèse douce électroassistée de phosphonates d'(hétéro)aryle, Sengmany Stéphane [et al.] 9

Contacteur membranaire innovant pour la cristallisation, Michaud Maïté [et al.] . 12

Evaluation du DART-MS pour le dosage des acides organiques dans des échantillons urinaires, Bonose Myriam 14

Évaluation et estimation de la qualité des sédiments par analyse thermogravimétrique (ATG), Oudghiri Idrissi Youssefi Fatiha [et al.] 16

Danse thérapeutique réelle et/ou virtuelle pour réduire la neuro inflammation chez les MCI et la Maladie d'Alzheimer, Ayari Sawsen [et al.] 19

Réactiver le VIH pour mieux l'éliminer de l'organisme : un pas vers la guérison ?, Van Assche Jeanne [et al.] 22

Etude de l'influence de la lumière sur la croissance et la production de protéines par Arthrospira (Spirulina) platensis en vue d'optimiser le rendement de production, Lejeune Hortense [et al.] 25

Characterization of cigarette tobacco blends using HRMAS NMR–based Metabolomics, Campredon Mylène [et al.] 28

Quand les hippocampes mâles prennent la pilule, Prevot D'alvise Nathalie 31

Influence des surfaces antifouling et de l'hydrodynamisme sur les biofilms marins, Catao Elisa [et al.] 35

Nouvelle méthode de mesure de perméabilités gazeuses des matériaux d'emballage : application aux aliments frais conditionnés, Cottaz Amandine [et al.] 38

Diversité et contrôle des biofilms marins, Briand Jean-François 41

Economie / Gestion / Droit **44**

Contribution à l'analyse de la mise en œuvre des normes IFRS dans le secteur public : l'application des normes IPSAS par l'ONU, Dherment-Ferere Isabelle [et al.] 44

La marque employeur CNES/CSG un outil de discrimination positive adaptative ?, Maeder Anne [et al.] 48

Evaluations et réactions face au risque nucléaire, Rambour Muriel 56

Une ville logistiquement durable: explorer l'intermédiation grossiste, Sirjean Stéphane [et al.] 59

L'infirmier qui aimait la logistique, ou l'histoire d'une centralisation des flux dans un bloc opératoire, Andre Virginie [et al.] 63

Les jeunes travailleurs et les formations par alternance, Dedessus-Le-Moustier Nathalie 66

Fusion et regroupement de collectivités: retour d'expériences et analyse, Aldrin Jérémy [et al.] 68

Travail sous commande numérique et aliénation dans le processus d'industrialisation logistique : la préparation des expéditions sous commande vocale, Arnaud Alain . 73

La nature des contrats liant les transports particuliers de personnes à leur clientèle, Carré Stéphane 78

Energie / Environnement **80**

Valorisation de sédiments marins de dragage en briques de terre cuite : comportement des éléments Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn., Baraud Fabienne [et al.] 80

Mise au point d'un microcosme de sol permettant d'évaluer la biosorption d'éléments métalliques par du mycélium fongique., Benjelloun Ilham [et al.] 84

Etude expérimentale par Tomographie Laser de l'évolution d'un écoulement généré par un jet impactant pour le renouvellement d'air dans l'habitat, Abed-Meraim Kamel 86

Etude du Tompon Hydrique (MBV) d'un matériau biosourcé, Chennouf Nawal [et al.] 89

Contrôle optimal de la source hybride basé sur la combinaison entre la PBC et HJB, Benmouna Amel 92

Détermination des paramètres thermiques de couches minces par thermoréflectance et ajustement numérique multiparamètre, Bardoux Mathieu [et al.] 95

Etude numérique du comportement hygrothermique d'un matériau biosourcé pour une construction durable, Alioua Tarek [et al.] 98

Représentation d'état d'ordre réduit des équations de Vlasov-Poisson, Cisse Amadou [et al.] 101

Application de l'Analyse de Cycle de Vie Dynamique pour l'évaluation de l'impact environnemental d'une baie double vitrage-menuiserie acier, Megange Patrice . . 104

Modélisation de l'auto-inflammation de matériaux énergétiques : vers une approche utilisant les automates cellulaires, Gillard Philippe 107

Etude thermique d'une carte électronique, Joly Frederic 110

Plate forme partagée Pédagogie Recherche appuyée du projet Master@Longwy, El Ganaoui Mohamed [et al.] 113

Informatique / Robotique / Imagerie / Electronique / Mathématiques **117**

Investigation des matériaux les plus appropriés pour réaliser les électrodes nécessaires à la mesure de l'électrocardiogramme à domicile, Vauche Rémy [et al.] . . . 117

Sur la détermination du périmètre du Colisée, Ginoux Jean-Marc [et al.] 121

Géométrie de l'Information Finslerienne R-complexe, Corbier Christophe 125

Estimation de l'attitude d'un véhicule à partir d'un système de fusion multi-capteurs basé sur le filtrage particulaire, Al-Assaad Hiba [et al.] 128

Reconnaissance des émotions par l'informatique affective, Yang Fan [et al.] 131

Synthèse d'observateurs fonctionels à temps de convergence finie, Rios Ruiz Carlos [et al.] 134

Tableaux accessibles dans les documents numériques, Romeo-Pakker Katerin [et al.] 138

Modèle Binaire Local multispectral pour le diagnostic du paludisme sans coloration, Kossonou Yao Taky Alvarez [et al.] 141

Procédé de Datation des Images et de Caractérisation de la Fréquence d'Acquisition des Caméras Video, Grimaldi Michel [et al.] 144

Apprendre à programmer en autonomie et par l'exemple: efficacité d'une plateforme en ligne dédiée, Moulin Antoine [et al.] 147

Capteurs connectés et supervision, Mousseau Pierre [et al.] 150

De la sérendipité dans les projets pour cultiver l'imprévisible..., Vareille Jean [et al.] 152

Économie circulaire, développement durable et modélisation mathématique, Vareille Jean [et al.] 155

Détection de fortes collisions pour robots humanoïdes : application au robot NAO, Hugel Vincent 158

Adaptive Functional Electrical Stimulation (AFES) to Increase Ankle Dorsiflexion in Spastic Paresis, Canchola Hernandez Carlos Jaime 161

RoboCup 2019 : University and IUT Toulon RCT Team Presentation, Gies Valentin 164

Etude du comportement d'un réseau électrique utilisé pour la transmission de données numériques, Aouichak Ismail [et al.] 168

Automatic detection of disc herniation using axial view MRI, Mbarki Wafa . . . 171

Évaluation en temps réel des états de stress et de fatigue chez les " GAMERS " des jeux violents, Dhaouadi Sabrine 174

Application of Deep Belief Network for early smoke detection, Bouchouicha Moez 178

Matériaux / Mécanique **181**

La porosité : une question de taille !, Salem Thouraya 181

Porosité de bétons bio-sourcés par méthode thermique, Salem Thouraya 185

Détermination rapide du comportement en fatigue des composites stratifiés en Carbone/Epoxyde basés sur des phénomènes thermodynamiques observés par thermographie infrarouge, Gong Xiaojing 186

Effet de l'ajout de fibres de Posidonia-Oceanica sur les proprietés thermiques et mécanique d'une pâte de ciment, Hamdaoui Ons [et al.] 189

Mesure de l'atténuation acoustique d'un matériau bio-sourcé : la mousse de tanin, Fontaine Jean-François 192

SHS / Lettres / Langues / Communication **195**

Contemporary erotic feminine literature. The renewal of a gender, Atzenhoffer Régine 195

Cinéma et cordel au Brésil : jeux de miroirs, Debs Sylvie 199

De l'image de marque à l'image de la marque : marketing horloger de luxe et réseaux sociaux, Bigey Magali 200

Pour en finir avec la réalité virtuelle, Nannipieri Olivier [et al.] 203

Quand des étudiants produisent un tutoriel vidéo sur l'orthographe : retour d'expérience, Thobois Jacob Laetitia [et al.] 206

Autre **209**

L'autoévaluation, un outil pour la réussite des étudiant(e)s de première année d'IUT, Valls Robert [et al.] 209

Liste des auteurs **214**

Chimie / Biologie / Santé

Annélation [3+2] catalysée au cobalt entre des *ortho*-halogénoarylimines et des alcènes pour la préparation d'indanamines

Jérôme Paul[a], Marc Presset[a]*, Eric Léonel[a,b], Erwan Le Gall[a,b]*

a. Électrochimie et Synthèse Organique, Université Paris Est, ICMPE (UMR 7182), CNRS, UPEC, 2-8 rue Henri Dunant, F-94320 Thiais, France

b. IUT de Créteil-Vitry, Université Paris-Est Créteil, 61, avenue du Général de Gaulle, 94010 Créteil Cedex, France

THEMATIQUE – Chimie – Biologie – Santé. Section CNU 32

RESUME - L'utilisation d'un système catalytique $CoBr_2$/1,10-phénanthroline et de zinc comme réducteur, pour la préparation d'indanamines diversement substituées par réaction d'annélation [3+2] entre *o*-halogénoarylimines et oléfines activées, est décrite. L'utilisation de manganèse comme réducteur en remplacement du zinc a permis d'élaborer une version à trois composants de cette réaction. Ces conditions se sont également avérées appropriées pour l'activation de divers halogénures et ont été étendues à la préparation des structures indénamine et strigolactame.

Mots-clés—Annélation; Réactions multicomposant; Catalyse au cobalt; Indanamines.

1. INTRODUCTION

L'utilisation en catalyse des métaux de transition de la première ligne est de plus en plus importante en raison de leur abondance naturelle, leur coût réduit et leur faible toxicité.[1] Dans ce contexte, le cobalt est particulièrement intéressant car il peut catalyser un grand nombre de réactions avec une grande tolérance fonctionnelle. Ainsi, les complexes de cobalt sont notamment adaptés aux réactions d'annélation, et en particulier aux cycloadditions [2+2+2],[2,3] en raison de leur grande affinité pour les systèmes π.[4,5] Le domaine des réactions de couplage croisé a également largement bénéficié de la catalyse au cobalt, dans les réactions traditionnelles entre une espèce organométallique et un électrophile,[6,7] et, plus récemment, dans les couplages réductifs entre deux électrophiles.[8,9] En 2003, Cheng a montré que des réactions d'annélation [3+2] entre des aldéhydes ou cétones aromatiques *o*-iodés et des alcènes ou alcynes pouvaient également être catalysées au cobalt et permettaient la synthèse efficace d'indènes et d'indanols.[10,11] Les indanamines, qui sont des homologues azotés étroitement apparentés, sont des cibles pertinentes pour le chimiste organicien. En effet, cette structure est une caractéristique clé de l'herbicide à large spectre Indaziflam,[12] des inhibiteurs du VIH-1 comme le (+)-DMJ-II-121[13] et les phytohormones de type strigolactame (Figure 1).[14]

Ces dernières années, notre groupe a développé des réactions cobalta-catalysées basées sur l'activation d'halogénures par un système catalytique Co(II)/réducteur. Ce type de méthodologie a été appliquée avec succès aux réactions de Mannich organométallique impliquant des halogénures d'aryle[15,16] et à des procédures domino initiées par des additions sur des accepteurs de Michael.[17] Ainsi, nous avons récemment rapporté une nouvelle synthèse de $\beta^{2,3}$-aminoesters par assemblage multicomposant d'halogénures d'aryle, d'accepteurs de Michael et d'imines sulfonylées.[18,19] C'est dans la continuité de ces derniers travaux que nous décrivons ici le développement d'une version intramoléculaire de la réaction conduisant à des indanamines par annélation [3+2] d'*o*-halogénoarylimines avec des accepteurs de Michael, ainsi que l'élaboration de la version à trois composants (3CR) de cette réaction.

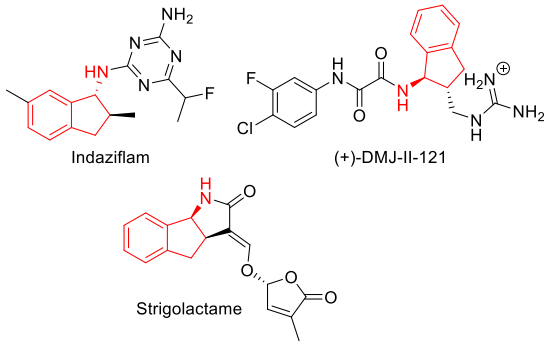


Fig.1 Composés d'intérêt présentant un motif indanamine

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Nous avons commencé notre étude sur la réaction d'annélation en nous appuyant sur nos conditions précédemment optimisées pour la réaction multicomposant correspondante impliquant des halogénures d'aryle, des imines et des accepteurs de Michael.[19] Au travers de ces essais préliminaires, nous avons pu montrer que l'association entre le Co(II) et la phénanthroline en tant que ligand était optimale et que des bromures aromatiques étaient aussi efficaces que les iodures correspondants. A l'aide d'expériences de NOESY, nous avons également pu observer un rapport diastéréoisomérique de 3,6 pour 1 en faveur du stéréoisomère *trans*.

Nous avons ensuite étudié la portée de la réaction dans ces conditions optimales établies précédemment. Les résultats sont regroupés dans le schéma 1.

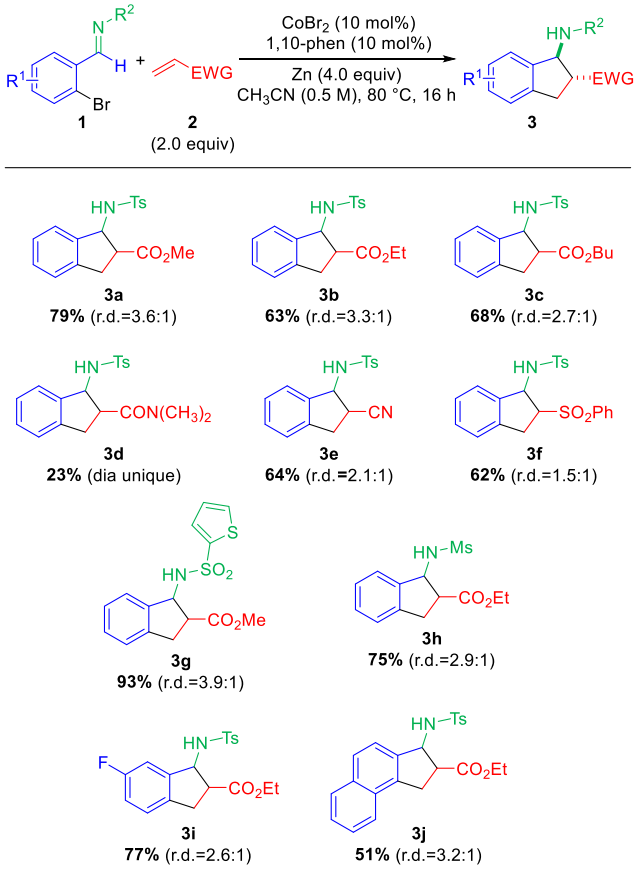


Schéma 2 Portée de la réaction d'annélation à deux composants (2CR)

Divers accepteurs de Michael ont tout d'abord été évalués. Alors que les acrylates d'éthyle et de butyle ont fonctionné efficacement (**3b** : 63% et **3c** : 68%, respectivement) avec des diastéréosélectivités similaires, la réaction réalisée avec le *N*,*N*-diméthylacrylamide a permis l'isolement d'un seul diastéréoisomère de **3d**, mais avec un rendement modeste de 23%. D'autres alcènes déficitaires en électrons comme l'acrylonitrile (64 %, **3e**)[20] et la phénylvinylsulfone (62 %, **3f**) ont également constitué des partenaires efficaces, mais avec un faible stéréocontrôle. Néanmoins, l'utilisation d'accepteurs de Michael substitués en position β n'est pas tolérée par la réaction. L'utilisation de substrats portant un groupe mésyle ou 2-thiophènesulfonyle a permis d'obtenir les produits attendus **3g** et **3h** avec des rendements améliorés (75% et 93%, respectivement). La présence d'un groupe attracteur d'électrons sur la fonction imine est toujours requise. Néanmoins, cette nécessité a pu être utilisée avantageusement pour accéder au groupe amine libre en utilisant un substituant facilement clivable tel que le 2-thiophènesulfonyle. Ainsi, en utilisant un excès de magnésium dans le méthanol,[21] la déprotection de **3g** en **3g'** a pu être réalisée dans des conditions douces avec un rendement non optimisé de 52% et sans modification du rapport diastéréoisomérique (schéma 2).

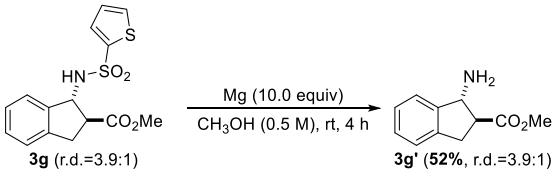


Schéma 2 Déprotection de **3g**

L'effet de la substitution du cycle aromatique de **1** a également été examiné. Ainsi, l'introduction d'un atome de fluor a donné des résultats tout aussi bons (**3i**, 77%),[22] alors que l'utilisation d'un substrat dérivé du naphtalène a permis la formation du produit tricyclique correspondant **3j** avec 51% de rendement.

Comme l'élaboration de réactions multicomposant originales est d'un intérêt constant dans notre groupe,[23] nous nous sommes demandé si le développement d'une version à trois composants de cette réaction était envisageable. En effet, les imines de départ peuvent être préparées par simple condensation d'un aldéhyde aromatique avec un sulfonamide primaire et ce processus devrait pouvoir prendre place *in situ*. Néanmoins, le succès potentiel de ce développement repose sur la plus grande électrophilie supposée des imines sulfonylées par rapport aux aldéhydes correspondants[24] et à la faible vitesse de la réaction d'aza-Michael des sulfonamides sur les oléfines activées. Nous avons donc réalisé une brève optimisation du protocole à trois composants qui nous a permis de nous rendre compte que dans ce cas, le manganèse fonctionnait mieux, en tant que réducteur, que le zinc.[25]

La portée de ce nouveau protocole à trois composants a ensuite été brièvement examinée et les résultats sont rapportés dans le schéma 3. Dans tous les cas, les rendements sont inférieurs à ceux observés pour les réactions à deux composants, en raison notamment de purifications plus complexes, mais restent utiles pour l'élaboration rapide d'une petite bibliothèque de composés. Fait remarquable, les diastéréosélectivités sont les mêmes que celles observées dans les réactions utilisant deux composants. Tous les acrylates utilisés précédemment ont également fonctionné dans cette réaction, mais avec des rendements plus modérés. Il est néanmoins intéressant de noter que l'*o*-chlorobenzaldéhyde, moins cher, est également un substrat approprié et, dans ce cas, le produit a pu être isolé avec un rendement de 23%. La réaction à trois composants a également toléré divers partenaires réactionnels. Ainsi, l'utilisation d'acrylonitrile comme accepteur de Michael, de mésylamide comme composé azoté et de 3-fluoro *o*-bromobenzaldéhyde comme composé carbonylé ont donné les produits de couplage correspondants **3e**, **3h** et **3i** avec des rendements de 29%, 19% et 20%, respectivement.

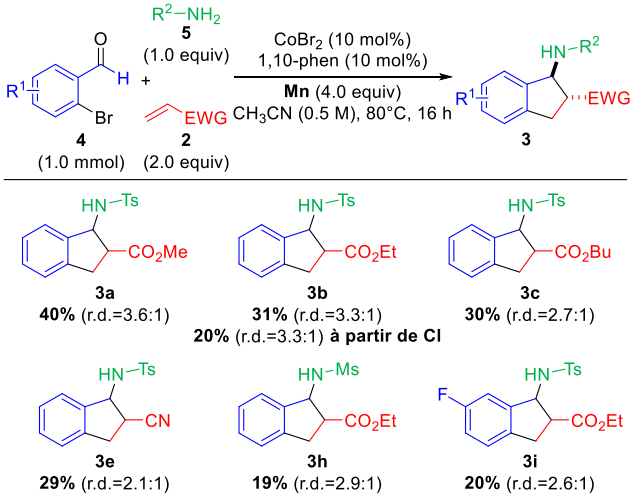


Schéma 3 Portée de la réaction d'annélation à 3 composants

Afin de démontrer davantage l'utilité de ces conditions pour les réactions d'annélation cobalta-catalysées, la procédure a été étendue à la préparation d'autres structures moléculaires. Ainsi, la réaction effectuée avec la bromoimine **1a** et le 3-hexyne **6** a permis l'obtention de l'indénamine **7** avec un rendement isolé de

64% (schéma 4a). Il est important de noter que la version à trois composants de cette réaction utilisant l'*o*-bromobenzaldéhyde **4a** et le *p*-toluènesulfonamide **5a** au lieu de l'imine **1a** préformée (3CR au lieu de 2CR) a très bien fonctionné, fournissant **7** à 53% avec du Mn comme réducteur. Cette méthode est ainsi complémentaire de celles de Cheng car elle permet l'utilisation d'une imine substituée par un groupe électroattracteur potentiellement clivable. D'autre part, les conditions actuelles convenaient également à la synthèse des précurseurs de strigolactame. En effet, en remplaçant l'acrylate par l'itaconate de diméthyle **8**,[26] une réaction domino impliquant une lactamisation intramoléculaire finale a eu lieu et a conduit au produit tricyclique **9** attendu avec un rendement de 31% et une jonction de cycles *cis* exclusive (schéma 4b).

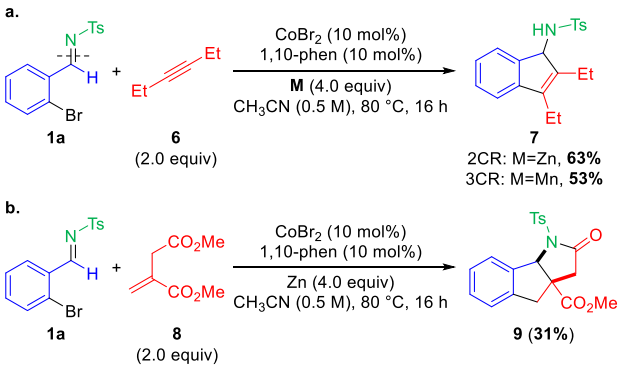


Schéma 4 Synthèse d'une indénamine (a) et d'un précurseur de strigolactame (b)

3. Soumission de la communication

La soumission se fait en ligne à partir du site électronique de la conférence : http://cnriut2019.sciencesconf.org/ (voir la rubrique 'Soumission en ligne des communications').

Le fichier soumis sera préalablement converti au format PDF avec les polices incorporées et ne devra pas excéder la taille maximale de 3.5 Mo.

4. Conclusions

En conclusion, nous avons développé un système catalytique au cobalt, général et efficace, pour l'annélation [3+2] des *o*-halogénoarylimines avec des alcènes ou des alcynes. Les réactions reposent sur l'utilisation de complexes de cobalt bon marché et largement disponibles et permettent la préparation simple et rapide d'indanamines par des réactions à deux ou trois composants. Ces conditions peuvent également s'appliquer à la synthèse des indénamines et de précurseurs de strigolactames.

5. Remerciements

Les auteurs remercient le CNRS et l'UPEC (bourse de thèse de J. Paul) pour leur aide financière.

6. References

[1] *Catalysis without Precious Metals*; Bullock, R. M., Ed.; Wiley-VCH: Weinheim, Germany, **2010**.
[2] Gandon, V.; Aubert, C.; Malacria, M. *Chem. Commun.* **2006**, 2209–2217.
[3] Broere, D. L. J.; Ruijter, E. *Synthesis* **2012**, *44*, 2639–2672.
[4] Pellissier, H.; Clavier, H. *Chem. Rev.* **2014**, *114*, 2775–2823.
[5] Gandeepan, P.; Cheng, C.–H. *Acc. Chem. Res.* **2015**, *48*, 1194–1206.
[6] Gosmini, C.; Bégouin, J.-M.; Moncomble, A. *Chem. Commun.* **2008**, 3221−3233.
[7] Cahiez, G. R.; Moyeux, A. *Chem. Rev.* **2010**, *110*, 1435−1462.
[8] Knappke, C. E. I.; Grupe, S.; Gärtner, D.; Corpet, M.; Gosmini, C.; Jacobi von Wangelin, A. *Chem. - Eur. J.* **2014**, *20*, 6828–6842.
[9] Everson, D. A.; Weix, D. J. *J. Org. Chem.* **2014**, *79*, 4793–4798.
[10] Chang, K.-J.; Rayabarapu, D. K.; Cheng, C.-H. *Org. Lett.* **2003**, *5*, 3963−3966.
[11] Chang, K.-J.; Rayabarapu, D. K.; Cheng, C.-H. *J. Org. Chem.* **2004**, *69*, 4781−4787.
[12] Ahrens, H. *ACS Symposium Series* **2015**, *1204*, 233–245.
[13] Courter, J. R.; Madani, N.; Sodroski, J.; Schön, A.; Freire, E.; Kwong, P. D.; Hendrickson, W. A.; Chaiken, I. M.; LaLonde, J. M.; Smith, A. B., III *Acc. Chem. Res.* **2014**, *47*, 1228−1237.
[14] Lachia, M.; Wolf, H. C.; Jung, P. J. M.; Screpanti, C.; De Mesmaeker, A. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2015**, *25*, 2184–2188.
[15] Paul, J.; Presset, M.; Le Gall, E. *Eur. J. Org. Chem.* **2017**, 2386–2406.
[16] Le Gall, E.; Haurena, C.; Sengmany, S.; Martens, T.; Troupel, M. *J. Org. Chem.* **2009**, *74*, 7970−7973.
[17] Le Gall, E.; Léonel, E. *Chem. Eur. J.* **2013**, *19*, 5238−5241.
[18] Le Gall, E.; Sengmany, S.; Samb, I.; Benakrour, S.; Colin, C.; Pignon, A.; Léonel, E. *Org. Biomol. Chem.* **2014**, *12*, 3423–3426.
[19] Paul, J.; Presset, M.; Cantagrel, F.; Le Gall, E.; Léonel, E. *Chem. - Eur. J.* **2017**, *23*, 402−406.
[20] Contrairement à ce qui avait été observé par Cheng (ref 11), aucune décyanation n'a été observée dans ce processus.
[21] González, A. S.; Arrayás, R. G.; Carretero, J. C. *Org. Lett.* **2008**, *8*, 2977–2980.
[22] L'introduction de groupements donneurs sur le cycle aromatique n'est pas tolérée par la réaction.
[23] *Multicomponent Reaction in Organic Synthesis*; Zhu, J.; Wang, Q.; Wang, M.-X., Eds.; Wiley-VCH: Weinheim, **2015**.
[24] Appel, R.; Chelli, S.; Tokuyasu, T.; Troshin, K.; Mayr, H. *J. Am. Chem. Soc.* **2013**, *135*, 6579–6587.
[25] Le manganèse avait déjà été utilisé comme réducteur dans un système multicomposant similaire, voir : Pignon, A.; Le Gall, E.; Martens, T. *Belstein J. Org. Chem.* **2014**, *10*, 425–431.
[26] Pour un exemple d'utilisation d'itaconate dans un processus domino, voir : Le Floch, C.; Laymand, K.; Le Gall, E.; Léonel, E. *Adv. Synth. Catal.* **2012**, *354*, 823–827.

Techniques de synchronisation de signaux de marche

Frédéric BONNARDOT*
prenom.nom@univ-st-etienne.fr

Univ Lyon, UJM Saint Etienne, LASPI, EA 3059, F-42334, Roanne, France.*

Thèmes – *Santé - Informatique - Mathématiques*

Résumé – *En 2010-2011, une campagne d'acquisition de signaux de marche a été réalisée par le LPE et le CHU de l'université Jean Monnet de St Etienne. Pour chaque marcheur, l'évolution au fil du temps de la pression exercée par le talon et l'orteil sur une semelle instrumentée a été recueillie pour les deux pieds (4 signaux de pression). Cette étude a été réalisée sur 500 sujets entre 75 et 85 ans en vue de détecter les personnes susceptibles de chuter.*
Pour traiter ces signaux, nous voulons exploiter le caractère cyclique de ces signaux afin d'extraire des indicateurs (d'autres approches existent). Malheureusement, la période d'un pas est légèrement variable dans le temps. Nous devons donc synchroniser les signaux pour rendre "artificiellement" cette période constante. Cet article présente plusieurs méthodes de synchronisation basées sur la détection de maximum locaux, l'inter-corrélation, l'exploitation de la phase du signal et les évalue.

Mots-clés – *Analyse de la marche, Synchronisation, Ré-échantillonnage, Cyclostationnarité.*

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. Des montres connectées peuvent en mesurant votre rythme cardiaque, comptabiliser les calories, ... Notre mouvement peut ainsi donner des informations sur notre santé. C'est dans cette optique que le CHU de l'Université Jean Monnet de St Etienne a réalisé une campagne de mesure sur 500 patients âgés entre 75 et 85 ans. Le but est de détecter les personnes âgées susceptibles de chuter. Cette campagne de mesure comporte des sujets "non-chuteurs" et des sujets "chuteurs". Pour chaque marcheur, l'évolution au fil du temps de la pression exercée par le talon et l'orteil sur une semelle instrumentée a été recueillie pour les deux pieds (4 signaux de pression).

Afin de traiter les signaux de pression, nous voulons tirer parti de leur aspect répétitif (ou cyclique). Malheureusement, la période d'un pas fluctuant légèrement dans le temps, les signaux bien que cyclique ne sont pas périodique. C'est pourquoi nous allons montrer ici des techniques de synchronisation dans une première partie et les évaluer dans une deuxième.

2 Technique de synchronisation

2.1 Principe général

Synchroniser le signal est équivaut à afficher ce signal en fonction du numéro de foulée au lieu du temps. Dès lors, l'élément synchronisé apparaîtra toujours à la même position à l'intérieur de la foulée. Pour arriver a synchroniser ce signal, il faut être capable d'identifier dans le signal des éléments marquants un élément identique a chaque foulée, par exemple, le maximum.

Une fois que l'on a marqué un événement identique à chaque foulée, il est alors possible de venir recaler le signal en l'étirant ou en le contractant par interpolation afin de venir faire coïncider tous les événements périodiquement.

Nous allons voir plusieurs techniques permettant de marquer un événement identique à chaque foulée.

2.2 Détection de maximums locaux

La première technique consiste à détecter les maximums locaux présents dans le signal. La recherche d'extremum se fait en recherchant les changements de signe de la dérivée. Afin de lutter contre la sensibilité de la dérivée au bruit, la dérivée est estimée en faisant en chaque point une régression polynomiale par la méthode de [1] sur un voisinage de 80 *ms* et en éliminant les pentes inférieures à 30 %.

Les résultats sont matérialisés par des points rouges sur la figure 1.

2.3 Inter-corrélation

Une autre technique consiste à utiliser l'inter-corrélation qui est un outil permettant de rechercher les ressemblances entre deux signaux. Pour cela, on calcule la valeur moyenne du produit d'un premier signal avec une version décalée d'un temps τ du second. Le résultat sera maximal pour l'instant τ où les deux signaux se ressembleront le plus.

Notre premier signal "de référence" correspondra à la première foulée. On recherchera ensuite pour chaque foulée, l'instant τ_i pour laquelle elle lui ressemblera le plus. L'ensemble de décalages $\{\tau_i\}$ ainsi trouvés nous indiquera alors les fluctuations de périodes que nous utiliserons pour re-synchroniser le signal.

La figure 1, montre une série de copies du signal de référence décalée et superposée au signal original. On remarquera que la forme du motif évolue au fil des foulées.

2.4 Phase instantanée

Pour utiliser la phase instantanée du signal [2], on filtre passe-bande le signal de telle sorte à ne garder qu'une composante fréquentielle. Le signal devient alors une exponentielle complexe (ou une sinusoïde si l'on garde les fréquences négatives) dont il suffit d'extraire la phase (c'est à dire l'angle) pour avoir une image de la position au sain de la foulée.

La figure 1, montre en pointillé une sinusoïde extraite du signal dont la fréquence évolue comme celle de la foulée.

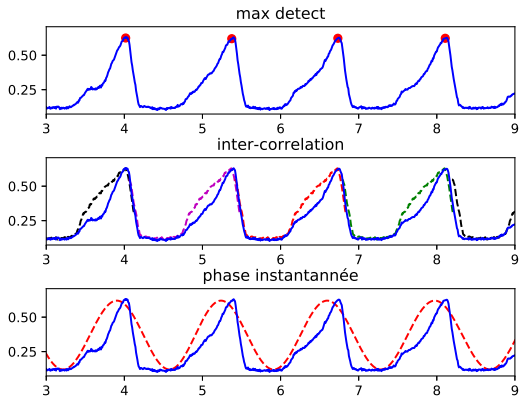


FIGURE 1 – Principe

3 Evaluation

3.1 Critère d'évaluation

Une fois le signal ré-échantillonné en fonction de la foulée, il devient possible de moyenner chaque foulée en les empilant pour obtenir la foulée moyenne comme l'illustre

la figure 2. Si la méthode de ré-échantillonnage est performante, ce motif moyen contiendra une grande partie de l'énergie de ce signal. On propose donc, pour évaluer la méthode de ré-échantillonnage de calculer le ratio entre l'énergie du motif moyen et la valeur efficace du signal.

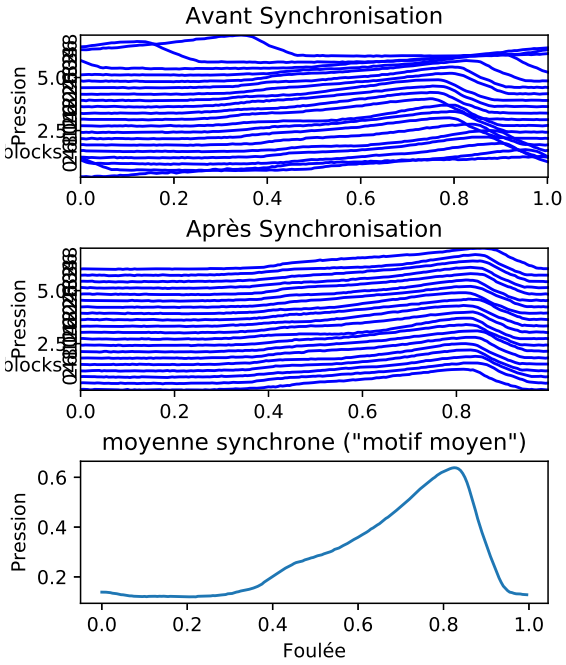


FIGURE 2 – Effet de la syncrhonisation

Cette technique donnera alors une note rendant compte de la qualité du ré-échantillonnage. Si l'énergie du motif moyen correspond à l'énergie du signal, la note sera bonne et proche de 1. Dans le cas contraire, elle sera proche de 0. Attention, les variations du signal autour du motif moyen extrait portant également de l'information sur le patient, il conviendra d'être prudent lors de la comparaison de deux notes proches !

3.2 Résultats

Les 3 méthodes ont été automatiquement mises en oeuvre pour l'ensemble des 500 patients sur les 4 capteurs afin de calculer le score défini précédemment. Le score moyen et l'écart type ont ensuite été déterminés pour chaque méthode.

La figure 3 montre la répartition moyenne / écart type pour chaque méthode et pour chaque capteur (rouge : pointe gauche, bleu pointe droite, noir : talon gauche, vert : talon droit).

On peut constater que :

— plus la note est bonne, plus l'écart type est bas. Cela signifie que si la méthode est bonne, elle donnera souvent de bons résultats, alors que si la méthode est moyenne elle pourra donner aussi bien de bons résultats que des résultats mauvais.

— l'inter-corrélation donne dans tous les cas de moins bons résultats : ces valeurs sont regroupées sur la gauche,

— pour les autres méthodes, les résultats sont meilleurs pour le talon (noir et vert) que pour la pointe (rouge et bleu). La pression exercée par le talon correspond a une phase d'atterrissage alors que celle de la pointe de propulsion qui est plus contrôlée par le cerveau.

— la synchronisation basée sur la détection de maximum et la phase instantanée donnent d'assez bons résultats sur la talon.

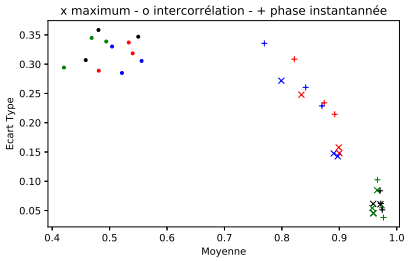


FIGURE 3 – Evaluation des méthodes

4 Conclusions

Nous avons décrit 3 techniques de synchronisation de signaux de marche basés sur la détection de maximums locaux, l'inter-corrélation et la phase instantanée. Nous avons ensuite présenté un critère permettant d'évaluer la qualité de cette synchronisation qui a été réalisée sur 500 cas.

Il apparait d'une part que la synchronisation par détection de maximum de par exploitation de la phase instantanée donnant de bons résultats et d'autre part qu'il est plus facile de synchroniser les signaux issus du talon que de la pointe.

L'auteur remercie vivement le Pr. Frédéric Roche du SNA-EPIS qui a fournis les signaux.

Références

[1] Abraham Savitzky, Marcel J. E. Golay, *Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures*, Analytical Chemistry, vol. 8, no 36, 1964, p. 1627 – 1639.

[2] F.Bonnardot, M.El Badaoui, R.B.Randall, J.Danière, F.Guillet, *Use of the acceleration signal of a gearbox in order to perform angular resampling (with limited speed fluctuation)*, Mechanical Systems and Signal Processing, 2004, vol. 19 (4), p. 766 – 785.

Cancer de la prostate, vers une prise en charge personnalisée des patients : Améliorer le diagnostic

Eric HUET[1,2,3], Vasilis STAVRINIDES[3], Hayley PYE[3], Damien DESTOUCHES[1,2], Virginie FIRLEJ[1,2], Carolina SALDANA[2,4], Alexandre de la TAILLE[2,5], Hayley WHITAKER[3], Francis VACHEROT[1,2]

[1]Université Paris-Est, IUT de Créteil-Vitry, UPEC, F-94000, Créteil, France
[2]INSERM, U955, Equipe 7, F-94000, Créteil, France
[3]Molecular Diagnostics and Therapeutics Group, Division of Surgery and Interventional Science, UCL, W1W 7TS London, United Kingdom
[4]AP-HP, Hôpitaux Universitaires Henri Mondor, Service d'oncologie, F-94000, Créteil, France 5AP-HP, Hôpitaux Universitaires Henri Mondor, Service d'urologie, F-94000, Créteil, France

THEMATIQUE- Chimie / Biologie / Santé

Mots-clés—Cancer de la prostate ; microenvironnement tumoral ; Diagnostic.

1. INTRODUCTION

Avec près de 56 8000 nouveaux cas estimés en 2012, le cancer de la prostate est le cancer le plus fréquent chez l'homme en France. Il figure au 3ème rang des causes de décès par cancer chez l'homme (8 900 par an). Rare avant 50 ans, son incidence augmente progressivement avec l'âge. Même si la plupart des malades atteints de cancer de la prostate évoluent favorablement, environ 20% développeront une maladie agressive avec l'apparition de métastases qui engage directement leur pronostic vital. En 2016, le dépistage systématique chez les hommes de plus de 50 ans par dosage du PSA sanguin a été arrêté en raison de son manque de précision. Cependant, cette position se traduit par un retour en arrière de vingt ans, où la majorité des patients étaient diagnostiqués au stade métastatique. A ce stade, les patients développent, en plus, une résistance aux traitements. Les enjeux actuels de la Recherche sur le cancer de la prostate sont donc d'améliorer le diagnostic de la maladie, d'en identifier les formes agressives et de détecter la résistance aux médicaments afin de définir de nouvelles stratégies thérapeutiques pour les patients. Au Royaume-Uni, le dépistage systématique par dosage du PSA sanguin est associé à l'imagerie médicale par IRM permettant un meilleur diagnostic et aussi de confirmer l'absence de cancer sans biopsie. Toutefois, des cas faux-positifs sont toujours à déplorer ainsi que l'absence de discrimination entre les cancers agressifs ou non. Parmi les nombreux facteurs favorisant le développement du cancer, il est maintenant reconnu que le microenvironnement tumoral joue un rôle important. Dans cette étude, nous avons donc voulu caractériser ce microenvironnement dans les biopsies des patients en combinaison avec les images IRM et chercher une association avec les formes agressives de cancer de la prostate.

2. METHODES

7 puces de microéchantillons de tissus (TMA) issus des biopsies obtenues suite à l'étude PICTURE (UCL) chez 249 patients ont été utilisées afin de caractériser le microenvironnement tumoral. Cette caractérisation a été effectuée par coloration histologique (hématoxyline & éosine et trichrome de Masson) et par immunomarquage à l'aide d'anticorps spécifiques afin d'évaluer la composition en protéine (collagène III, ténascine C), le remodelage enzymatique (collagénase 3 ou MMP-13, FAPα, EMMPRIN) ainsi que l'activation des cellules du microenvironnement tumoral (vimentine, αSMA, calponine). Avant de réaliser les analyses avec les échantillons de patients, des étapes de validation sont nécessaires ainsi que des mises au point des conditions d'immunomarquage.

3. RESULTATS

Dans un premier temps, la spécificité des anticorps choisis a été validée par Western blot dans des extraits protéiques de fibroblastes, de cellules musculaires et de cellules de cancer de la prostate. Après mise au point des conditions d'immunomarquage et validation sur des tissus contrôles, 6 anticorps sur 7 ont satisfaits les critères de sélection. L'immunomarquage des 7 TMA a été réalisé simultanément pour chacun des 6 anticorps à l'aide d'un automate d'immunomarquage identique à celui des laboratoires d'anatomopathologies des hôpitaux anglais afin de permettre la transposition rapide en pratique courante. Les lames obtenues ont ensuite été numérisées afin de pouvoir être quantifiées et interprétées. Pour cela, QuPath, un logiciel open source d'analyse d'image numérique en pathologie, a été utilisé avec certaines limites. En effet, les positions des échantillons sur les TMA ne se sont pas détectées automatiquement. Un script a donc été développé afin de positionner la carte théorique des TMA sur les images scannées. Toutefois, les positons des échantillons de tissu doivent encore être ajustées manuellement avant toutes analyses numériques.

4. CONCLUSIONS

Au final, 3984 échantillons de patient ont pu être analysés par coloration histologique et par immunomarquage pour 6 marqueurs du microenvironnement tumoral. L'interprétation des résultats obtenus nécessite l'utilisation d'un logiciel dédié à l'analyse d'images numériques en pathologie. A ce jour, ces quantifications numériques sont toujours en cours. Les comparaisons entre tissu bénin et tissu tumoral nous permettront de caractériser et de stratifier le microenvironnement du cancer de la prostate. De plus, la combinaison avec les images IRM permettra, à terme, d'établir une signature de ce microenvironnement tumoral afin d'améliorer le diagnostic des patients et d'identifier les cancers les plus agressifs.

Une synthèse douce électroassistée de phosphonates d'(hétéro)aryle

Stéphane Sengmany[a], Anthony Ollivier[a,b], Erwan Le Gall[a,b], Eric Léonel[a,b]*

a. Électrochimie et Synthèse Organique, Université Paris Est, ICMPE (UMR 7182), CNRS, UPEC, F- 94320 Thiais, France

b. IUT de Créteil-Vitry, 61 avenue du Général de Gaulle, F-94000 Créteil, France

THEMATIQUE - Chimie - Biologie – Santé. Section CNU 32

RESUME - La synthèse assistée électrochimiquement de phosphonates d'(hétéro)aryle à partir d'halogénures d'(hétéro)aryle et de phosphite de diméthyle est décrite. Des conditions très douces et simples sont employées car le couplage croisé est réalisé en mode galvanostatique, dans une cellule non divisée à la température ambiante, en utilisant $NiBr_2$bpy comme pré-catalyseur facilement disponible et de l'acétonitrile en tant que solvant. De plus, les iodures et les bromures d'aryle peuvent être utilisés, fournissant les phosphonates d'(hétéro)aryle correspondants avec des rendements généralement bons.

Mots-clés—Electrosynthèse organique, Procédé à anode consommable, Nickel, Phosphonates d'(hétéro)aryle.

1. INTRODUCTION

Comme alternative possible à la synthèse organique classique, l'électrosynthèse organique[1] a fait l'objet d'un intérêt constant[2] au cours des dernières décennies, donnant ainsi lieu à de nombreux travaux novateurs.[3] L'émergence de méthodologies de synthèse conceptuellement nouvelles basées sur le transfert mono-électronique, comme la catalyse photoredox,[4] a également suscité un vif intérêt. Ces concepts comparables impliqués dans les deux domaines ont montré un regain d'intérêt. Dans ce contexte et à notre connaissance, l'utilisation de procédures électrosynthétiques pour la préparation de phosphonates d'aryles n'a pas été décrite à ce jour. Cependant, les composés contenant du phosphore aromatique sont largement répandus en science des matériaux[5] et peuvent également présenter de nombreuses applications intéressantes en biochimie[6] et en catalyse.[7] Les méthodes les plus pratiques pour leur synthèse impliquent généralement un couplage C-P entre des halogénures d'aryle et des réactifs nucléophiles contenant du phosphore.[8] Depuis les travaux pionniers de Hirao,[9] la plupart des procédures rencontrées sont basées sur des réactions de couplage croisé catalysées au palladium,[10] ainsi qu'au cuivre.[11] Bien que le nickel puisse représenter une alternative intéressante aux métaux plus toxiques et/ou coûteux, cette catalyse est de plus en plus développée.[12] Récemment, Han *et al.* ont décrit un couplage croisé élégant, sans réducteur, d'halogénures d'aryle avec des phosphites de dialkyle.[12a] Cependant, ce processus effectué à haute température, est moins efficace pour les halogénures aromatiques portant des groupements électrodonneurs. Ensuite, Le groupe de Han et Chen a décrit la phosphonylation de pivalates au reflux de toluène (figure 1a). Dans ce cas, le catalyseur $Ni(cod)_2$ a été utilisé en présence de 1,2-*bis*-(dicyclohexylphosphino)éthane en tant que ligand externe et le phosphite de dialkyle a dû être introduit en deux étapes, séparées par 12h au total.[12b]. Il y a quelques années, Yamagishi a décrit la synthèse de phosphinates d'aryles par couplage au zinc d'halogénures d'aryle et de *H*-phosphinate catalysée par le nickel dans des conditions douces (figure 1b).[12c] Cependant, il n'a pas été mentionné l'utilisation de phosphites de dialkyle dans la réaction et les couplages n'étaient efficaces qu'avec des iodures d'aryle. La plupart des méthodes impliquant la catalyse au Ni peuvent être exigeantes sur le plan expérimental ou peuvent nécessiter de longs temps de réaction à des températures élevées pour obtenir les dérivés du phosphore. Cependant, un procédé doux, rapide et général utilisant un précursseur catalytique de Ni simple d'emploi pour la synthèse de phosphonates aromatiques reste souhaitable.

Dans notre équipe, l'activation par électrochimie d'halogénures d'aryle catalysée par Ni présente un intérêt constant. Nous avons décrit, lors de travaux antérieurs, le couplage réducteur électrochimique d'amines ou de diazines hétéroaromatiques avec des halogénures aromatiques au moyen d'un procédé anodique au fer ou au fer/nickel.[13] Dans cet article, nous reportons le premier couplage électrochimique de bromures d'aryle avec du phosphite de diméthyle catalysé par le nickel (figure 1c).

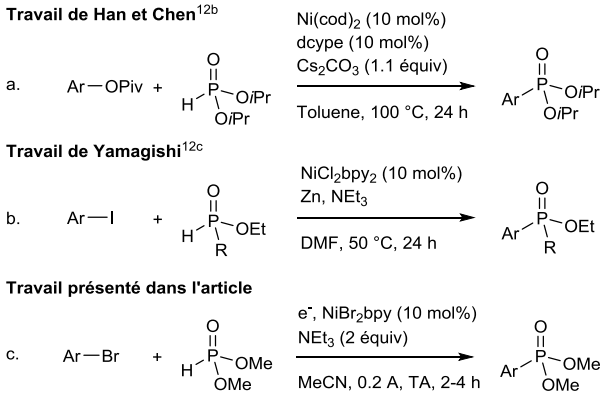


Fig.1 Couplage C-P d'halogénures d'aryle avec des composés du phosphore catalysé par le nickel.

2.1. *Etude des paramètres réactionnels et description du matériel employé*

Pour débuter l'étude, le couplage électrochimique du bromoanisole **1a** ou de l'iodoanisole **1a'** avec le phosphite de diméthyle **2** a été tenté, par catalyse au nickel, dans une cellule non divisée munie d'une cathode en mousse de nickel et d'une anode consommable en métal. Le mode galvanostatique expérimentalement simple (aucune électrode de référence, alimentation stabilisée) a été choisi pour l'électrolyse (figure 2).

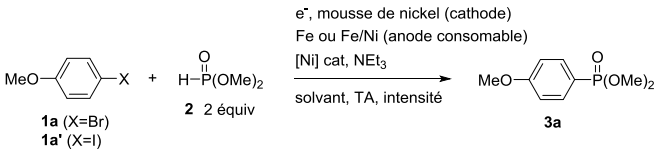


Fig. 2 Réaction mise en œuvre pour optimiser les conditions opératoires.

Différents paramètres ont été étudiés pour optimiser les conditions opératoires de la réaction présentée en figure 2. Ont été étudiés : le solvant employé, l'intensité électrique imposée, la nature du métal constituant l'anode, la nature de l'électrolyte support, la nature et le pourcentage du catalyseur employé. Les conditions opératoires optimales qui ont conduit à isoler 86% du composé **3a** sont les suivantes : emploi du bromoanisole, anode Fe/Ni, $BrNBu_4$, acétonitrile, $NiBr_2bpy$ (10%), 0,2 A, 2 équivalents de Et_3N et 3h d'électrolyse.

Le montage employé figure sur la photo ci-dessous (figure 3). Il nécessite l'emploi d'une cellule électrochimique en verre portant en son centre un barreau métallique (anode) et, placé autour de ce barreau de manière concentrique, une mousse de nickel (cathode).

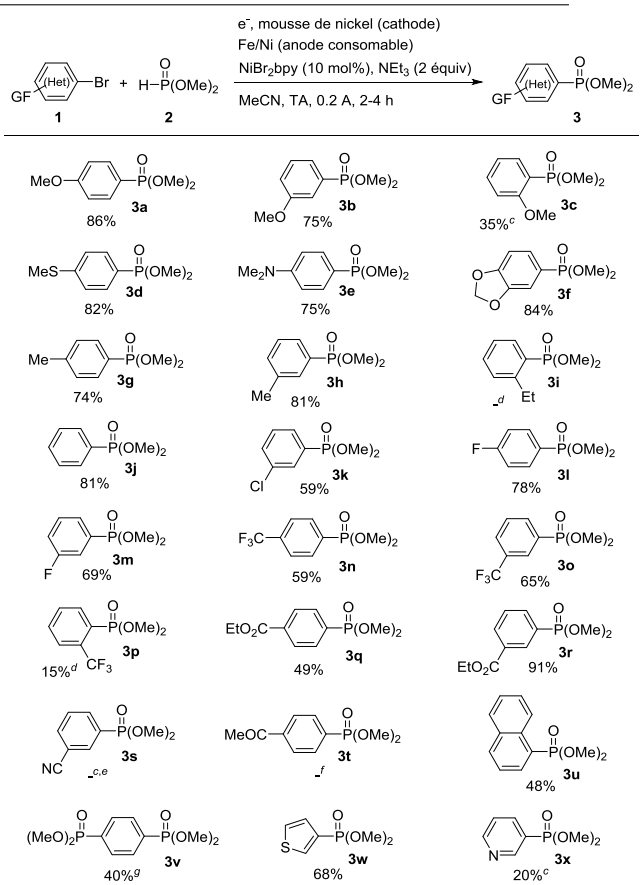
Fig. 3 Dispositif expérimental du procédé d'électrosynthèse à anode consommable employé pour ce travail.

2.2. *Application à d'autres bromures (hétéro)aromatiques et d'autres phosphites de dialkyles*

L'étendue de la réaction a ensuite été examinée dans les conditions optimisées ci-dessus. Différents bromures (hétéro)aromatiques ont été employés. Les résultats sont présentés dans le tableau 1.

La réaction s'est révélée générale et permet d'utiliser de multiples halogénures d'aryle. En effet, les bromures d'aryle riches ou pauvres en électrons ont permis le couplage avec du phosphite de diméthyle, fournissant les produits de couplage correspondants avec des rendements de bons à élevés. Contrairement à ce qui avait été observé par Han et ses collaborateurs,[12a] les phényles substitués par des groupes donneurs d'électrons donnaient les meilleurs rendements en produits de couplage (**3a**-**3h**). Il est intéressant de noter que le couplage peut être effectué efficacement lorsque le phényle est remplacé par le 1,2-(méthylènedioxy) (**3f**).

Tableau 1. Extension de la réaction aux bromures d'(hétéro)aromatiques



[a] Conditions générales: anode en fer / nickel (64/36), cathode en mousse de nickel, acétonitrile (20 ml), bromure de tétrabutylammonium (0,15 mmol), 1,2-dibromoéthane (0,3 mmol), $NiBr_2bpy$ (10 mol%), bromure (hétéro) aromatique (4 mmol), phosphite de diméthyle (8 mmol), I = 0,2 A (1,9-3,7 F / mol), température ambiante. [b] Rendement isolé. Produit d'hydro-déshalogénation du bromure (hétéro)aromatique en tant que composé principal. [d] Conversion incomplète. [e] Le même résultat a été obtenu à partir de 3-chlorobenzonitrile. [f] Mélange complexe. [g] Le couplage a été effectué à partir de 1,4-dibromobenzène avec 4 équiv. de phosphite de diméthyle et 4 équiv. de triméthylamine en présence de 10 mol% de $NiBr_2bpy$.

Cependant, l'encombrement stérique peut jouer un rôle important, car les phosphonates d'aryle substitués en position 2 ont été obtenus avec des rendements limités avec les groupes méthoxy, éthyle et trifluorométhyle (**3c, 3i, 3p**). Avec le substituant *o*-éthyle, seulement 20% du substrat est converti après 4h d'électrolyse. On peut noter que le 4-fluorobromobenzène, le 3-fluorobromobenzène et le 3-chlorobromobenzène peuvent être utilisés avec succès dans le processus, la liaison C-F (**3l** et **3m**) et, plus important encore, la liaison C-Cl, restant intacte à la fin du couplage (**3k**).[14] Malheureusement, les substituants cyano et oxo semblent entraver la réaction car le produit d'hydro-déshalogénation où des mélanges complexes ont été respectivement observés à partir des bromures correspondants. Le 1-bromonaphtalène s'est révélé utilisable dans la réaction, le produit de couplage étant isolé avec un rendement satisfaisant (**3u**). De plus, le 1,4-dibromobenzène peut être phosphonylé en présence de 4 équivalents. de phosphite de diméthyle pour favoriser un double couplage croisé sur le substrat de départ (**3v**). Bien que le produit de diphosphonylation **3v** se soit révélé être le produit principal de la réaction, le rendement était quelque peu limité. Ce résultat semble tout à fait logique, car nous avons indiqué plus haut que des bromures d'aryle pauvres en électrons fournissent les produits de couplage avec un rendement plus

limité. De plus, le bromobenzène monophosphonylé et les produits d'hydrogénation monophosphonylés ont également été détectés dans le milieu réactionnel. Enfin, les bromures hétéroaromatiques ont également été explorés dans le couplage. Malheureusement, alors que le 3-bromothiophène a conduit à un bon rendement (**3w**), la 3-bromopyridine s'est avérée moins efficace, le produit de couplage correspondant **3x** étant obtenu avec un rendement beaucoup plus limité. Dans ce dernier cas, les esssais effectués dans un mélange acétonitrile/pyridine (90/10) ou DMF/pyridine (90/10), n'ont pas permis d'améliorer le rendement.[15] De plus, d'autres halogénures hétéroaromatiques azotés (5-bromopyrimidine, 3-chloro -6-méthoxypyridazine, 2-chloroquinoléine) n'ont pas réagi avec le phosphite de diméthyle. Seuls les produits de réduction de ces substrats ont été observés.

Dans la dernière partie de l'étude, le couplage a été appliqué à d'autres phosphites de dialkyle à partir du 4-bromoanisole **1a** en tant que substrat modèle. A l'exception du phosphite de diisopropyle, où l'on n'observe que 25% de conversion, la phosphonylation permet d'obtenir les produits attendus avec de bons rendements (figure 4).

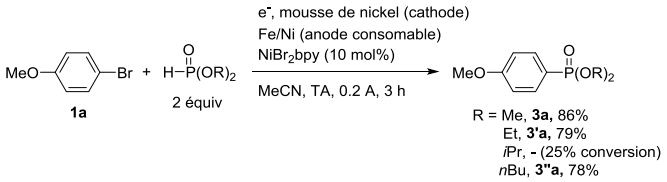


Fig. 4 Application à d'autres phosphites de dialkyle.

3. Conclusions

En résumé, les résultats rapportés ici indiquent que l'électrosynthèse organique peut représenter une méthodologie douce et efficace pour accéder à des phosphonates aromatiques et hétéroaromatiques par couplage croisé de bromures d'aryle et d'hétéroaryle avec du phosphite de diméthyle. Le processus peut être étendu à d'autres phosphites de dialkyle. Parmi les procédures catalysées au Ni décrites précédemment, il s'agit, à notre connaissance, de la seule solution permettant ce type de couplage croisé à la température ambiante et donnant accès aux composés finaux en quelques heures.

4. Remerciements

Les auteurs remercient le CNRS et l'UPEC pour leur soutien financier à ces travaux. A. Ollivier remercie l'IUT de Créteil-Vitry pour son poste d'ATER.

5. References

[1] Pour des revues récentes, voir : (*a*) R. Francke, R. D. Little, *Chem. Soc. Rev.*, **2014**, *43*, 2492; (*b*) R. Francke, *Beilstein J. Org. Chem.*, **2014**, *10*, 2858; (*c*) M. Yan, Y. Kawamata, P. S. Baran, *Chem. Rev.*, **2017**, *117*, 13230.

[2] Pour quelques exemples sélectionnés, voir : (*a*) B. A. Frontana-Uribe, R. D. Little, J. G. Ibanez, A. Palma, R. Vasquez-Medrano, *Green Chem.*, **2010**, *12*, 2099; (*b*) J.-i. Yoshida, K. Kataoka, R. Horcajada, A. Nagaki, *Chem. Rev.*, **2008**, *108*, 2265; (*c*) L. Schulz, M. Enders, B. Elsler, D. Schollmeyer, K. M. Dyballa, R. Franke, S. R. Waldvogel, *Ang. Chem. Int. Ed.*, **2017**, *56*, 4877; (*d*) T. Gieshoff, A. Kehl, D. Schollmeyer, K. D. Moeller, S. R. Waldvogel, *Chem. Commun.*, **2017**, *53*, 2974. (*e*) N. Sauermann, T. H. Meyer, C. Tian, L. Ackermann, *J. Am. Chem. Soc.*, **2017**, *139*, 18452.

[3] (*a*) E. J. Horn, B. R. Rosen, Y. Chen, J. Tang, K. Chen, M. D. Eastgate, P. S. Baran, *Nature*, **2016**, *533*, 77; (*b*) C. Li, Y. Kawamata, H. Nakamura, J. C. Vantourout, Z. Liu, Q. Hou, D. Bao, J. T. Starr, J. Chen, M. Yan, P. S. Baran, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2017**, *56*, 13088, (*c*) A. G. O'Brien, A. Maruyama, Y. Inokuma, M. Fujita, P. S. Baran, D. G. Blackmond, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2014**, *53*, 11868.

[4] Pour des revues récentes, voir : (*a*) N. A. Romero, D. A. Nicewicz, *Chem. Rev.*, **2016**, *116*, 10075; (*b*) C. K. Prier, D. A. Rankic, D. W. C. MacMillan, *Chem. Rev.*, **2013**, *113*, 5322. (*c*) Pour un exemple de couplage C-P par photocatalyse, voir : R. S. Shaikh, S. J. S. Düsel, B. König, *ACS Catalysis*, **2016**, *6*, 8410.

[5] (*a*) T. Bock, H. Möhwald, R. Mülhaupt, *Macromol. Chem. Phys.*, **2007**, *208*, 1324; (*b*) F.-M. Hsu, C.-H. Chien, C.-F. Shu, C.-H. Lai, C.-C. Hsieh, K.-W. Wang, P.-T. Chou, *Adv. Funct. Mater.*, **2009**, *19*, 2834; (*c*) O. R. Evans, D. R. Manke, W. Lin, *Chem. Mater.*, **2002**, *14*, 3866.

[6] (*a*) Q. Dang, Y. Liu, D. K. Cashion, S. R. Kasibhatla, T. Jiang, F. Taplin, J. D. Jacintho, H. Li, Z. Sun, Y. Fan, J. DaRe, F. Tian, W. Li, T. Gibson, R. Lemus, P. D. van Poelje, S. C. Potter, M. D. Erion, *J. Med. Chem.*, **2011**, *54*, 153; (*b*) P. Lassaux, M. Hamel, M. Gulea, H. Delbrück, P. S. Mercuri, L. Horsfall, D. Dehareng, M. Kupper, J.-M. Frère, K. Hoffmann, M. Galleni, C. Bebrone, *J. Med. Chem.*, **2010**, *53*, 4862; (*c*) K. Moonen, I. Laureyn, C. V. Stevens, *Chem. Rev.*, **2004**, *104*, 6177; (*d*) R. Engel, *Chem. Rev.*, **1977**, *77*, 349; (*e*) C. Liu, S. G. Dumbre, C. Pannecouque, C. Huang, R. G. Ptak, M. G. Murray, S. De Jonghe, P. Herdewijn, *J. Med. Chem.*, **2016**, *59*, 9513; (*f*) S. J. Hecker, M. D. Erion, *J. Med. Chem.*, **2008**, *51*, 2328; (*g*) V. Pham, W. Zhang, V. Chen, T. Whitney, J. Yao, D. Froese, A. D. Friesen, J. M. Diakur, W. Haque, *J. Med. Chem.*, **2003**, *46*, 3680.

[7] (*a*) M.-N. Birkholz, Z. Freixa, P. W. N. M. van Leeuwen, *Chem. Soc. Rev.*, **2009**, *38*, 1099; (*b*) W. Tang, X. Zhang, *Chem. Rev.*, **2003**, *103*, 3029; (*c*) D. S. Surry, S. L. Buchwald, *Chem. Sci.*, **2011**, *2*, 27; (*d*) H. Fernández-Pérez, P. Etayo, A. Panossian, A. Vidal-Ferran, *Chem. Rev.*, **2011**, *111*, 2119.

[8] Pour plusieurs revues, voir : (*a*) F. M. J. Tappe, V. T. Trepohl, M. Oestreich, *Synthesis*, **2010**, 3037; (*b*) C. S. Demmer, N. Krogsgaard-Larsen, L. Bunch, *Chem. Rev.*, **2011**, *111*, 7981; (*c*) S. Van der Jeught, C. V. Stevens, *Chem. Rev.*, **2009**, *109*, 2672.

[9] (*a*) T. Hirao, T. Masunaga, Y. Ohshiro, T. Agawa, *Tetrahedron Lett.*, **1980**, *21*, 3595; (*b*) T. Hirao, T. Masunaga, Y. Ohshiro, T. Agawa, *Synthesis*, **1981**, 56; (*c*) H. Toshikazu, M. Toshio, Y. Naoto, O. Yoshiki, A. Toshio, *Bull. Chem. Soc. Jpn*, **1982**, *55*, 909.

[10] (*a*) M. Kalek, M. Jezowska, J. Stawinski, *Adv. Synth. Cat.*, **2009**, *351*, 3207; (*b*) W. Xu, G. Hu, P. Xu, Y. Gao, Y. Yin, Y. Zhao, *Adv. Synth. Cat.*, **2014**, *356*, 2948; (*c*) O. Berger, C. Petit, E. L. Deal, J.-L. Montchamp, *Adv. Synth. Cat.*, **2013**, *355*, 1361; (*d*) K. Xu, H. Hu, F. Yang, Y. Wu, *Eur. J. Org. Chem.*, **2013**, 319; (*e*) M. Kalek, A. Ziadi, J. Stawinski, *Org. Lett.*, **2008**, *10*, 4637; (*f*) E. L. Deal, C. Petit, J.-L. Montchamp, *Org. Lett.*, **2011**, *13*, 3270; (*g*) A. J. Bloomfield, S. B. Herzon, *Org. Lett.*, **2012**, *14*, 4370.

[11] (*a*) B. Xiong, M. Li, Y. Liu, Y. Zhou, C. Zhao, M. Goto, S.-F. Yin, L.-B. Han, *Adv. Synth. Cat.*, **2014**, *356*, 781; (*b*) J. Ballester, J. Gatignol, G. Schmidt, C. Alayrac, A.-C. Gaumont, M. Taillefer, *ChemCatChem*, **2014**, *6*, 1549; (*c*) H. Rao, Y. Jin, H. Fu, Y. Jiang, Y. Zhao, *Chem. Eur. J.*, **2006**, *12*, 3636; (*d*) C. Huang, X. Tang, H. Fu, Y. Jiang, Y. Zhao, *J. Org. Chem.*, **2006**, *71*, 5020; (*e*) D. Gelman, L. Jiang and S. L. Buchwald, *Org. Lett.*, **2003**, *5*, 2315.

[12] (*a*) Y.-L. Zhao, G.-J. Wu, Y. Li, L.-X. Gao, F.-S. Han, *Chem. Eur. J.*, **2012**, *18*, 9622; (*b*) J. Yang, J. Xiao, T. Chen, L.-B. Han, *J. Org. Chem.*, **2016**, *81*, 3911; (*c*) A. Kinbara, M. Ito, T. Abe, T. Yamagishi, *Tetrahedron*, **2015**, *71*, 7614; (*d*) X. Zhang, H. Liu, X. Hu, G. Tang, J. Zhu, Y. Zhao, *Org. Lett.*, **2011**, *13*, 3478; (*e*) C. Shen, G. Yang, W. Zhang, *Org. Biomol. Chem.*, **2012**, *10*, 3500; (*f*) Q. Yao, S. Levchik, *Tetrahedron Lett.*, **2006**, *47*, 277.

[13] (*a*) S. Sengmany, E. Léonel, F. Polissaint, J.-Y. Nédélec, M. Pipelier, C. Thobie-Gautier, D. Dubreuil, *J. Org. Chem.*, **2007**, *72*, 5631; (*b*) S. Sengmany, E. Le Gall, E. Léonel, *Molecules*, **2011**, *16*, 5550; (*c*) S. Sengmany, A. Vitu-Thiebaud, E. Le Gall, S. Condon, E. Léonel, C. Thobie-Gautier, M. Pipelier, J. Lebreton, D. Dubreuil, *J. Org. Chem.*, **2013**, *78*, 370; (*d*) S. Sengmany, S. Vasseur, A. Lajnef, E. Le Gall, E. Léonel, *Eur. J. Org. Chem.*, **2016**, 4865.

[14] A notre connaissance, il s'agit du premier exemple d'une réaction de phosphonylation catalysée par le nickel préservant une telle liaison C-Cl aromatique.

[15] L'ajout de pyridine au milieu a révélé des effets bénéfiques dans les systèmes de réaction apparentés impliquant des halogénures d'hétéroaryle. Pour plus de détails, voir: R. Rahil, S. Sengmany, E. Le Gall, E. Léonel, Synthesis, **2018**, *50*, 146.

Contacteur membranaire innovant pour la cristallisation

Maïté MICHAUD[1,2],Denis MANGIN[1,2], Catherine CHARCOSSET[1] et Elodie CHABANON[1,2]
[1] Univ Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, LAGEPP UMR 5007, 43 boulevard du 11 novembre 1918, F-69100, VILLEURBANNE, France
[2] IUT Lyon1 – GCGP - 1, rue de la Technologie, 69622 Villeurbanne cedex

THEMATIQUE – Chimie – Biologie - Santé

RESUME – L'objectif principal de cette étude est de comprendre où et comment les cristaux apparaissent dans un procédé de cristallisation par membranes. Pour ce faire, des essais en statiques réalisés en cellule de diffusion sur divers matériaux polymères denses ont permis d'obtenir une meilleure compréhension du processus. Plusieurs paramètres pouvant impacter la localisation de la cristallisation du composé modèle choisi, le $BaCO_{3(s)}$, ont été étudiés pour des systèmes gaz/liquide (G/L) et liquide/liquide (L/L). Les résultats obtenus ont permis de conclure que la perméabilité et l'énergie de surface du matériau sont les deux principaux paramètres influençant le procédé. Ainsi, le PDMS et TeflonAF2400 ont été retenus comme étant les deux matériaux les plus prometteurs pour l'application visée. Des essais dynamiques sont en cours pour confirmer les résultats obtenus en statique mais aussi pour étudier les performances du procédé.

Mots-clés : Procédés membranaires, membranes denses, contacteur membranaire, colmatage

1. INTRODUCTION

La cristallisation/précipitation est l'une des opérations majeures en matière de séparation et de purification. Avec les technologies actuelles, il est souvent difficile de contrôler la force motrice de la cristallisation, impactant à la fois la qualité du produit et l'efficacité de l'opération. Les procédés membranaires font partis des technologies de rupture proposées afin améliorer le contrôle [1]. En particulier, les contacteurs membranaires possèdent de forts atouts pour l'intensification des opérations incluant le transfert de matière (systèmes G/L [2] et systèmes L/L [3]). Cependant, la majorité des matériaux membranaires étudiés à ce jour sont des matériaux poreux, dont les limitations en termes de bouchage des pores ont été relevées à plusieurs reprises [4,5]. L'utilisation de matériaux membranaires denses permettrait de s'affranchir du colmatage interne mais le risque de colmatage de surface ne peut être exclus. Aussi, une compréhension approfondie des phénomènes et interactions mises en en jeu est primordiale afin de limiter tout risque de colmatage. Ceci implique la compréhension des paramètres influençant la localisation de la cristallisation : dans la membrane, à sa surface ou dans la solution. Pour ce faire, des expériences ont été menées en statique sur un système G/L et L/L de type diffusif/réactif avec formation du précipité $BaCO_3$. Cette première étape a donc pour objectif d'apporter une meilleure compréhension des phénomènes intervenant afin de permettre la sélection des matériaux les plus appropriés au système considéré. Enfin, des essais en dynamique permettront de valider les résultats obtenus en statique mais également d'étudier les performances du procédé.

2. MATERIEL ET METHODE

Le carbonate de baryum $BaCO_3$, est le composé modèle sélectionné parce que:

- sa cinétique de nucléation et de croissance des cristaux est bien connue et référencée dans la littérature [6]
- il ne présente qu'une seule forme polymorphe
- il peut être généré à partir d'un système G/L ou d'un système L/L
- il est un composé solide d'intérêt industriel [7]

Les matériaux membranaires denses étudiés sont des matériaux disponibles commercialement. La pré-sélection s'est faite ensuite en fonction de certaines propriétés suspectées d'avoir un impact sur la localisation de la cristallisation (voir Tableau 1).

Tableau 1: Membranes polymériques denses pré-sélectionnées

	Hydrophobicité	**Structure**
Polydiméthylsiloxane (PDMS)	Hydrophobe	Caoutchouteux
Teflon AF2400	Hydrophobe	Vitreux
Éthylène propylène fluoré (FEP)	Hydrophobe	Vitreux
Acétate de Cellulose	Hydrophile	Vitreux
Nafion (échangeuse d'ions)	Hydrophile	Vitreux

Les expériences menées en statique ont été réalisées dans une cellule de diffusion, type cellule de Franz (voir Figure 1). L'objectif étant de s'affranchir de l'hydrodynamique et de n'étudier que la diffusion à travers la membrane. L'aspect, la nature des cristaux obtenus ainsi que les caractéristiques des membranes avant/après cristallisation membranaire ont été analysés par diverses techniques analytiques (Calorimétrie différentielle à balayage DSC, angle de contact, microscopie électronique à balayage MEB, essais mécaniques, cristallographie aux rayons X DRX et potentiel Zeta).

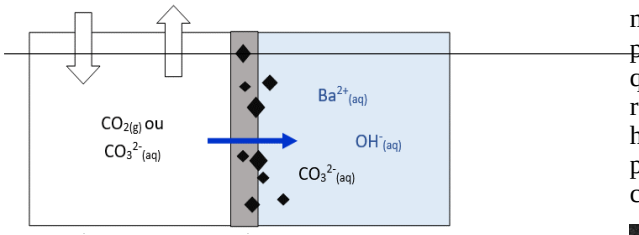


Figure 1: Schéma de la cellule de diffusion

3. Résultats Expérimentaux

3.1. Système gaz-liquide

Suite à l'ensemble des résultats obtenus en système GL/, trois catégories de matériau ont pu être distinguées en fonction de la localisation de la cristallisation (voir Figure 2) :

- **Les matériaux avec formation de cristaux à la surface de la membrane et avec colmatage de surface apparent** : Acétate de cellulose, Nafion, FEP. La tension de surface initiale du FEP (16,61 $mN.m^{-1}$) étant plus faible, ce colmatage peut être considéré comme réversible car facilement éliminé par simple lavage à l'eau. Pour l'acétate de cellulose en revanche, l'adhésion des cristaux est trop forte du fait d'une plus grande tension de surface (45,97 $mN.m^{-1}$) rendant son lavage presque impossible.
- **Les matériaux avec formation de cristaux à la surface de la membrane mais sans colmatage de surface** : PDMS et Teflon AF2400. Du fait de leur forte perméabilité au CO_2, ces matériaux ont permis de former une grande quantité de cristaux en solution, sans que ceux-ci ne soit n'adhère à la surface. Ce phénomène est ici encore lié à la faible tension de surface du matériau (du même ordre de grandeur que celle du FEP).
- **Les matériaux avec cristallisation dans la membrane et colmatage interne** : Nafion. Seul ce matériau a présenté un colmatage interne venant modifiant sa structure interne mis en évidence par les résultats obtenus sur les essais mécaniques et le potentiel Zêta. La capacité de ce matériau à transférer les ions a donc permis au baryum de le traverser. Le CO_2 diffusant lui aussi, des cristaux de $BaCO_{3(s)}$ ont alors pu se former à l'intérieur de la membrane.

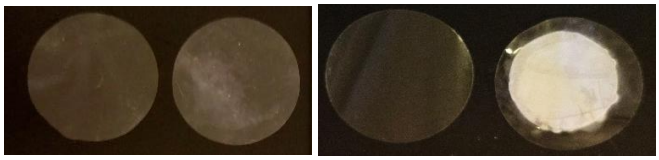


Figure 2: Photos de la surface de la membrane PDMS (à gauche) et de la membrane acétate de cellulose (à droite) avant/après cristallisation

Les résultats en système G/L permettent de conclure que la perméabilité et la tension de surface sont deux paramètres qu'il est primordial de considérer pour éviter tout colmatage interne ou de surface.

3.2. Système liquide-liquide

Dans le système L/L, seule la membrane Nafion a présenté un colmatage significatif à la pesée. Les images MEB ont souligné le fait que la cristallisation avait eu lieu de part et d'autre de la membrane (voir Figure 3) et les analyses du potentiel Zêta ont démontrés une cristallisation intra-membranaire suggérant alors que les deux espèces réactives ont pu diffuser. En effet, les analyses DRX ont permis de confirmer que seul ce matériau était capable de transférer les deux espèces réactives. Pour les autres matériaux, le CO_2 sous sa forme hydratée carbonate (CO_3^{2-}) semble trop volumineux pour pouvoir se mouvoir au travers de l'épaisseur membranaire, tout comme le baryum.

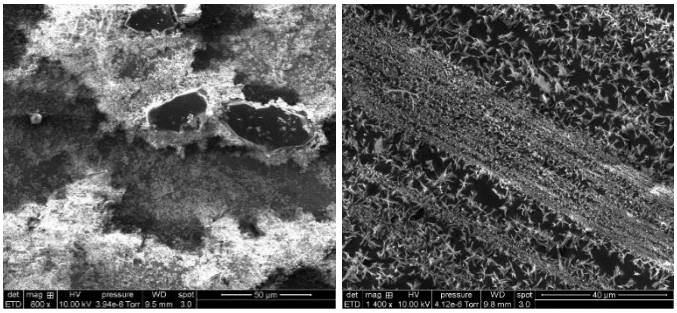


Figure 3: Surfaces de la membrane Nafion visualisées au MEB côté solution de barium (à gauche), et côté solution carbonate (à droite) après cristallisation

4. Conclusions

L'ensemble des résultats obtenus a permis de conclure que la perméabilité et la tension de surface du matériau membranaire utilisé avaient toutes deux un fort impact sur la localisation de la cristallisation et donc sur le risque de colmatage :

- La perméabilité de l'ensemble des espèces réactionnelles a une influence sur le lieu de formation de l'espèce cristalline (dans/sur la membrane).
- La tension de surface impacte l'adhérence des cristaux à la surface de la membrane.

Dans le cas étudié ici, les deux matériaux denses n'ayant pas présenté de colmatage sont donc le PDMS et le Teflon AF2400. De ce fait, ces deux matériaux ont été sélectionnées pour fabriquer les modules membranaires. Les études sur cette technologie sont toujours en cours et permettront d'obtenir une meilleure compréhension des performances du procédé proposé et de sa viabilité sur le long terme.

5. Remerciements

Cette étude est financée par le projet ANR (Agence Nationale de la Recherche) ICARE.

6. References

[1] E. Drioli, L. Giorno et E. Fontananova, "Comprehensive Membrane Science and Engineering", Elsevier B.V. Second edition, Oxford and Waltham, 2017.

[2] C. Makhloufi, E. Lasseuguette, J.-C. Remigy, B. Belaissaoui, D. Roizard, E. Favre (2014) "Ammonia based CO_2 capture process using hollow fiber membrane contactors", J. Membr. Sci. 455: 236–246

[3] Z. Jia, S. Hao, Z. Liu. (2017) "Synthesis of $BaSO_4$ nanoparticles with a membrane reactor: Parameter effects on membrane fouling", J. Membr. Sci. 543 (2017) 277-281

[4] E. Chabanon, D. Mangin, et C. Charcosset (2016) "Membranes and Crystallization Processes: State of the Art and Prospects", J. Membr. Sci. 509:57-67.

[5] R. Kieffer, D. Mangin, F. Puel et C. Charcosset (2009) "Precipitation of barium sulphate in a hollow fiber membrane contactor: Part II the influence of process parameters", Chem. Eng. Sci. 64:1885-1891.

[6] P. Nore, A. Mersmann (1993) "Batch precipitation of barium carbonate", Chem. Eng. Sci. 48:3083–3088.

[7] F. Salvatori, H. Muhr, E. Plasari, J.-M. Bossoutrot (2002) "Determination of nucleation and crystal growth kinetics of barium carbonate", Powder Technol. 128: 114–123.

Evaluation du DART-MS pour le dosage des acides organiques dans des échantillons urinaires

Myriam BONOSE, Maxime BRIDOUX, Naïra PEREZ VASQUEZ, Fathi MOUSSA
LETIAM, IUT d'Orsay, Université Paris Saclay, Univ. Paris Sud

THEMATIQUE - Chimie - Biologie - Santé

RESUME - L'analyse directe en temps réel dite « DART » est basée sur une nouvelle source d'ionisation de composés à pression atmosphérique qui permet un échantillonnage direct à l'air libre. C'est une méthode d'ionisation très douce par laquelle les composés de l'échantillon sont ionisés par un gaz électriquement déchargé provenant de la source d'ions « DART ». Ils sont ensuite conduits vers l'analyseur d'un spectromètre de masses (DART-MS). L'objectif du travail présenté est donc d'évaluer la capacité du DART-MS à analyser des métabolites urinaires tels que les acides organiques. Alors que DART-MS permet une analyse rapide de divers acides organiques avec une seule étape de dilution-centrifugation comme procédure de préparation d'échantillon, une étape de purification est nécessaire pour les autres acides organiques.

***Mots-clés—Spectrométrie de masse, acides organiques, chimie analytique, DART*.**

1. INTRODUCTION

Les aciduries organiques (AO) constituent une classe importante de troubles métaboliques héréditaires (IMD). Les AO sont dues à un défaut des voies métaboliques intermédiaires des acides aminés, des glucides et de l'oxydation des acides gras, ce qui entraîne l'accumulation d'acides organiques dans les tissus et l'urine. La chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) est la méthode de référence actuellement utilisée pour l'analyse et le diagnostic de l'arthrose. Cependant, la méthode de GC-MS la plus utilisée est fastidieuse et prend beaucoup de temps, notamment en raison de l'étape de préparation de l'échantillon comprenant l'extraction et la dérivation des acides organiques ciblés. De plus, cette méthode ne détecte que certains acides spécifiques, alors que plusieurs IMD associées à des troubles neurologiques restent non diagnostiquées et mal comprises en raison de l'absence de biomarqueurs spécifiques. Les développements récents en chromatographie en phase gazeuse et en spectrométrie de masse permettent de dépasser ces limites. Par exemple, la chromatographie en phase gazeuse bidimensionnelle (GCxGC) est une technique avancée qui permet d'obtenir plus d'informations à partir d'échantillons complexes tels que des échantillons urinaires. En revanche, l'analyse directe en spectrométrie de masse en temps réel (DART-MS) permet en théorie d'analyser directement un mélange aussi complexe sans recourir à la procédure de préparation des échantillons.

Récemment, nous avons montré que la GCxGC-MS [1] est un outil puissant pour la détection et la quantification de nombreux candidats biomarqueurs dans des échantillons d'urine. Cependant, cette méthode prend plus de temps que la GC-MS classique car, pour être quantitative, une procédure de préparation d'échantillons plus complexe est nécessaire.

Au cours des travaux présentés ici, nous évaluons la pertinence de la technique DART-MS pour l'analyse directe des acides organiques dans l'urine des enfants.

2. MATERIELS ET METHODES

L'instrumentation utilisée dans cette étude est une source d'ions DART type SVP (Ion Sense, Saugus, MA, USA) reliée à un spectromètre de masse hybride constitué d'une trappe ionique linéaire, couplée à un piège à ions électrostatique (LTQ-Orbitrap XL) de ThermoScientifique, San Jose, CA, USA).

Les paramètres de la source sont :

- Modes positifs et modes négatifs,
- Gaz : Hélium à 99,99% de pureté à 80 psi avec une température variable entre 50 et 500 °C,
- Tension de décharge de l'aiguille à +1,5V,
- Tension de l'électrode-grille à 200V.

L'interface Vapur ® (Ion Sense) est située entre la source d'ions DART et le spectromètre de masse. L'orientation de la source DART telle que sa sortie est alignée avec le tube en céramique conduisant les ions à l'interface d'entrée du spectromètre de masse. En mode transmission, les échantillons placés sur la grille sont chauffés avec le gaz qui passe à travers le support poreux ; ainsi, les analytes sont ionisés.

L'analyseur est un spectromètre de masse hybride constitué d'une trappe ionique linéaire, couplée à un piège à ions électrostatique (LTQ - Orbitrap XL).

Les paramètres du LTQ – Orbitrap XL sont :

- Capillaire : Tension à 30 V ; température de 200 °C,
- Tube de tension de lentille : 100 V,
- Détecteur de tension réglé à 15 kV,
- Gamme de masse comprise entre 80 et 400 m/z.

La dissociation induite par collision d'ions précurseurs sélectionnés est réalisée dans le piège à ions. Ces ions entrent en collision avec des atomes d'hélium dont l'énergie normalisée de collision est de 30%. La cellule de collision du piège à ions est alimentée avec de l'hélium à 99,999%.

Les analyses des données sont effectuées en utilisant le Logiciel Xcalibur™ (ThermoScientifique).

Les acides organiques étudiés au cours du développement de la méthode DART ont été choisis en fonction de leur structure chimique. Chaque composé a des caractéristiques structurales différentes et est représentatif de différents groupes d'acides organiques. La plupart de ces composés sont considérés comme des biomarqueurs de maladies innées du métabolisme et de troubles neurologiques.

Les standards utilisés (l'acide sébacique, l'acide adipique, l'acide fumarique, l'acide aplha-cétoglutarique, l'acide quinolinique, l'acide phénylpyruvique, l'acide methylmalonique, l'acide cis-acotinique, l'acide N-acétyl aspartique, l'acide 3-hydroxy-3-methylglutarique) ainsi que les étalons internes (l'acide heptadécanoïque et l'acide 4-phenylbutyrique qui ne sont pas présents dans les urines saines) ont été fournis par Sigma-Aldrich.

Les échantillons urinaires utilisés proviennent d'enfants sains et d'enfants présentant des troubles neurologiques. L'urine est décongelée à température ambiante pendant quelques minutes puis centrifugée à 4000 tours par minutes pendant 5 minutes. Ensuite, elle est diluée afin d'obtenir une solution correspondant à 1mmol de créatinine (généralement 200µl d'urine dans 800 µl d'eau).

3. DEVELOPPEMENT ANALYTIQUE

Des solutions mères aqueuses à 10mM ont été préparées pour chaque acide excepté pour l'acide phénylpyruvique dont le solvant de dilution est un mélange Méthanol/eau (50/50). A partir de ces solutions, un mélange a été préparé de telle sorte que la concentration en chaque acide soit de 100 µmol/L dans l'eau.

Les paramètres de température d'hélium (200°C – 300°C), de mode d'ionisation (négatif) et de pH du milieu (pH=8) ont été étudiés pour optimiser l'ionisation et donc améliorer le signal des acides organiques étudiés.

Après l'optimisation de la température pour l'ionisation de l'hélium et du choix du mode d'ionisation, nous sommes passés à l'analyse directe d'échantillons urinaires d'enfants.

Des échantillons urinaires de deux enfants sains et deux enfants ayant des troubles neurologiques sont analysés directement en « DART ».

Les métabolites ont été repérés dans l'urine des 4 enfants mais dans des proportions différentes. L'acide 3-OH-3-méthylglutarique est importante dans tous les échantillons. Cette réponse est en accord avec ce observé dans l'étude de l'influence de la température de l'hélium et montre qu'avec une température d'hélium de 300°C, ce composé s'ionise bien.

Dans la perspective d'une quantification, une urine correspondant à un enfant sain a été dopée avec respectivement 25, 50, 100, 500 et 1000 µmol/L de mélange de standards. Les résultats obtenus pour les concentrations croissantes en acide mettent en évidence un problème d'ionisation de certains composés ; probablement dû à des interférences ioniques et des suppressions ioniques de signaux.

L'analyse directe en temps réel par spectrométrie de masse « DART-SM » permet de réduire certaines étapes de préparation d'échantillon, ainsi les résultats sont obtenus plus rapidement qu'avec la chromatographie en phase gazeuse mais l'optimisation de la méthode est primordiale pour la détection de biomarqueurs de maladies neurologiques dans le milieu urinaire.

4. CONCLUSIONS

Nous avons évalué le potentiel du DART-MS pour l'analyse directe des acides organiques dans l'urine des enfants. Ainsi, nous avons développé un protocole utilisant la technique DART-MS pour la détection et la quantification des acides organiques dans des échantillons d'urine. Alors que la technique du DART-MS permet une analyse rapide de divers acides organiques avec une seule étape de dilution-centrifugation en tant que procédure de préparation d'échantillon, une étape de purification est nécessaire pour les autres acides organiques.

5. REMERCIEMENTS

Nous remercions nos collaborateurs neurologues et biochimistes de l'hôpital Armand Trousseau, Assistance Publique-Hôpital de Paris pour les échantillons de patients avec des symptômes neurologiques.

Nous remercions les services de la Direction des Applications Militaires du CEA de Bruyères-le-Châtel pour la mise à disposition de l'instrument DART-MS.

6. REFERENCES

[1] N. Pérez Vasquez, M. Bonose, N. Lévêque, R. Couderc, E. Thioulouse, D. Doummar, D. Rodriguez, T. Billette de Villemeur, S. Robin, C. Courderot-Masuyer, F. Moussa, Advances in the metabolic profiling of acidic compounds in children's urines achieved by GCxGC-MS, Journal of Chromatography B 1002, 2015, p. 130-138.

Évaluation et estimation de la qualité des sédiments par analyse thermogravimétrique (ATG)

Fatiha OUDGHIRI [1*], Rocío RODRÍGUEZ BARROSO [2], José María QUIROGA[2]

[1] Université de Caen Normandie, ABTE EA-4651, Boulevard Maréchal Juin, 14032 CAEN. (fatiha.oudghiri@unicaen.fr)

[2] Département des technologies de l'environnement, Faculté de Sciences de la mer et de l'environnement, Université de Cadix, Puerto Real, Cádiz 11510, Espagne

THEMATIQUE : Energie-Environnement/Chimie-Biologie-Santé

RESUME :

L'application de l'analyse thermogravimétrique (ATG) permet d'identifier, d'étudier et de quantifier dans la matrice de sédiment, la proportion de matière organique et certaines phases minéralogiques. La décomposition de la matière organique et des minéraux argileux ont lieu respectivement dans les plages de température de 200-400 et 400-650 ºC, alors que la décomposition des carbonates se produit entre 650 et 900ºC. Des équations d'estimation semi-quantitative des paramètres physico-chimiques tels que MO, CO, TN et CO_3^{2-} ont été développé à l'aide des résultats thermogravimétriques dans les gammes 200-400ºC, 400-650ºC et 650-900ºC. Ces équations peuvent fournir des informations de base d'une manière relativement simple et directe et ce dans un laps de temps relativement court et avec une préparation minimale des échantillons.

Mots-clés : Sédiment ; Estimation ; Physico-chimiques ; ATG

1. INTRODUCTION

Les analyses physico-chimiques sont largement utilisées dans la Surveillance de la qualité des sédiments marins afin de détecter leurs niveaux de contamination. Il existe plusieurs techniques d'analyses qui permettent de déterminer la présence des nombreux polluants (les métaux lourds, les composés organiques, les carbonates, etc.). Cependant ces procédures d'analyses sont coûteuses en termes de temps et d'argent ce qui rend ces analyses moins appropriés pour la surveillance de routine des milieux marins, principalement en raison du retard dans l'obtention des résultats.

C'est pourquoi les outils d'analyses de dépistage (*Screening*) sont de plus en plus importants car ils peuvent être capables d'estimer la qualité et/ou les niveaux de contamination environnementale dans un laps de temps relativement court et avec une préparation minimale des échantillons.

Dans ce contexte, le présent travail de recherche porte sur l'application de l'analyse thermogravimétrique (ATG) pour caractériser, identifier et estimer quantitativement les paramètres physico-chimiques des sédiments marins.

2. MATERIELS ET METHODES

Les sédiments ont été prélevés sur 14 stations localisées dans la région de Cadix (Espagne). Au laboratoire, tous les sédiments ont été séchés à température ambiante, puis broyés, homogénéisés et stockés à 4°C dans des flacons en polypropylène. Les analyses physico-chimiques ainsi que les analyses thermogravimétriques (Fig.1) ont été effectuées au Laboratoire de technologie de l'environnement de la Faculté des Sciences de la Mer et de l'Environnement de l'Université de Cadix (Espagne).

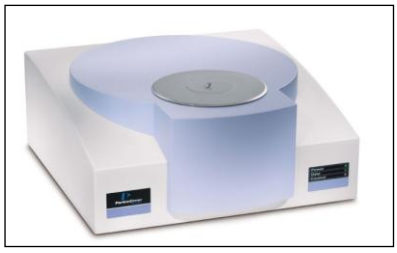


Fig.1. *Analyseur STA 6000 (Pekin Elmer, USA)*

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Analyses thermogravimétriques

Les courbes ATG et DTG de la dégradation thermique de sédiments obtenues à la vitesse de chauffe de 10 ºC/min sous atmosphère inerte (N_2) sont représentées sur la figure 2. Les pertes de masse, indiquées dans le tableau 1, correspondent aux pics principaux indiqués dans les thermogrammes et leurs plages de températures correspondantes. Quatre étapes de décomposition thermique dans l'intervalle de température entre 100 et 900 °C ont été observées avec des pertes de masse plus élevées pour tous les sédiments par rapport aux sédiments témoins (S_{11}). La perte de masse (ΔW_1) dans la première étape (100-200°C), varie entre 0,36% et 0,9%, elle est due principalement à l'eau liée chimiquement et à l'eau hygroscopique des sels et de la matière organique [1,2]. Dans la deuxième étape de décomposition (200-400ºC), la perte de masse (ΔW_2) varie entre 1,24% et 2,82% est attribuée à la déshydrogénation et à la décarboxylation de la matière organique, tandis que la troisième étape (ΔW_3) (400-650 ºC) avec une perte de masse comprise entre 4.48 et 7.23 %, est associée à la déshydroxylation des minéraux argileux et la décarbonatation des grains très fins [3,4] et enfin la quatrième étape (650-900 °C) de perte de masse (ΔW_4) ayant des valeurs relativement élevées qui varient entre 6,90% et 11,56%, cette de perte de masse correspond à la volatilisation de différents types de carbonates [5].

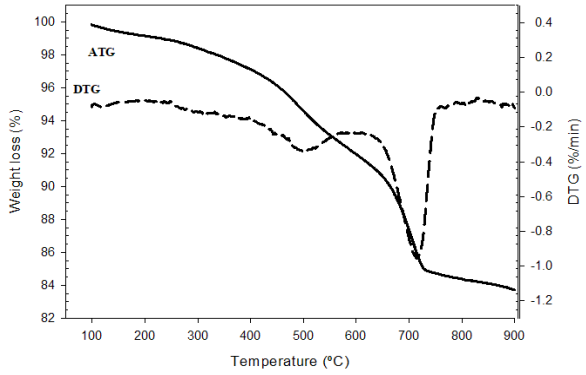


Fig.2. Courbes *ATG et DTG de sédiments S1 obtenues à la vitesse de chauffe de 10 ºC min^{-1} sous atmosphère inerte (N_2)*

3.2. Estimation des paramètres physico-chimiques des sédiments

Selon les résultats des analyses thermogravimétriques, la décomposition de la matière organique et des minéraux argileux ont lieu respectivement dans les plages de température de 200-400 et 400-650 ºC, alors que la décomposition des carbonates se produit entre 650 et 900ºC. Dans ce contexte, il est possible d'obtenir une estimation de la teneur en matière organique du carbone organique, de l'azote total et des carbonates à base de l'analyse ATG. L'étape suivante consistait à effectuer une régression linéaire entre les résultats thermogravimétriques et le contenu total des paramètres analysés par les méthodes standard. Les coefficients de corrélation linéaire (R^2) ont été considérés comme acceptables. Sur la base de ces équations linéaires, une estimation semi-quantitative de la teneur des contaminants peuvent être obtenue par substitution des pertes de masse d'ATG dans les gammes 200-400ºC, 400-650ºC et 650-900ºC.

$$MO\ (\%) = 4.3822 \times \Delta W(\%)(200\text{-}400ºC) + 4.109 \quad (R^2 = 0.9233) \quad (1)$$
$$CO\ (\%) = 0.6686 \times \Delta W(\%)\ (200\text{-}400ºC) + 0.5772 \quad (R^2 = 0.8214) \quad (2)$$
$$NT\ (\%) = 0.0489 \times \Delta W(\%)\ (200\text{-}400ºC) + 0.0547 \quad (R^2 = 0.9602) \quad (3)$$
$$CO_3^{2-}\ (\%) = 2.0274 \times \Delta W(\%)(650\text{-}900ºC) + 7.5173 \quad (R^2 = 0.9051) \quad (4)$$

Tableau 1. Pourcentage de pertes de masse correspondant aux pics indiqués dans les thermogrammes et les paramètres physico-chimiques analysés.

Stations	ΔW1 (%) (100-200 ºC)	ΔW2 (%) (200-400ºC)	ΔW3 (%) (400-650 ºC)	ΔW4 (%) (650-900ºC)	MO (%)	CO (%)	NT (%)	CO_3^{2-} (%)
S1	0.62	2.11	7.09	11.10	12.81	1.70	0.15	30.19
S2	0.57	1.76	6.55	10.79	11.57	1.92	0.14	30.58
S3	0.43	1.85	7.23	10.99	13.05	1.72	0.14	29.51
S4	0.36	1.87	6.33	11.56	12.37	2.11	0.15	30.89
S5	0.43	1.75	6.73	11.37	12.69	1.51	0.15	30.14
S6	0.41	1.24	4.48	8.66	9.45	1.39	0.12	24.77
S7	0.57	1.93	6.87	10.98	12.90	1.97	0.16	29.97
S8	0.39	1.67	5.89	10.94	10.69	1.61	0.13	29.6
S9	0.57	2.65	5.21	10.88	15.00	2.23	0.19	28.12
S10	0.90	2.12	7.09	10.83	13.76	2.10	0.15	31.69
S11	0.10	0.59	2.58	9.59	5.88	0.89	0.09	26.45
S12	0.69	2.82	5.89	9.13	15.89	2.44	0.19	25.49
S13	0.49	1.86	6.85	11.4	13.62	2.07	0.16	30.16
S14	0.66	2.04	6.49	6.90	13.00	1.99	0.15	21.92

4. Conclusions

L'application de l'analyse thermogravimétrique (ATG) a montré l'adéquation de cette technique pour l'estimation fiable des paramètres analytiques de sédiments marins et avec l'avantage de combiner quatre analyses dans une seule méthode et ce dans un laps de temps relativement court et avec une procédure très simple et une préparation minimale des échantillons.

5. References

[1] Schnitzer, M., Turner, R.C., Hoffman, I., 1964. A thermogravimetric study of organic matter of representative Canadian podzol soils. Canadian Journal of Soil Science. 44, 7–13.
[2] Gaál, F., Szöllősy, I., Arnold, M., Paulik, F., 1994. Determination of the organic matter, metal carbonate and mobile water in soils simultaneous TG, DTG, DTA and EGA techniques. Journal of Thermal Analysis. 42, 1007–1016.
[3] Plante, A.F., Pernes, M., Chenu, C., 2005. Changes in clay-associated organic matter quality in a C depletion sequence as measured by differential thermal analyses. Geoderma. 129, 186–199.
[4] Lopez-Capel, E., Abbott, G.D., Thomas, K.M., Manning, D.A.C., 2006. Coupling of thermal analysis with quadrupole mass spectrometry and isotope ratio mass spectrometry for simultaneous determination of evolved gases and their carbon isotopic composition. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 75, 82–89.
[5]Oudghiri, F., García-Morales, J. L. and Rodríguez-Barroso, M. R. (2014). Rapid screening of estuarine sediments properties using thermogravimetric analysis and attenuated total reflectance (ATR) by Fourier transform infrared (FTIR) spectrometry. Water Air Soil Pollut., 225, 1-10.

Danse thérapeutique réelle et/ou virtuelle pour réduire la neuro inflammation chez les MCI et la Maladie d'Alzheimer

Sawsen AYARI[1] sawsenaya@gmail.com
Eric WATELAIN[1] eric.watelain@univ-tln.fr
Patrick ABELLARD[2] patrick.abellard@univ-tln.fr

[1] Laboratoire Impact de l'Activité Physique sur la Santé (IAPS), Université de Toulon

[2] Laboratoire Institut Méditerranéen des Sciences de l'Information et de la Communication (IMSIC)
IUT, Université de Toulon

Thème – *Santé*

Résumé – *La maladie d'Alzheimer (MA) est la cause la plus fréquente de déficience cognitive chez les personnes âgées. Le déclin cognitif léger (Mild Cognitive Impairment MCI) est une phase de transition entre le vieillissement normal et la MA. Le MCI est considéré comme une phase prodromique de la MA. Le stade MCI et la MA sont respectivement caractérisés par une neuro inflammation périphérique et centrale marquée par des concentrations élevées des cytokines et chimiokines inflammatoires tels que le MCP-1, IL-6, TNF-α…etc. Certains de ces cytokines sont à l'origine de la déficience cognitive et de la démence. Toutefois, l'activité physique isométrique pourrait réduire ces concentrations et assurer un meilleur fonctionnement cognitif. De même l'exercice physique aérobie a fait preuve d'efficacité en inversant le décours de la neuro inflammation, la danse du Zumba en mode aérobie a pu par exemple réduire les concentrations périphériques de l'IL-6 chez des femmes inactives hypertendues. Néanmoins, à notre connaissance, aucune étude n'a démontré l'effet de la danse en mode aérobie sur les concentrations périphériques des cytokines inflammatoires chez les MCI et la MA. L'objectif principal de cette étude est dès lors, de réduire les taux circulants des biomarqueurs inflammatoires chez les MCI et la MA après un programme thérapeutique de danse réelle et/ou virtuelle et d'étudier l'impact de cette réduction sur le fonctionnement cognitif, psychique, physique et la vie quotidienne.*

.

Mots-Clés – *Neuro inflammation, MCI, Alzheimer, Danse, Activité physique adaptée.*

1 Introduction

Dans la Maladie d'Alzheimer (MA), de nombreuses études ont prouvé que les inflammations périphériques et centrales jouent un rôle clé dans la pathogenèse de la maladie. Des études longitudinales ont montré que l'inflammation se produit des années avant l'apparition de la MA**.** De même, il y a une forte augmentation des marqueurs inflammatoires dans les stades bénins de la maladie. En outre, des études d'association pangénomique (GWAS) ont identifié plusieurs gènes candidats des voies inflammatoires avec un risque de MA. Ces gènes influencent fortement l'inflammation et jouent un rôle critique dans l'étiologie précoce [1**].**

2 Méthode

Les critères de diagnostic publiés pour la MA dans Neurology Lancet définissent le diagnostic d'une déficience cognitive légère (Mild Cognitive Impairment MCI) en tant que stade préclinique ou prodromique de la MA. Dans le MCI, plusieurs des caractéristiques pathologiques cliniques et neuropsychologiques sont présents avant que le début de la MA se manifeste. Les patients avec MCI au stade le plus précoce de la neurodégénérescence peuvent être diagnostiqués cliniquement et concernés un profil de patient cohorte toujours capable de participer à une structure de programme d'exercices. En conséquence, un accent a été mis sur la recherche des stratégies à la fois pharmacologiques et non-pharmacologiques pour optimiser les capacités cognitives et améliorer la «santé du cerveau» chez les personnes âgées, en particulier celles présentant un risque de développer une MA. L'exercice physique est recommandé comme intervention thérapeutique pour l'hypertension, l'athérosclérose, le MCI et la MA [2].

En effet, une relation inverse existe entre les niveaux d'activité physique et les niveaux de l'inflammation chroniques de bas grade. Alors que le facteur de nécrose tumorale sérique TNF-α en particulier, semble être fortement associé à déclin cognitif, des associations ont été faites avec plusieurs autres marqueurs inflammatoires systémiques. Trollor et al., en 2012 et Magaki et al., en 2007 ont signalé que dans l'inflammation chronique de bas grade, il y a un niveau de circulation élevé du TNF-α et de l'IL-6 chez les MCI comparés aux contrôles cognitifs sains.

Plus précisément, le TNF-α peut induire la mort cellulaire et l'inflammation apoptique. Il est positivement corrélé aux niveaux de pression artérielle. La production dérégulée de TNF-α est impliquée dans une large variété de maladies, dont la MA. En effet, des niveaux élevés de cette cytokine sont associés à la démence. En outre, une concentration importante d'IL-6 est associé à un risque accru de déclin cognitif après deux ans de suivi. Par ailleurs, en comparant la concentration périphérique des biomarqueurs inflammatoires des sujets MCI et des sujets en bonne santé, nous trouvons une concentration importante du MCP-1 et CCL2 chez les MCI que chez les sujets sains. En outre, chez les MA, nous notons une concentration périphérique importante de CRP, IL-1β, IL-2, IL-6, IL-12, IL-18, CCL2/MCP-1, CCL7/MCP-3, CXCL8/IL-8 and CXCL10/IP-10 par rapport aux sujets sains.

L'exercice physique est par ailleurs, considéré comme une intervention non-pharmacologique recommandée pour réguler les cytokines pro-inflammatoires et les voies d'accès inflammatoires. Nascimento et al. (2014) ont montré qu'un programme multimodal de 16 semaines d'exercices physiques réguliers comprenant de la résistance musculaire, de l'exercice aérobie et de la coordination motrice / équilibre, durant une heure, trois fois par semaine, a déclenché une réduction significative des concentrations périphériques des cytokines pro inflammatoires IL-6 et TNF-α, ainsi qu'une augmentation significative des niveaux périphériques de Brain Derived Neurotrophic Factor (BDNF) chez les individus avec multiples MCI et chez les contrôles sains normaux [3].

3 Moyens

La danse fait partie de la catégorie d'exercices physiques aérobies. De même, Domene et al, (2016) ont montré que la danse en aérobie de type Zumba chez des femmes inactives est bénéfique pour réduire les facteurs de risque cardiovasculaires et les biomarqueurs inflammatoires notamment l'IL-6 [4].

Pendant le vieillissement, la pratique régulière de la danse préserve la cognition. En effet, la danse combine l'activité physique, l'engagement émotionnel et social et la stimulation cognitive, en favorisant le maintien des connexions synaptiques ainsi que la plasticité. Chez le sujet MCI ou Alzheimer, différents auteurs [5] ont déjà montré des effets bénéfiques de différentes formes de danse sur

les fonctions cognitives, l'humeur, la mémoire, la posture, l'anxiété, la dépression… Les causes de ces améliorations cliniques sont encore mal connues, mais les processus potentiels seraient une augmentation de la neurogenèse, de la synaptogénèse et de de l'angiogenèse [6]. En effet, certaines régions spécifiques notamment : hippocampe, noyaux caudaux, putamen [7] augmentent en volume avec l'activité physique en générale et/ou la danse [8].

Néanmoins, à notre connaissance aucune étude n'a mis en évidence l'effet de la danse sur les biomarqueurs inflammatoires tels que le CRP, IL-1β, IL-2, IL-6, IL-12, IL-18, CCL2/MCP-1, CCL7/MCP-3, CXCL8/IL-8 and CXCL10/IP-10 chez les MCI et la MA.

4 Résultats attendus

Notre objectif principal dans ce travail de recherche qui démarre est d'étudier la capacité de la danse réelle et/ou virtuelle, ‘’en mode d'exercice physique aérobie’’, à améliorer l'état d'inflammation corticale, les dégénérescences neuronales caractéristiques de la maladie d'Alzheimer et de MCI chez des personnes âgées dans le cadre d'une prévention primaire ou secondaire. L'objectif secondaire est d'étudier les retombées de ces améliorations biologiques attendues sur l'indépendance fonctionnelle, l'autonomie et donc la qualité de vie des sujets.

Nos hypothèses sont :

- Comme le taux périphérique de MCP-1, IL-6, TNF-α est plus élevé chez les MCI que chez le sujet sain, cette concentration diminuerait après un programme de danse thérapeutique réelle et/ou virtuelle.
- Les concentrations périphériques de CRP, IL-1β, IL-2, IL-6, IL-12, IL-18, CCL2/MCP-1, CCL7/MCP-3, CXCL8/IL-8 et CXCL10/IP-10 diminueraient chez les MA.
- La diminution des biomarqueurs inflammatoires suscités serait accompagnée d'une amélioration dans les scores des évaluations : cognitive (MoCa), psychique (NPI), fonctionnelle (Tinetti) et des Activités de Vie Quotidienne (IADL) respectivement chez les MCI et les MA.

5 Conclusion

Ces travaux vont être développés avec la participation de 4 EHPAD et 2 centres hospitaliers. Pour les personnes qui présenteraient de grandes difficultés à pratiquer la danse réelle, un logiciel de danse va être développé pour permettre d'immerger les patients dans un univers de Réalité Virtuelle où ils pourront évoluer en fonction de leurs limitations et capacités résiduelles.

Références

[1] Zhang Z-G, Li Y, Ng CT, et al. *Inflammation in Alzheimer's disease and molecular genetics: recent update*, Arch Immunol Ther Exp, 63:333–44, 2015.

[2] Groot, C., Hooghiemstra, A. M., Raijmakers, P. G. H. M., Van Berckel, B. N. M., Scheltens, P., Scherder, E. J. A., ... & Ossenkoppele, R, *The effect of physical activity on cognitive function in patients with dementia: a meta-analysis of randomized control trials*. Ageing research reviews, 25, 13-23, 2016

[3] Nascimento, C., Rodrigues Pereira, J., Pires de Andrade, L., Garuffi, M., Leme Talib, L., Vicente Forlenza, O., ... & Stella, F, *Physical exercise in MCI elderly promotes reduction of pro-inflammatory cytokines and improvements on cognition and BDNF peripheral levels*. Current Alzheimer Research, 11(8), 799-805, 2014

[4] Domene PA, Moir HJ, Pummell E, Knox A, Easton C. *The health-enhancing efficacy of Zumba® fitness: an 8-week randomised controlled study*. J Sports Sci 34:1396–1404, 2016

[5] Dominguez, J. C., del Moral, C., De Guzman, M. F. P., Dominguez, J. D., Dominguez-Awao, J. K., Domingo, J., ... & Yabut, M. J, *A community-based ballroom dance intervention "Indak" improved cognition among elderly with mild cognitive impairment*. Alzheimer's & Dementia: The Journal of the Alzheimer's Association, 13(7), p. 1434-1435, 2017

[6] Lazarou, I., Parastatidis, T., Tsolaki, A., Gkioka, M., Karakostas, A., Douka, S., & Tsolaki, M, *International ballroom dancing against neurodegeneration: a randomized controlled trial in Greek community-dwelling elders with mild cognitive impairment*. American Journal of Alzheimer's Disease & Other Dementias®, 32(8), p. 489-499, 2017

[7] Rehfeld, K., Müller, P., Aye, N., Schmicker, M., Dordevic, M., Kaufmann, J., & Müller, N. G, *Dancing or fitness sport? The effects of two training programs on hippocampal plasticity and balance abilities in healthy seniors*. Frontiers in human neuroscience, 11, 305, 2017

[8] Erickson, K. I., Voss, M. W., Prakash, R. S., Basak, C., Szabo, A., Chaddock, L., ... & Wojcicki, T. R, *Exercise training increases size of hippocampus and improves memory*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108(7), 3017-3022, 2011

Réactiver le VIH pour mieux l'éliminer de l'organisme : un pas vers la guérison ?

Jeanne VAN ASSCHE[1], Amina AÏT-AMMAR[1,2], Fadoua DAOUAD[1], Marco DE ROVERE[1], Haitham SOBHY[1], Virginie GAUTIER[3], Carine VAN LINT[2], Christian SCHWARTZ[1], Olivier ROHR[1] and Clémentine WALLET[1]

jeanne.van-assche@etu.unistra.fr

1- Université de Strasbourg, EA 7292, DHPI, IUT Louis Pasteur, France

2- Université Libre de Bruxelles, ULB, Gosselies, Belgium

3- University College Dublin, UCD, Dublin, Ireland

Thèmes- *Biologie*

Résumé- *Actuellement plus de 36 millions de personnes dans le monde sont infectées par le VIH. L'unique traitement disponible, la trithérapie est une association de molécules qui agissent sur les différentes étapes du cycle de réplication du virus. Il permet de rendre le virus indétectable dans le sang mais ne conduit pas à la guérison. Grâce à la trithérapie, les personnes séropositives vivent normalement. Cependant, dès lors que le traitement est interrompu la virémie augmente à nouveau et la maladie progresse vers le stade SIDA. Cet échec thérapeutique s'explique par la présence de virus intégrés de façon latente dans le génome cellulaire. L'unique cas de guérison du VIH ainsi que l'analyse des caractéristiques de certains patients contrôlant leur virémie sans traitement permettent de penser que l'élimination de ces cellules latentes pourrait conduire à une guérison. Par conséquent, comprendre les mécanismes moléculaires à l'origine de la latence est un prérequis au développement de nouvelles stratégies de guérison. Les travaux de notre équipe nous ont permis d'identifier un facteur de transcription, CTIP2 comme principal acteur de la latence virale des cellules microgliales qui constituent le plus important réservoir viral du cerveau. Récemment, nous avons identifié plusieurs nouveaux partenaires de ce facteur dont certaines molécules de la voie de sumoylation. La sumoylation est une modification épigénétique qui peut réprimer l'expression des gènes. Dans ce projet nous avons étudié l'impact de la sumoylation sur l'expression du VIH.*

Mots-clés- *VIH-1 ; latence ; répression transcriptionnelle ; Tat ; sumoylation*

1 - Introduction

Trente-six ans après la découverte du virus de l'immunodéficience humaine (VIH), agent causal du syndrome de l'immunodéficience acquise (SIDA), plus de 36 millions de personnes sont infectées par le VIH dans le monde. La stratégie thérapeutique actuelle permet de contenir le virus et de le rendre ainsi indétectable dans le sang, mais ne conduit pas à la guérison. En effet, très peu de temps après l'interruption du traitement, le virus est à nouveau détectable ce qui signifie que la thérapie n'élimine pas tous les virus. Cet échec thérapeutique s'explique par la présence de virus cachés dans le génome de cellules dites « réservoirs ». Le virus ne s'exprime pas dans ces réservoirs, il est latent. Le rebond de virémie observé lors de l'arrêt du traitement provient de ces réservoirs insensibles à la trithérapie. Plusieurs arguments permettent de penser que la purge de ces réservoirs pourrait conduire à une guérison fonctionnelle des patients [1]. La stratégie « Shock and Kill » a pour but de réduire la taille des réservoirs grâce à différentes molécules appelées LRA (Latency Reversing Agents). Ces dernières vont réactiver les virus latents des réservoirs qui seront ensuite neutralisés par la trithérapie. La compréhension des mécanismes moléculaires à l'origine de la latence virale est donc un prérequis au développement de ces nouvelles stratégies de guérison car elle permettra de définir les meilleures cibles thérapeutiques des LRA. Les travaux de notre équipe nous ont permis d'identifier et de caractériser différentes cibles dans les cellules microgliales, principal réservoir de VIH-1 dans le cerveau [2]. Toutes régulent la première étape de l'expression des gènes, la transcription qui est déterminante pour l'établissement et la persistance des virus latents dans les réservoirs. La transcription des gènes du VIH-1 s'effectue en deux étapes : l'étape d'initiation qui est sous le contrôle de facteurs de transcription cellulaires et l'étape d'élongation activée par le facteur viral Tat [3]. Récemment, nous avons identifié plusieurs nouvelles cibles thérapeutiques potentielles pouvant réactiver les virus latents et conduire à la guérison. Les enzymes de la voie sumo sont parmi les plus intéressantes. En effet, la sumoylation est une modification épigénétique connue pour réprimer l'expression de gènes cellulaires [4]. Dans ce projet nous avons étudié l'impact de la sumoylation sur l'expression des gènes du VIH-1.

2- Matériel et méthodes

Afin de répondre à la problématique du projet nous avons réalisé des essais luciférase. Cette technique permet de quantifier l'expression des gènes ou plus précisément l'activité du promoteur qui contrôle leur expression. Elle fait appel à un gène rapporteur codant pour la luciférase de luciole qui sera cloné en aval du promoteur d'intérêt, ici le promoteur des gènes du VIH-1 (Fig. 1). Ainsi lorsque l'expression des gènes du VIH-1 est stimulée ou inhibée, la luciférase sera plus ou moins produite et émettra plus ou moins de lumière en présence de son substrat (la luciférine). L'intensité lumineuse sera quantifiée par luminométrie.

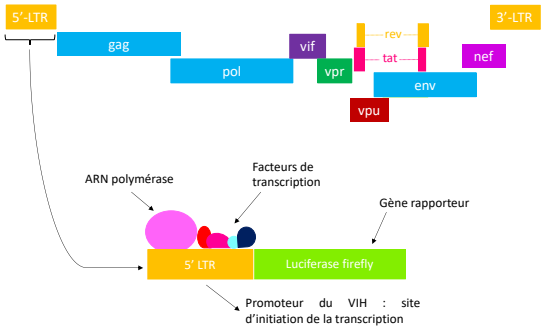


Figure 1 : Principe des essais luciférase pour l'étude de la transcription du VIH-1

3- Résultats

Dans ce projet nous avons étudié l'impact de la sumoylation sur la transcription des gènes. La transcription des gènes du VIH-1 s'effectue en deux phases, la phase d'initiation, indépendante de la protéine virale Tat, et la phase d'élongation (amplification) qui est dépendante de Tat. Nous avons donc dans un premier temps étudié l'influence de la surexpression d'une augmentation de la sumoylation sur la phase d'initiation et d'élongation (Fig. 2) de la transcription des

gènes viraux. Dans les deux cas, nous constatons une répression significative de l'activité transcriptionnelle virale. Ces résultats suggèrent que la voie sumo aurait un impact négatif sur l'expression des gènes du VIH.

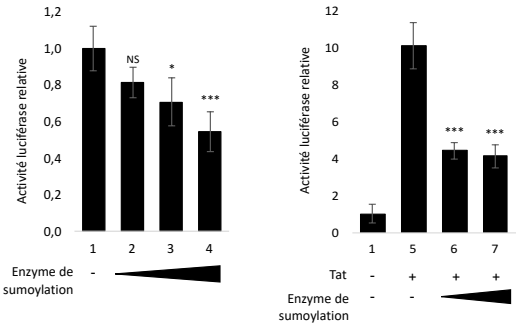


Figure 2. La surexpression d'une enzyme de sumoylation réprime l'expression des gènes du VIH-1.

Comme nous l'avons décrit ci-dessus, favoriser la voie sumo réprime de façon significative la transcription des gènes viraux. Pour conforter ces résultats, nous avons ensuite traité nos cellules avec un inhibiteur de la sumoylation. En l'absence de Tat (Fig. 3), l'inhibition de la sumoylation produit une faible stimulation de l'expression des gènes (+60%). En revanche, en présence de Tat (Fig. 3), elle stimule de 400% l'expression des gènes viraux.

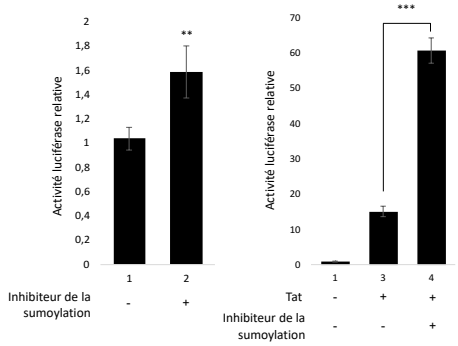


Figure 3. L'inhibition de la sumoylation induit une augmentation de l'expression des gènes du VIH-1.

4- Conclusion

Nous avons étudié l'influence de la sumoylation sur la transcription des gènes du VIH-1. Nos résultats suggèrent que l'activation de la voie sumo réprime l'expression des gènes du VIH-1. Logiquement, l'inhibition de la sumoylation favorise l'activité transcriptionnelle du promoteur des gènes viraux. Nous pouvons donc en conclure que la voie sumo contrôle l'expression des gènes du VIH-1 et qu'elle réprime son expression. Cibler cette voie dans le cadre de stratégies thérapeutiques de guérison des patients est donc une option qu'il nous faudra conforter par d'autres investigations portant sur d'autres types de réservoirs cellulaires tels que les lymphocytes T CD4+.

Références :

[1] Schwartz, C., Le Douce, V., Cherrier, T., Redel, L., Marban, C., Aunis, D., and Rohr, O. (2010). Molecular basis of HIV-1 latency - part I: physiology of HIV-1 latency. Med. Sci. MS *26*, 159–163.

[2] Le Douce, V., Herbein, G., Rohr, O., and Schwartz, C. (2010). Molecular mechanisms of HIV-1 persistence in the monocyte-macrophage lineage. Retrovirology *7*, 32.

[3] Van Lint, C., Bouchat, S., and Marcello, A. (2013). HIV-1 transcription and latency: an update. Retrovirology *10*, 67.

[4] Geiss-Friedlander, R., and Melchior, F. (2007). Concepts in sumoylation: a decade on. Nat. Rev. Mol. Cell Biol. *8*, 947–956.

Etude de l'influence de la lumière sur la croissance et la production de protéines par *Arthrospira (Spirulina) platensis* en vue d'optimiser le rendement de production.

Hortense Lejeune[1] Loick Lefebvre[2] Yanis Maire[3] Lucie Watier[4] Loïc Anselin[5] Marie Deblieck[6] Denis Watier[7]

[1, 2, 3 ,6 ,7] IUT, Département Génie Biologique, Université du Littoral Côte d'Opale, 62200, Boulogne-sur-Mer

[4] UTC, Université de Technologie de Compiègne

[5] SAS Métha-Ternois

[7] 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 – *Cette étude traite de l'influence de la lumière sur la production de spiruline (Arthrospira platensis) d'un point de vue quantitatif et qualitatif. Elle prend en compte l'interaction entre la photopériode et l'intensité lumineuse ainsi que son influence sur la croissance de la spiruline et de sa concentration en protéines. Un plan d'expériences centré réduit avec modélisation en surface de réponses a été réalisé. Nos résultats montrent que la quantité de biomasse produite augmente avec la quantité de lumière. A l'inverse, la concentration en protéines diminue lorsque l'intensité lumineuse et la photopériode augmentent. Cependant, la productivité en protéine qui en résulte reste la plus élevée pour les quantités de lumière les plus élevées. Cette étude pratiques et techniques, a été réalisée dans le cadre d'un partenariat avec un professionnel producteur de spiruline (SAS Métha-Ternois). Ce travail est le fruit d'une collaboration entre trois étudiants de l'IUT de Boulogne-sur-Mer et d'une étudiante de l'UTC (école d'ingénieur) encadrés par des enseignants chercheurs de l'IUT du littoral côte d'Opale.*

Mots-Clés – *Arthrospira platensis, lumière, rendement protéique, modélisation*

1. Introduction

Arthrospira platensis est une cyanobactérie faisant partie de la famille des Cyanophycées. Son importante concentration en protéines, vitamines et lipides en fait un complément alimentaire de grande qualité. Elle contient notamment de la Phycocyanine, de la Chlorophylle et des vitamines A et E [1].

Notre étude s'intéresse ici à l'influence de l'intensité lumineuse et de la photopériode sur la croissance de la Spiruline et sur sa concentration en protéines. Elle cherche donc à définir des conditions d'éclairage optimales permettant d'obtenir une Spiruline ayant des qualités nutritionnelles optimales associées à une productivité maximale. Cette problématique d'optimisation est d'un grand intérêt économique pour des producteurs de Spiruline tel que l'entreprise SAS Métha-Thernois, professionnel participant à cette étude. Les résultats obtenus permettront aux producteurs d'adapter l'éclairage de leurs bassins de culture dans le but d'améliorer leur rendement de production d'un point de vue qualitatif et quantitatif.

2. Matériels et Méthodes

2.1 Origine de la souche et milieu de culture

La souche d'*Arthrospira platensis* est de type Lonar. Un milieu de culture *Zarrouk* standard est utilisé [2]. Le pH du milieu est ajusté à 10 (NaOH) puis autoclavé 20 min. à 121°C.

2.2 Plan d'expériences

La spiruline est ensemencée à la concentration de 0,4 mg/mL de matière sèche dans des flasques (Corning 175 cm2, cell flask 431080) contenant 175 mL de milieu. Les cultures sont alimentées en CO_2 et homogénéisées par barbotage à 6,56 mL/min (99/1 air/CO_2). La température est régulée en chambre chaude (air brassé à 30°C, +/- 1,2°C). Les 11 flasques du plan d'expériences à 5 niveaux (niveaux codés :-α,-1,0,+1,+α), correspondent pour les photopériodes (jour/nuit) à 5h/19h, 7h24/16h36, 11h/13, 14h36/9h24, 17h/7h et pour les intensités lumineuses à 530lux, 3200lux, 7200lux, 11200lux, 13870lux.

L'intensité lumineuse (OSRAM luminux Cool Daylight 6500K) reçue par chaque flasque est mesurée en lux (BK lightmeter précision 615).

2.3 Suivi de biomasse

Pour chaque flasque, la croissance est suivie de façon journalière par mesure de la turbidité à 560 nm (Varian Cary 100 Bio). En fin de croissance, les 175 mL de chaque flasque sont centrifugés 5 minutes à 5000 tr/min. Le culot est repris dans 7 mL d'eau distillée. Après prélèvement de 0,4 mL pour l'analyse protéique, le volume restant est séché à 110°C pour estimer la biomasse. Le rapport poids sec/turbidité est de 1,75.

2.4 Dosage de protéines dans la biomasse

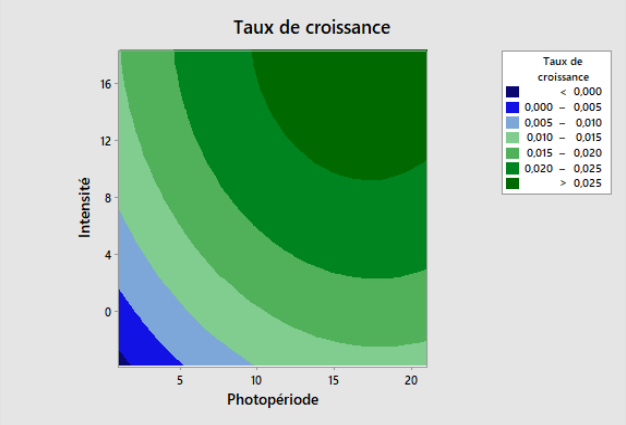
Pour chaque échantillon, le rapport Carbone/Azote est estimé à l'aide d'un analyseur élémentaire CHN (Flash EA 1112 series). La proportion de protéines dans la biomasse est déduite en utilisant la formule suivante : $\frac{2,75}{(C/N)} \times 100$

2.6 Modélisation

Le plan d'expériences centré réduit est construit sur Minitab 18. Les cinétiques de croissance sont modélisées à l'aide du modèle de croissance de Mono (Solveur Excel 2016). Les équations polynomiales (modélisation en surface de réponses) sont établies et analysées sur Minitab 18.

3. Résultats

Le graphique 1 montre que le taux de croissance d'*A. platensis* augmente avec l'intensité lumineuse et la photopériode.



Graphique 1 : *Modélisation du taux de croissance (en h^{-1}) de A. platensis en fonction de l'intensité lumineuse (Klux) et de la photopériode (heures d'éclairement).*

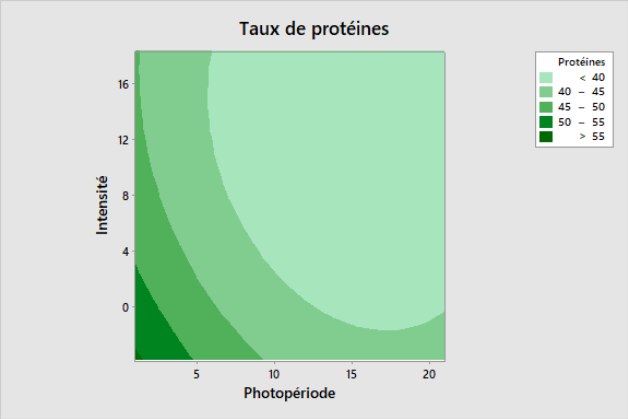
La surface de réponses est établie avec l'équation polynomiale suivante :

*Taux de croissance en h^{-1} = 0,00154 + 0,00183 Phot + 0,001133 Int - 0,000052 $Phot^2$ - 0,000027 Int^2 - 0,000006 Phot*Int*

Avec : Phot = photopériode en heures d'éclairement
Int = Intensité lumineuse en Klux

On observe un optimum de croissance de 0,025 h-1 lorsque l'intensité lumineuse est supérieure à 12 Klux et que la photopériode dépasse les 15h d'éclairage par jour.

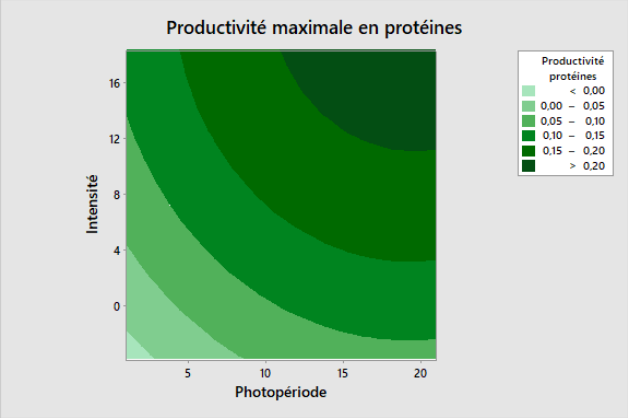
Le graphique 2 met en évidence que plus la quantité de lumière est importante (intensité et photopériode), plus la proportion en protéine chez *A. platensis* est faible.



Graphique 2 : *Modélisation du taux de protéines (en % de la biomasse) chez A. platensis en fonction de l'intensité lumineuse (Klux) et de la photopériode (heures d'éclairement). Equation polynomiale correspondante : taux de protéines en % de la biomasse = 54,01 – 1,769 Phot – 0,839 Int + 0,00521 Phot^2 + 0,0244 Int^2 + 0,0172 Phot*Int*

On obtient la proportion en protéine la plus importante, soit environ 55%, lorsque l'intensité lumineuse est de 530 lux et pour une photopériode de 5h/19h. La richesse en protéines est donc inversement proportionnelle à la croissance.

Le graphique 3 montre que le rendement en protéines d'*A. platensis* augmente avec l'intensité lumineuse et la photopériode.



Graphique 3 : *Modélisation du rendement de production en protéines chez A. platensis en fonction de l'intensité lumineuse (Klux) et de la photopériode (heures d'éclairement).*

*Equation polynomiale : Productivité protéines = 0,0040 + 0,01236 Phot + 0,00873 Int - 0,000319 Phot^2 - 0,000189 Int^2 + 0,000012 Phot*Int*

4. Discussion

Les facteurs tels que l'intensité lumineuse et la photopériode ont une grande influence sur la croissance d'*A. platensis* et sur sa concentration en protéines. Chez *A. platensis*, la production de protéine est favorisée à faible exposition lumineuse, mais ce, au détriment de la vitesse de production de biomasse. Ce phénomène a déjà été démontré par plusieurs études portant sur l'influence de l'intensité lumineuse et/ou de la température sur la croissance et la production de pigments et protéines par *A. platensis* [2],[4]. Une forte intensité lumineuse et une exposition longue (9000 lux, 700 min/j) favorisent une production de biomasse, alors qu'une faible intensité ainsi qu'une photopériode plus réduite (2000 lux, 400 min/jour) seront privilégiées pour une concentration en protéine plus élevée et donc une optimisation de la qualité du produit. Cependant, dans un souci de rendement de production en protéines, il est judicieux d'optimiser la productivité maximale en favorisant l'aspect quantitatif (taux de croissance élevé) à l'aspect qualitatif (taux de protéines élevé).

L'originalité de notre travail est de tenir compte de l'influence de l'intensité lumineuse combinée à différentes photopériodes en tenant compte des interactions éventuelles grâce à l'utilisation de modèles de surface de réponses. Nos résultats montrent l'absence d'interaction significative entre intensité lumineuse et la photopériode. Cela permet d'affirmer que pour optimiser la croissance d'*A. platensis*, il est possible d'augmenter indifféremment l'intensité de l'éclairage ou/et la durée d'éclairage et que seule la quantité journalière de lumière est importante.

5. Références bibliographiques

[1] Parra-Saldivar R. (2015). Photosynthetic bioenergy utilizing CO2: An approach on flue gases utilization for third generation biofuels. Journal of Cleaner Production, 98, 53-65

[2] Zarrouk C. (1966). Contribution à l'´etude d'une cyanophycée divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de *Spirulina maxima* (Setch. et Gardner) Geitler. Paris, France: University of Paris. PhD Thesis.

[3] E.D.G. Danesi, C.O. Rangel-Yagui, J.C.M. Carvalho, S. Sato. (2004). Effect of reducing the light intensity on the growth and production of chlorophyll by *Spirulina platensis*. Biomass and Bioenergy, 26, 329-335

[4] Kumar M., Kulshreshtha J., Pal Singh G. (2011). Growth and biopigment accumulation of cyanobacterium *spirulina platensis* at different light intensities and temperature. Brazilian Journal of Microbiology, 42, 1128-11

Characterization of cigarette tobacco blends using HRMAS NMR–based Metabolomics

Laetitia Shintu, Stefano Caldarelli & Mylène Campredon
Aix Marseille Université, CNRS, Centrale Marseille, Ism2 UMR 7313, 13397 Marseille, France
mylene.campredon@univ-amu.fr

THEMATIQUE - Chimie - Biologie – Santé, section CNU 31.

RESUME -

The aim of this work was to combine HRMAS NMR spectroscopy with multivariate analysis in order to evaluate samples from different international cigarette brands. Although cigarette filling is a complex chemical mixture, we were able to discriminate between bright, dark and additive-free cigarette blends belonging to six different filter-cigarette brands, commercially available, using an approach for which no extraction procedure is required. Second, we focused our study on a specific worldwide-distributed brand for which established counterfeits were available. We discriminated those from their genuine counterparts with 100% accuracy using unsupervised multivariate statistical analysis. The analyzed counterfeits showed a higher amount of nicotine and solanesol and a lower content of sugars, all endogenous tobacco leaf metabolites.

KEYWORDS - ***HR-MAS NMR, counterfeit, metabolomics.***

1. INTRODUCTION

In many countries, limiting the number of smokers has become a national public health priority and the taxation on brand name cigarettes has dramatically increased due to health troubles caused by cigarette smoke. Consequently, illegal sales of contraband cigarettes, much cheaper and accessible, have been growing. Although it has been proved that some tobacco manufacturing companies do not hesitate to use cigarette smuggling to access new markets [1] or to evade duty payment [2], a high amount of contraband cigarettes are counterfeit and constitute a higher risk for the consumer health [3], exposing them to uncontrolled level of potentially toxic substances such as pesticides, heavy metal or inappropriate additives [4]. There is a continuous demand to arbitrate the authenticity and control the quality of tobacco delivered to the market. Therefore, finding methods that could enable the control of the quality and the authenticity of tobacco products becomes of prime importance for customer health safety.

However, the chemical composition of cigarette filling is a very complex mixture resulting from the blend of several tobacco varieties (mainly Burley, Virginia, Maryland, and Oriental and each having specific chemical characteristics), humectants, sugars and flavor ingredients [5] leading to a chemical composition of about 3000 organic substances [6-8]. During the cigarette processing, propylene glycol and glycerol are used to increase the moisture holding capacity of the tobacco [9], while additives as menthol, vanilla, licorice or chocolate are added to enhance the aroma or smoke flavor [10]. Moreover, the industry-dependent composition hampers the establishment of an exhaustive database of authentic cigarettes, making more challenging the identification of counterfeits.

Many studies were carried out to characterize tobacco product profiles [11]. Notably, several laboratories used NIR combined with chemometric methods to perform qualitative and quantitative analysis of tobacco leaf varieties [12]. NMR spectroscopy also succeeded in characterizing tobacco leaf composition, cigarette blend composition, multiphase structure or bright tobacco grades combining ^{13}CPMAS NMR and multivariate statistical analyses [13].

Few publications were also devoted to the identification of counterfeit cigarettes. The main advantage of our technique is that ^{1}H HRMAS NMR spectrum has a resolution closed to that of liquid state spectrum rendering possible the assignment of the detected compounds with no extraction procedure necessary. Therefore, it enables us to visualise in a single spectrum the signals of a large range of molecules. Furthermore, the absence of extraction steps reduces greatly the sample preparation time and prevents the potential alteration of the samples. In this context, we evaluated the ability of HR-MAS NMR spectroscopy combined with classical statistical multivariate analysis to discriminate cigarettes from six different international brands (e.g. two bright, two dark, one menthol-flavoured bright and one additive-free bright tobacco cigarettes). Then we assessed the potential of this method to identify counterfeits from Marlboro cigarettes.

2. RESULTS AND DISCUSSION

38 samples from six different brands (Kool, Camel, Marlboro, Ducados, Gauloises Brunes and Pueblo) were analysed.

The countries of production and purchase, as well as the company name of each brand are reported in Table 1.

Table 1. Production and purchase areas of the cigarettes

Cigarette brand	Production area	Purchase area	Company name
Camel	European Union	France	Imperial Tobacco
Marlboro red	Switzerland	France	Phillip Morris
Kool	European Union	France	R.J.Reynolds Tobacco Company
Pueblo	Germany	France	Pöschl Tabak
Gauloises brunes	European Union	France	Imperial Tobacco
Ducados	European Union	Spain	Imperial Tobacco

As noticed during the direct comparison of the average ^{1}H spectra (cf. Fig. 1), sugar and propylene glycol contents are much higher in blond cigarettes than on the dark ones.

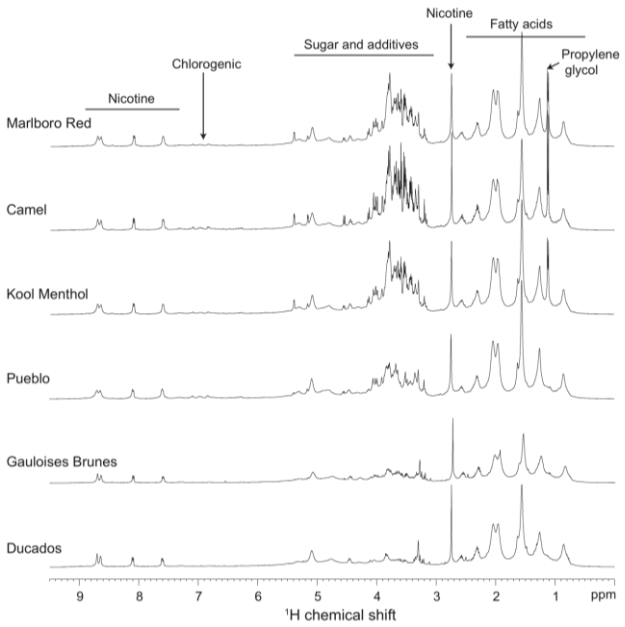


Fig. 1. Representative examples of ^{1}H HRMAS NMR spectra of tobacco from different cigarette brands.

On the other hand, Dark cigarettes have a higher relative content in malonate, methylamine, fumarate, nicotine and lipids. Except from the differences in the type of additives used and their concentrations, dark and blond tobacco cigarettes also differ from the type of process used for the fermentation of the tobacco leaves.

Using Pueblo cigarettes as a reference, since they do not contain any additives, we can note that blond and dark cigarettes are well separated from Pueblo and must contain a certain amount of additional compounds, the blond ones being made to have a sweeter taste.
As observed on the score plot, the best discrimination between the 6 brands was obtained in the PC1 vs PC3 plane. Along PC1 axis, blond tobacco cigarettes (Marlboro, Camel, Kool) have negative coordinates and are separated from dark tobacco cigarettes (Gauloise Brune and Ducados) with positive coordinates.

Along PC3, we observe the separation between Gauloise, Marlboro and Camel with positive coordinates and Kool, Pueblo and Ducados with negative coordinates.
In order to facilitate the interpretation of the discrimination of the samples according to PC3 axis, we divided the initial dataset into two sub-datasets: the dark tobacco and the blond tobacco cigarette groups that we analyzed using PCA. The results are presented in Fig. 2A and Fig. 2B respectively.

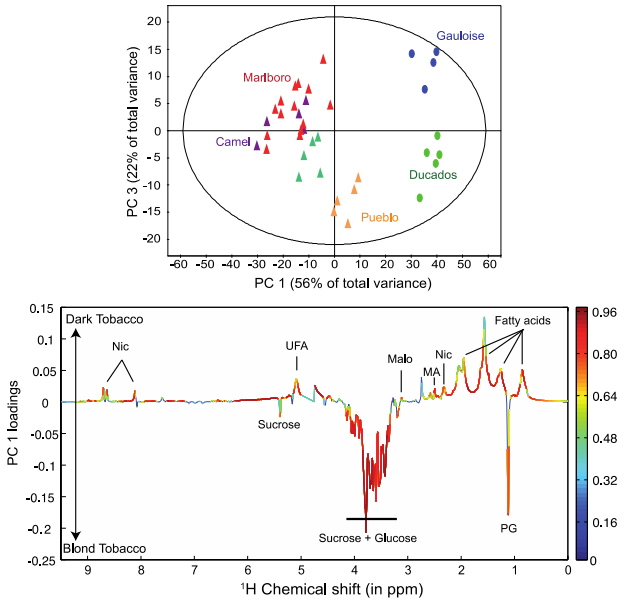


Fig.2 Score (A) and loadings (B) plots resulting from applying PCA to ^{1}H HRMAS NMR spectra of cigarette tobaccos from 6 different brands.The loadings plot is color-coded according to the correlation coefficients of the variables on PC1 axis (Abbreviations: Nic = Nicotine; UFA = Unsaturated Fatty Acids;Cho=Choline; NDMA=N-nitrosodimethylamine; Suc=Succinic acid; PG= propylene glycol).

PCA of Marlboro only samples was then performed in order to assess the potential of HRMAS NMR to identify counterfeit cigarettes. The chemical composition of twenty-six Marlboro cigarettes coming from Europe, North America, Vietnam and Philippines was compared to the composition of 2 counterfeit cigarettes sold under the Marlboro brand. PC2 vs PC3 plane showed clearly that NMR features were not only able to separate the counterfeits from the authentic ones but were also able to discriminate among geographical origins (cf. Fig. 3).

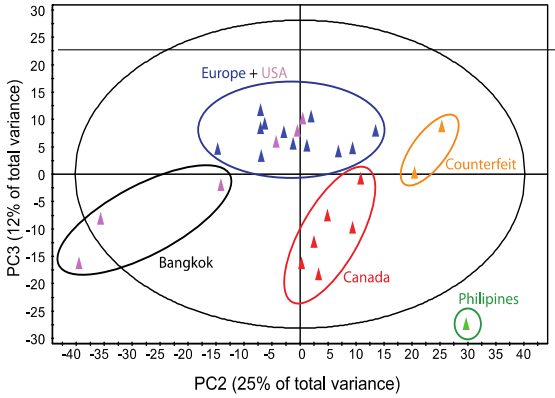


Fig.3 PCA score plot of genuine Marlboro samples coming from different continents and two counterfeit ones

Material and method

Samples. One centimeter of tobacco was taken from the middle part of the cigarettes. After removing the paper, tobacco was ground into a fine powder using a mortar and placed into an Eppendorf. About 15 mg of ground tobacco and 30µl of MeOD:D_2O phosphate buffer (70:30 v/v) were put into a 4mm ZrO_2 HRMAS rotor (50µl of volume) and mixed with a spatula.

Proton NMR spectroscopy. All NMR experiments were carried out on a Bruker Avance spectrometer operating at 400 MHz for the ^1H frequency equipped with a $^1H/^{13}C/^{31}P$ HRMAS probe. Spectra were acquired at 300K with a spin rate of 4kHz. A typical 90° sequence with water signal presaturation during a relaxation delay of 2 s was recorded on each sample. Two hundred fifty-six transients and 8k data points were collected using a spectral width of 8000 Hz. The FIDs were multiplied by an exponential weighting function corresponding to a line broadening of 0.3Hz and zero-filled prior to Fourier transformation. Subsequently, the spectra were phased and baseline corrected manually and referenced to the propane-1,2-diol signal (δ=1.12 ppm). Assignments of the metabolite signals were performed using ^1H-^1H TOCSY spectrum, ^1H -^{13}C HSQC spectrum, in-house databases and literature.

Data processing and statistical analysis. The ^1H NMR spectra were directly exported in AMIX (Bruker GmbH, Karlsruhe) and divided into 0.01 ppm-width buckets leading to 926 variables. In order to remove the effects of possible variations in the water suppression efficiency, the region between 4.75 and 5.00 ppm was discarded. The obtained dataset (**X** matrix) was then normalized to the total spectrum intensity and scaled to unit variance. The X matrix was then exported to the software Simca-P 12 (Umetrics, Umeå, Sweden) for statistical analysis. Principal component analysis (PCA) was applied to the NMR data (**X** matrix) in order to reduce dimensionality and detect intrinsic clusters and outliers within the datasets. The resulting scores and loadings plots were used to visualize respectively the samples and the NMR frequency signals (variables) in the principal component frame.

3. Conclusion

Although HRMAS NMR-based metabolomics showed in this preliminary study a real potential for the identification of counterfeit Marlboro cigarettes from authentic ones, a larger number of samples should be analyzed in order to better characterize the geographical and temporal composition variability of the different samples [14]. Moreover, combined with other analytical approaches such as toxicity analyses, HRMAS NMR-based metabolomics could become a tool of choice for the routine identification of illicit tobacco products.

4. References

[1] J. Collin et al., Tob. Control. *13*, 104-111, 2004.
[2] L. Joossens et al., Int. J. Tuberc. Lung D. *7*, 214-222, 2003.
[3] T. Staake et al., J. Bus. Res. *65*, 658-665, 2012.
[4] R. Pappas et al., Food Chem. Toxicol. *45*, 202-209, 2007.
[5] M. Morsy et al., J. Agr. Food Chem. *49*, 683-686, 2001
[6] H. K. Choi et al., Phytochemistry *65*, 857-864, 2004.
[7] E. L. Carmines et al., Food Chem. Toxicol., *43*, 1521-1539, 2005.
[8] C. L. Gaworski et al., Toxicology *269*, 54-66, 2010.
[9] E. L. Carmines et al., Food Chem. Toxicol. *43*, 1303-1322, 2005.
[10] T. J. Clark et al., J. Agr. Food Chem. *45*, 844-849, 1997.
[11] M. S. Stavanja et al., Exp. Toxicol. Pathol. 57(4):267–281, 2006.
[12] D. L. Giokas et al., J. Hazard. Mater. 185(1):86–92, 2011.
[13] J.B. Wooten et al., Phytochemistry 70(7):940–951, 2009.
[14] L. Shintu et al., Anal. Bioanal. Chem. 405:9093–9100, 2013.

Quand les hippocampes mâles prennent la pilule ...

Nathalie PRÉVOT D'ALVISE

Institut Méditerranéen d'Océanographie (MIO) – UMR 7294

IUT Génie Biologique de Toulon

THEMATIQUE - ENVIRONNEMENT

RESUME

La pilule contraceptive féminine (17α-éthinyloestradiol) est l'une des molécules que l'on retrouve de manière pérenne sur le littoral varois. Au même endroit résident les populations d'hippocampes mouchetés, *Hippocampus guttulatus* dont les populations sont fortement impactées. Afin d'évaluer les effets potentiels de la pilule sur les premiers stades de vie de ces poissons, une exposition d'un mois avec une concentration environnementale en EE2 a été conduite. Des changements physiologiques, parfois inattendus, ont été mis en évidence.

Mots-clés—Hippocampe ; perturbateur endocrinien ; pilule contraceptive féminine

INTRODUCTION

Ces dernières décennies, l'état du milieu aquatique a fortement été impacté par les changements climatiques (élévation de la température, variation du pH, …) ainsi que par l'apport continu de divers polluants dans le milieu récepteur. Parmi la pléthore de micropolluants retrouvés dans le milieu aquatique, certains ont des effets délétères sur le système endocrinien des poissons et donc *in fine* sur leur descendance. Parmi les polluants émergents figurent les perturbateurs endocriniens (PE) [1] [2]. On recense les hormones naturelles ou synthétiques, les pesticides ou encore les médicaments... Quelle que soit la nature de ces PE, la majeure partie se retrouve *in fine* dans les eaux littorales. Comme il a été montré chez d'autres espèces marines, ces molécules vont altérer le système endocrinien. Les conséquences plus ou moins dramatiques sur les individus, et donc à plus long terme sur la population, peuvent se traduire par une diminution de la qualité du sperme des mâles et/ou des œufs, une perturbation lors de la gestation, une altération du développement des nouveaux-nés, une diminution de la défense contre les agents infectieux …

L'hippocampe, espèce charismatique en Méditerranée, est un poisson marin relativement sédentaire et présente l'avantage d'avoir un cycle de développement plutôt court. En effet il est parfaitement différencié sexuellement à partir de 5 mois et devient mature sexuellement au bout d'un an. Son mode de reproduction est particulier puisque les œufs se développent dans une « poche incubatrice » chez le mâle. L'hippocampe, tout comme les autres espèces marines voit sa population impactée par les pressions anthropiques [3][4][5][6]. Il a été observé, depuis quelques années un déclin réel des populations d'hippocampes sur le littoral varois alors qu'elles se maintiennent dans l'étang de Thau.

Les concentrations en 17α-éthinyloestradiol (EE2) mesurées en milieu marin varient de <5 jusqu'à 29 ng/L [7][8]. Elle est retrouvée de manière pérenne sur le littoral varois à des concentrations moyennes <5 ng/L mais peut atteindre des pics à 50 ng/L au voisinage de l'émissaire du cap Sicié (*data internes – 2016*). De nombreuses études scientifiques ont déjà mis en évidence l'effet délétère de cette hormone synthétique sur de nombreux organismes marins, néanmoins très peu sont dédiées à l'hippocampe méditerranéen [9]. Toutes ces raisons, associées à son mode de vie et son habitat, en font un organisme candidat pour évaluer sur le long terme le bon état de son environnement ainsi que le devenir des futures générations.

Le projet ***HIPPOCAMPE*** a pour objectif d'évaluer les effets potentiels de la pilule contraceptive féminine sur les populations d'hippocampes mouchetés, *Hippocampus guttulatus*. Pour mener à bien cette étude, plus de 200 hippocampes mouchetés d'élevage âgés de 2 mois ont été exposés pendant une période de 30 jours à une concentration environnementale de 21 ng/L de EE2. Des mesures physiologiques, des dosages hormonaux et des études sur la variation d'expression de certains gènes clés impliqués dans le système endocrinien ont été réalisés.

EFFETS DE EE2 SUR LA CROISSANCE

Les hippocampes âgés de 2 mois ont une taille moyenne de 5,21 ±0,15 cm et une masse moyenne de 0,39 ±0,03 g (fig 1). Au bout d'un mois de croissance en environnement sain, leur taille et leur masse sont augmentées d'un facteur 1,3 et 2 respectivement. Les hippocampes de 2 mois qui ont évolué pendant un mois dans un environnement contaminé de manière chronique par de l'EE2 présentent une taille et une masse moindres (respectivement 6,12 ±0,13 cm et 0,56 ±0,03 g). Le retard de croissance chez les hippocampes âgés de 3 mois, suite à une exposition à l'EE2, est significative aussi bien pour la masse ($p = 0,002$) que pour la taille ($p = 0,026$).

sciencesconf.org:cnriut2019:264586

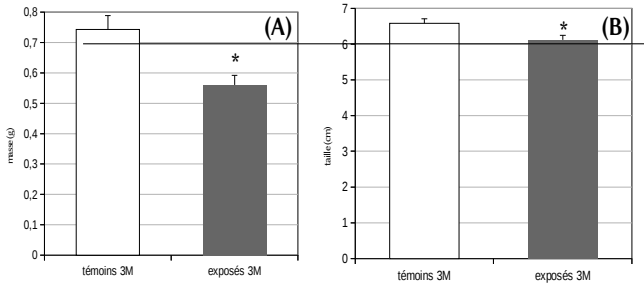


Fig 1. Influence de EE2 sur la masse **(A)** et la taille **(B)** d'hippocampes ayant atteint l'âge de 3 mois en milieu sain (blanc) ou en milieu contaminé (gris). *Hippocampes âgés de 3 mois témoins (n=31) et exposés à EE2(n=28) *: p<0,05.*

Le retard de croissance observé chez les hippocampes exposés a déjà été référencé chez d'autres téléostéens [10]. Nos résultats sont en accord avec la littérature puisque l'ensemble de individus, quel que soit leur sexe, est impacté négativement et de manière significative ($p<0,05$). Ce retard de croissance est lié à l'influence négative de l'EE2 sur le système hormone de croissance (GH)/facteur de croissance insuline-like (IGF) [11]. Ce retard étant d'autant plus significatif lorsque l'exposition à un stress chimique a lieu lors de la phase précoce du développement [12].

EFFETS DE EE2 SUR LA DIFFÉRENCIATION SEXUELLE

Hippocampus guttulatus commence sa différenciation sexuelle vers 3-4 mois. Elle se caractérise chez le mâle par l'apparition d'une poche ventrale laquelle servira à l'incubation des œufs fécondés, préalablement déposés par la femelle. Ainsi jusqu'à l'âge de 3 mois il est impossible de différencier mâle et femelle. La figure 2 illustre la différence morphologique au niveau de l'abdomen entre une femelle et un jeune mâle.

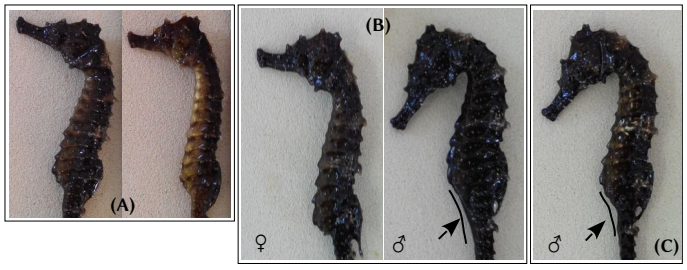


Fig 2. Identification visuelle des changements morphologiques annonçant la différenciation sexuelle chez les hippocampes, *Hippocampus guttulatus.* Hippocampes âgés de 2 mois (**A**) non différenciés sexuellement, hippocampes témoins femelle et mâle âgés de 3 mois **(B)** et hippocampe mâle (**C**) âgé de 3 mois et exposé pendant un mois à EE2 (21 ng/L). ↗*: apparition de la poche ventrale incubatrice des œufs chez le mâle.*

Le volume de la poche à l'état adulte sera étroitement lié à la masse de l'individu [13]. Suite à une exposition en EE2, les individus mâles de 3 mois présentent une poche ventrale en formation mais celle-ci est significativement moins développée. Ce retard dans l'apparition des caractères sexuels secondaires masculins corrèle les résultats précédents relatifs à la croissance [14].

EFFETS DE EE2 SUR LA TESTOSTÉRONE ET L'OESTRADIOL

Les concentrations en testostérone totale (T) et en 17β-oestradiol (E2) ont été mesurées chez les mâles et les femelles hippocampes âgés de 3 mois dans les deux conditions (fig3). La concentration en T chez les mâles est de 0,97 ±0,01 nM et 4,51 ±0,19 nM respectivement pour le milieu contrôle et le milieu contaminé. La différence observée chez les individus mâles exposés est significative ($p=0,0018$) par rapport aux témoins. Chez les femelles, les concentrations en T sont respectivement de 0,69 ±0,12 nM et 1,32 ±0,16 nM en condition témoin et en condition EE2. Les concentrations en E2 chez les individus sains femelles et mâles âgés de trois mois sont respectivement de 4153 ±390 nM et 3585 ±278 nM. Après une exposition à l'EE2, une diminution significative de la concentration en E2 par rapport aux contrôles est observée pour les deux sexes.

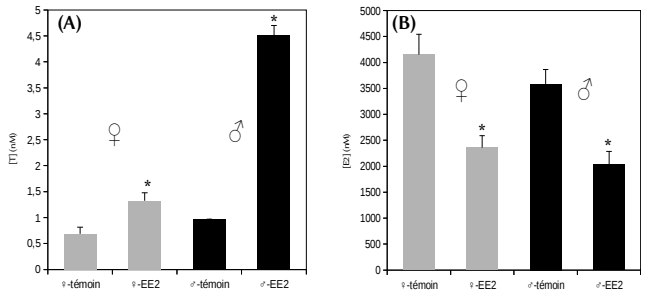


Fig 3. Concentrations (nM) en testostérone totale **(A)** et en 17β-oestradiol **(B)** chez des hippocampes âgés de 3 mois après une exposition d'un mois à de l'EE2 à 21 ng/L. *: $p<0,05$. *Hippocampes identifiés visuellement comme femelles (gris) et mâles (noir).*

Chez les poissons téléostéens, les androgènes sont essentiels pour le développement testiculaire, l'apparition des caractères sexuels secondaires, l'initiation de la spermatogenèse ...[15][16]. La testostérone, produite par les gonades mâles au niveau des cellules de Leydig, ne participe pas directement à la différenciation sexuelle cependant elle joue un rôle crucial car c'est le précurseur de la 11-ketotestostérone (11-KT) [17] et de l'oestradiol. Ces deux hormones vont quant à elles agir directement sur le développement des testicules et des caractères sexuels secondaires chez le mâle. La testostérone peut être convertie en 17β-oestradiol sous l'effet de l'*aromatase*.

L'EE2 est un oestrogène synthétique avec une activité oestrogénique supérieure à celle de l'hormone naturelle, l'oestradiol. Plusieurs études ont montré que quel que soit le sexe, l'EE2 inhibe l'expression de plusieurs enzymes impliquées dans la synthèse des androgènes (*cyp17, 11β-HSD et 17β-HSD*) alors qu'elle peut stimuler la synthèse de l'*aromatase* [18][19]. Chez les individus femelles, la teneur en oestradiol est diminuée d'un facteur 1,8. Cette diminution est en accord avec la littérature puisque des effets négatifs ont été également observés chez des femelles *Micropterus salmoides* après une exposition prolongée à l'EE2 [20]. Les auteurs suggèrent que cette diminution reflète un effet direct inhibiteur de EE2 sur

l'activité de l'*aromatase* et non sur la transcription du gène codant pour cette enzyme puisque le taux d'ARNm relatif à l'*aromatase* est fortement augmenté. Contre toute attente les résultats obtenus sur les individus mâles exposés pendant un mois à de l'EE2 ont une concentration totale en testostérone qui est augmentée significativement (p=0,0018) d'un facteur 4,7 par rapport aux témoins. De nombreuses études conduites chez des téléostéens montrent en effet qu'une exposition en EE2 conduit généralement, chez les deux sexes, à une réduction de la concentration plasmatique en T et en E2. Comment expliquer ce résultat? Chez les mâles, la production de T se fait au niveau des cellules de Leydig lesquelles sont stimulées par l'hormone lutéotrope hypophysaire (LH). Ici la teneur en LH chez les mâles n'est pas modifiée (fig 4).

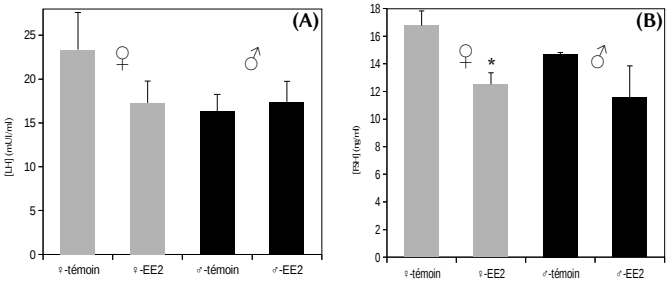


Fig 4. Concentrations des hormones adénohypophysaires LH (A) et FSH (B) chez des hippocampes âgés de 3 mois après une exposition d'un mois à de l'EE2 à 21 ng/L. *: p<0,05. *Hippocampes identifiés visuellement comme femelles (gris) et mâles (noir).*

Ce résultat met en avant que les cellules de Leydig peuvent être régulées par des facteurs autre que la LH. Ici, on peut donc supposer que malgré la présence de EE2, les cellules de Leydig continuent à être stimulées et à produire de la testostérone. La concentration élevée en T et la diminution en E2 chez les mâles exposés à l'EE2 pourrait s'expliquer par une perte partielle de l'activité de l'*aromatase*. Cette baisse d'activité est confirmée avec le ratio $\frac{[E2]}{[T]}$ [21]. Ce ratio molaire est de 3700 chez des mâles sains et de 450 chez les individus exposés, montrant ainsi qu'une partie non négligeable de la testostérone n'est plus convertie en oestradiol. Ce ralentissement dans la production d'oestrogènes conduit alors à une accumulation et une sécrétion plasmatique en testostérone plus importante. D'autre part, l'EE2 a une action inhibitrice sur la synthèse de la *11β-HSD* laquelle permet la conversion de la testostérone en 11-kétotestostérone. Ce déficit en 11-KT pourrait expliquer le retard du développement de la poche incubatrice chez les mâles exposés, puisque le 11-KT est le principal androgène impliqué dans le développement des caractères secondaires sexuels.

EFFETS DE EE2 SUR L'EXPRESSION DES GÈNES CODANT POUR LES HORMONES HYPOTHALAMIQUES ET LEUR RÉCEPTEUR

Le taux d'ARNm de la gonadolibérine Gnrh1 pour l'ensemble des individus âgés de 3 mois est de 0,77 ±0,05 UA et 2,35 ±0,29 UA respectivement pour la condition contrôle et la condition d'exposition à l'EE2 (fig 5). L'augmentation de l'expression de Gnrh1 par rapport aux hippocampes témoins est significative (p = 0,0001).

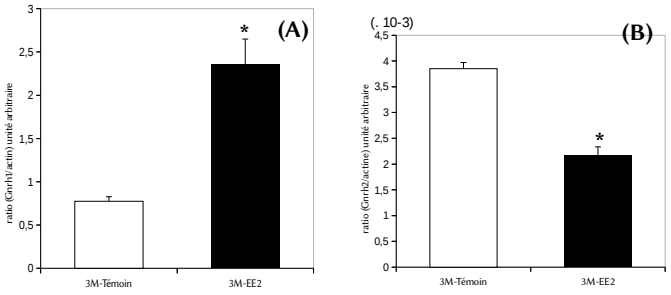


Fig 5. Variation de l'expression hypotalamique des gènes codant pour GnRH1 **(A)** et GnRH2 **(B)** chez des hippocampes âgés de 3 mois après une exposition d'un mois à de l'EE2 à 21 ng/L. *: p<0,05. *(N= 12 pour le contrôle et N= 13 pour l'exposition à EE2)- UA : unité arbitraire du ratio gène d'intérêt / gène de référence.*

Les niveaux d'ARNm de l'autre gonadolibérine, la Gnrh2 sont respectivement de 3,85 10^{-3} ±0,12 UA et 2,16 10^{-3} ±0,17 UA pour le contrôle et l'exposition à l'EE2 avec une tendance inverse significative (p = $3{,}9.10^{-9}$). Concernant le récepteur hypophysaire de ces neurohormones, GnRH-R2, les niveaux d'expression des ARNm sont similaires (0,56 et 0,58 ±0,06 UA) quelles que soient les conditions opératoires.

L'hypothalamus permet la synthèse et la sécrétion de gonadolibérines qui vont réguler la synthèse et la libération des gonadotropines au niveau de l'hypophyse. Les téléostéens ont au moins 2 ou 3 gènes *gnrh* qui codent pour des peptides distincts [22]. Concernant leur récepteur hypophysaire, plusieurs isoformes co-existent mais c'est le sous-type GnRH-R2 qui sera le plus présent au niveau des cellules hypophysaires et qui déclenchera la synthèse des gonadotropines [23][24]. Ainsi la diminution significative de l'expression de GnRH2 observée chez les hippocampes exposés à l'EE2 ne s'accompagne pas d'un effet direct sur l'axe HHG. Par ailleurs, plusieurs travaux ont montré qu'un pic de l'expression de la GnRH1 et de son récepteur hypophysaire était observé avec l'initiation de la différenciation sexuelle. Chez les hippocampes témoins âgés de 2 et 3 mois, l'augmentation respective des ARNm de GnRH1 et de leur récepteur a pu être constatée (*data non montrées*). Ces résultats, en accord avec la littérature, sont corrélés positivement avec les photographies des hippocampes témoins de 3 mois qui permettent de visualiser le début de la différenciation sexuelle.

CONCLUSION

Les premiers résultats obtenus lors de cette étude sur *Hippocampus guttulatus* confirment les effets délétères de la pilule contraceptive féminine déjà observés chez de nombreux téléostéens. En effet, il a été montré que l'EE2 a un réel impact sur la croissance, la différenciation sexuelle et la maturation chez de jeunes hippocampes immatures et ce malgré des concentrations environnementales (21

sciencesconf.org:chrnut2019:264586

ng/L) et un temps d'exposition relativement court (30 jours). Ce constat souligne le fait que malgré les faibles concentrations (ng/L) de l'EE2 mesurées dans le milieu naturel, ces teneurs sont suffisantes pour conduire à très court terme à des modifications physiologiques prononcées. Sur le long terme, ces perturbations pourront être plus importantes voire fatales pour l'individu et donc *in fine* sur la descendance, car les hippocampes sont soumis de manière pérenne à ce polluant.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été rendue possible grâce au soutien technique de l'Institut Océanographique Paul Ricard, mais également par les soutiens financiers de l'Agence de l'Eau PACA et du CARTT- IUT de Toulon.

REFERENCES

[1] Prévot D'Alvise N., Pierre S., Coupé S., Gaillard S., Richard S., Aubert J., Grillasca JP. The cutting edge of endocrine disrupting chemicals in freshwater fishes. In: *Advances in Environmental Research*. Nova Science Publishers (2011) 21: 301-330

[2] Leet JK., Sassman S., Amberg JJ., Olmstead AW., Lee LS., Ankley GT., Sepùlveda MS. Environmental hormones and their impacts on sex differentiation in fathead minnows. *Aquatic Toxicology* (2015) 158 : 98-107

[3] Kidd KA., Blanchfield PJ., Mills KH., Palace VP., Evans RE., Lazorchak JM. and Flick RW. Collapse of a fish population after exposure to a synthetic estrogen. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* (2007) 104(21) : 8897-901

[4] Vincent ACJ., Foster SJ., Koldewey HJ. Conservation and management of seahorses and other Syngnathidae. *J. Fish Biol.* (2011) 78 : 1681–1724

[5] Foster SJ., Wiswedel S., Vincent ACJ. Opportunities and challenges for analysis of wildlife trade using CITES data-seahorses as a case study. *Aquat. Conserv.* (2016) 26 : 154–172

[6] Otero-Ferrer F., González JA., Freitas M., Araújo R., AzevedoJMN., Holt WV., Tuya F., Haroun R. When natural history collections reveal secrets on data deficient threatened species: Atlantic seahorses as a case study. *Biodivers. Conserv.* (2017) 26 : 2791-2803

[7] Aris AZ., Shamsuddin AS., Praveena SM. Occurrence of 17α-ethynylestradiol (EE2) in the environment and effect on exposed biota: a review. *Environment International* (2014) 69 : 104–119

[8] Leet JK., Gall HE., Sepùlveda MS. A review of studies on androgen and estrogen exposure in fish early life stages: effects on gene and hormonal control of sexual differentiation. *J. Appl. Toxicol.* (2011) 31 : 379–398

[9] Nenciu MI. , Coatu V., Oros A., Rosioru D., Tiganus D., Rosoiu N. Pollutant bioaccumulation in the long-snouted seahorse at the romanian coast. *Journal of Environmental Protection and Ecology* (2014) 15 : 1650–1659

[10] Länge R., Hutchinson TH., Croudace CP., Siegmund F., Schweinfurth H., Hampe P., Panter GH., Sumpter JP. Effects of the synthetic estrogen 17α-ethinylestradiol on the life-cycle of the fathead minnow (*Pimephales promelas*). *Environ. Toxicol. Chem.* (2001) 20(6) : 1216-27

[11] Shved N., Berishvili G., Baroillier JF., Segner H. and Reinecke M. Environmentally Relevant Concentrations of 17α-Ethinylestradiol (EE2) Interfere With the Growth Hormone (GH)/Insulin-Like Growth Factor (IGF)-I System in Developing Bony Fish. *Toxicological Sciences* (2008) 106 : 93–102

[12] Sárria MP, Santos MM, Reis-Henriques MA, Vieira NM, Monteiro NM. The unpredictable effects of mixtures of androgenic and estrogenic chemicals on fish early life. *Environ Int.* (2011) 37(2) : 418-24

[13] Faleiro F., Almeida AJ., Ré P., Narciso L. Size does matter: An assessment of reproductive potential in seahorses. *Animal Reproduction Science* (2016) 170 : 61-7

[14] Lange A., Paull GC., Coe TS., Katsu Y., Urushitani H., Iguchi T., Tyler CR. Sexual Reprogramming and Estrogenic Sensitization in Wild Fish Exposed to Ethinylestradiol. *Environ. Sci. Technol.* (2009) 43 (4) : 1219–1225

[15] Gazola R. et Borella MI. Plasma testosterone and 11-ketotestosterone levels of male pacu *Piaractus mesopotamicus* (Cypriniformes, Characidae). *Braz. J. Med. Biol. Res*. (1997) 30(12) : 1485-148

[16] Weinbauer G.F., Luetjens C.M., Simoni M., Nieschlag E. Physiology of Testicular Function. In: Nieschlag E., Behre H.M., Nieschlag S. *Andrology* (2010) ed. Springer, Berlin, Heidelberg : 11-59

[17] Cavaco JEB., Bogerd J., Goos H., Schulz RW. Testosterone Inhibits 11-Ketotestosterone-Induced Spermatogenesis in African Catfish (*Clarias gariepinus*). *Biology of Reproduction* (2001) 65 : 1807-1812

[18] Flores-Valverde AM, Horwood J, Hill EM Disruption of the steroid metabolome in fish caused by exposure to the environmental estrogen 17α-ethinylestradiol. Environ Sci Technol (2010) 44: 3552-3558

[19] Filby AL., Thorpe KL., Maack G. and Tyler GR. Gene expression profiles revealing the mechanisms of anti-androgen and estrogen-induced feminization in fish. *Aquatic Toxicology* (2007) 81: 219-231

[20] Colli-Dula RC., Martyniuk CJ., Kroll KJ., Prucha MS., Kozuch M., Barber DS., Denslow ND. Dietary exposure of 17-alpha ethinylestradiol modulates physiological endpoints and gene signaling pathways in female largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquat. Toxicol.* (2014) 156 : 148–160

[21] Pasquier G, Rives N, Bouzouita A, Caremel R, Sibert L. Comparaison des taux d'estradiol et de testostérone dans le sang périphérique et dans le sang spermatique chez les patients avec azoospermie sécrétoire. Progrès en urologie (2008) 18: 663-668

[22] Hildahl J., Sandvik GK., Edvardsen RB., Fagernes C., Norberg B., Haug TM., Weltzien F-A. Identification and gene expression analysis of three GnRH genes in female Atlantic cod during puberty provides insight into GnRH variant gene loss in fish. *General and Comparative Endocrinology* (2011) 172 : 458–467

[23] Lethimonier C., Madigou T., Muñoz-Cueto JA., Lareyre J-J., Kah O. Evolutionary aspects of GnRHs, GnRH neuronal systems and GnRH receptors in teleost fish. *General and Comparative Endocrinology* (2004) 135 : 1–16

[24] Chen CC. et Fernald RD. Distributions of Two Gonadotropin-Releasing Hormone Receptor Types in a Cichlid Fish Suggest Functional Specialization. *J. Comparative Neurology* (2006) 495 : 314 –323

Influence des surfaces antifouling et de l'hydrodynamisme sur les biofilms marins

Elisa C. P. CATÃO [1*], Thomas POLLET [1,2], Benjamin MISSON [3], Cédric GARNIER [3], Jean-François GHIGLIONE[4], Raphaëlle BARRY-MARTINET [1], Marine MAINTENAY [1], Christine BRESSY [1], Jean-François BRIAND [1*]

[1] Université de Toulon, Laboratoire MAPIEM, EA 4323, 83041 Toulon, France ; [2]UMR BIPAR, INRA, ANSES, ENVA, Université Paris-Est, Maisons-Alfort, France ; [3] Univ Toulon, Aix Marseille Univ., CNRS/INSU, IRD, MIO UM 110, Mediterranean Institute of Oceanography, La Garde, France ; [4] CNRS, UPMC, UMR 7621, Laboratoire d'Océanographie Microbienne, Banyuls sur Mer, France

THEMATIQUE
Chimie - Biologie – Santé
Section CNU 67

RESUME

Les biofilms marins dépendent des conditions environnementales et de la surface où ils se forment. Mais on en sait peu sur les effets hydrodynamiques. Nous avons testé différents modes d'immersion (dynamique, cyclique et statique) dans la baie de Toulon (Nord-Ouest de la Mer Méditerranée ; NOMM) et à Banyuls-sur-Mer (NOMM). En outre, différentes surfaces conçues pour empêcher la fixation des micro-organismes (revêtement auto-polissant, SPC; revêtement anti-encrassement, FRC) ont été comparées au plastique inerte (PVC). La composition des bactéries a été affectée par le mode d'immersion, la surface et le site : des espèces différentes ont été sélectionnés. La densité des micro-organismes a eu une influence majeure de l'hydrodynamique, qui a retardé la maturation du biofilm. Après un an, la contrainte de cisaillement a eu un impact significatif sur la sélection de la communauté, et les caractéristiques différentes de chaque revêtement ont eu aussi un effet non confondu par l'hydrodynamisme. À l'inverse, l'effet biocide, déjà important en mode statique, était amplifié par la vitesse de 15 nœuds, ce qui nous a permis de voir une importante colonisation par un type spécifique des bactéries, appelés Sphingomonadaceae. À Banyuls, les communautés procaryotes se ressemblaient davantage au sein des surfaces, probablement en raison d'un effet masquant des contraintes environnementales, notamment l'hydrodynamique (supérieure à celle de Toulon).

***Mots-clés*—** micro-organismes marins, biofilm, force de cisaillement, revêtement anti-encrassement

1. INTRODUCTION

Le projet DRACONS – *Drag Reducing and Antifouling Coatings for Navy Ships*, avait comme objectif l'étude des revêtements anti-encrassement FRC et non FRC appliqués aux navires de l'armée et leur impact sur la réduction de la trainée hydrodynamique. Ce projet, financé par la Direction General de l'Armement, a permis l'étude des biofilms accrochés sur des surfaces anti-encrassement immergées sur des différentes contraintes d'hydrodynamisme [1].

Le macrofouling est étudié depuis de nombreuses années sur ce genre de surfaces et a un important effet sur la trainée des navires [2,3]. Or ici nous allons vous présenter spécifiquement les résultats liés à la caractérisation des biofilms, aussi appelé comme microfouling. Le biofilm fait référence à un ensemble de micro-organismes unicellulaires, que ce soit des bactéries, des champignons, des microalgues ou des protistes [4,5]. Dans le biofilm, les cellules sont entourées d'une matrice autoproduite des substances polymériques extracellulaires.

Pour cette partie du projet, les objectifs majeurs ont été d'évaluer la densité et diversité des micro-organismes qui colonisent les revêtements anti-encrassement. Nous avons aussi pu identifier les espèces présentes dans les communautés de chaque type de revêtement aussi en mode statique qu'en mode dynamique (Figure 1). Finalement, nous avons testé l'effet de site en mode statique sur les biofilms qui colonisent des surfaces immergées dans deux sites de la mer Méditerranée française.

Pour pouvoir réaliser ces objectifs, le plan d'expérience utilisé pour étudier les biofilms a été basé sur deux types de revêtement anti-encrassement (FRC) et un revêtement auto-polissant (SPC) commerciales. Le SPC contenait des biocides. Le PVC a été utilisé pour son caractère inerte comme témoin de colonisation sans a priori antifouling.

Pour chaque type de revêtement, des coupons de 25 cm^2 ont été immergés en mode dynamique et statique. C'est la première fois qu'une étude scientifique sur des biofilms marins est fait en mode dynamique. Le rotor d'un mètre de diamètre a tourné à 15 nœuds et les biofilms développes sur les surfaces en dynamique ont été comparés à un support métallique statique. De plus, et pour

mimer le comportement des navires militaires, quelques coupons ont été immergés dans un mode appelé cyclique correspondant à 15 jours ~~en dynamique et 2 mois en statique. Finalement, pour vérifier l'effet de site sur le biofilm formé, l'immersion en s~~tatique a été réalisé en deux sites : à Toulon et dans la baie de Banyuls-sur-Mer, où l'immersion a été faite sous une bouée.

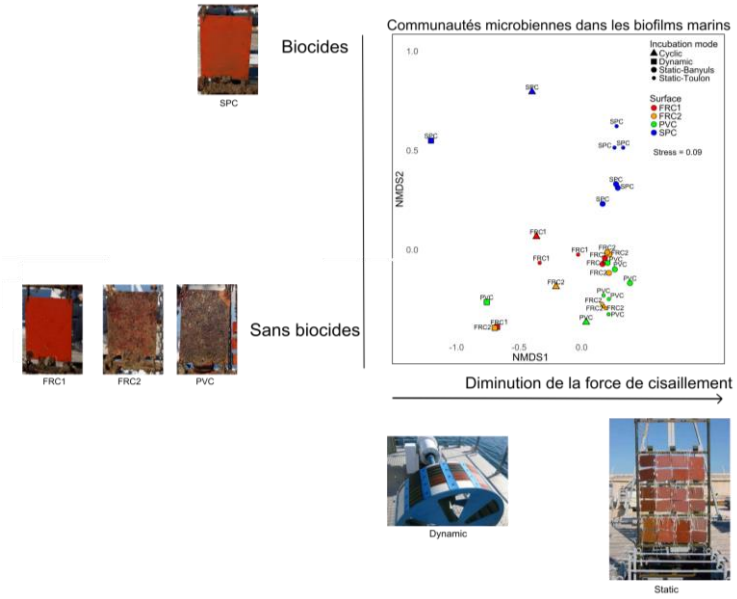


Figure 1. Pression sélective sur la composition de la communauté taxonomique des biofilms en raison de l'effet combiné de la contrainte de cisaillement et de la surface anti-encrassement. Représentation de l'analyse multivarié (NMDS) de la dissimilarité de Bray Curtis entre échantillons en fonction du revêtement ou du mode d'immersion. La valeur de stress inférieure à 0,1 indique une bonne ordination d'échantillons de la communauté microbienne à deux dimensions. La valeur p de PERMANOVA était égale à 0,001 en effet de surface et/ou en mode d'incubation.

2. L'INFLUENCE DE L'HYDRODYNAMISME SUR LA DIVERSITE ET LA DENSITE DES MICRO-ORGANISMES

Le dénombrement des micro-organismes présentes sur chaque surface a été réalisé avec la cytométrie en flux et a confirmé l'effet de l'immersion dynamique sur la densité des micro-organismes sur PVC. De plus, à partir du séquençage de l'ADN des bactéries dans les biofilms, nous avons pu montrer la diversité de micro-organismes présentes dans ces biofilms. Les outils de calcul de la diversité d'espèces présentes sur les biofilms ont indiqué la présence des milliers d'espèces différentes (Figure 2). Tous les revêtements immergés en mode statique ont présenté un nombre des différentes « espèces » (aussi appelés en unités taxonomiques opérationnelles ; OTU) plus important en comparaison aux immersions cyclique et dynamique. Une plus importante diversité a été vérifié sur FRC2 et PVC et qui a varié selon l'immersion à Banyuls ou à Toulon. Ce résultat a montré l'effet de site sur les biofilms capables de se développer sur chaque site, ce qu'il a déjà été montré dans une comparaison entre Mer Méditerranée et océan Atlantique [6].

L'immersion en dynamique a provoqué une sélection sur la diversité de microorganismes capables de s'adhérer aux différents types de revêtements. De façon similaire, une sélection a été observé due à l'effet des biocides sur SPC. Ce revêtement a présenté le plus faible nombre des espèces différentes (Figure 2).

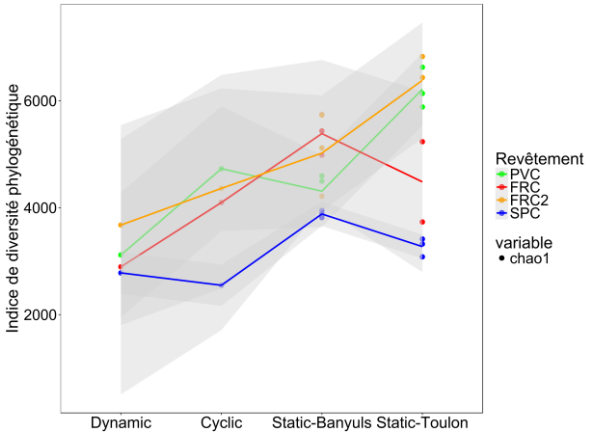


Figure 2. Indice de richesse Chao1 calculé avec la matrice d'abondance relative des communautés de micro-organismes présents dans les biofilms immergés sur les quatre conditions et les quatre types de revêtement. PVC – polyvinyl chloride (vert); FRC1 – fouling release coating (rouge); FRC2 (orange); SPC – self-polishing coating (bleu).

3. LES DIFFERENTES ESPECES DE MICROORGANISMES SUR LES SURFACES ANTI-ENCRASSEMENT

~~Une matrice qui relie l'abondance relative de chaque espèce, a été utilisé pour montrer les conditions qui ont per~~mis une sélection des biofilms plus ou moins semblables (Figure 1). L'analyse multivarié permet la représentation des donnés complexes sur une figure bidimensionnelle. Chaque point représente l'ensemble des micro-organismes présent dans les biofilms (Figure 1). L'axe horizontal montre une distinction significative due à l'effet des biocides sur les biofilms. D'autant plus si en mode dynamique. De façon les communautés se forment différemment selon le revêtement et le mode d'immersion.

L'analyse statistique (LefSe) nous avons pu obtenir les groupes taxonomiques responsables par la séparation des communautés. Deux résultats majeurs ont été observés : la contribution des *Altererythrobacter* pour la séparation des biofilms formés sur les SPC en comparaison aux autres revêtements, et en spécial en mode dynamique. De plus, l'abondance des Flavobacteria a été spécifique du mode statique, comme montré auparavant pour les biofilms formés sur PVC [7].

4. L'EFFET DE SITE SUR LES COMMUNAUTES DES BIOFILMS

Si on s'atteint aux communautés immergées qu'en mode statique, l'effet de site est plus important selon le type de revêtement FRC utilisé. Mais aussi, l'effet du SPC est distingué des autres surfaces. Une analyse statistique nous permet aussi de dire les espèces différentes entre sites. Notamment une plus grande abondance de Dadabacteria et de Planctomycetes à Toulon, quand comparé à Banyuls.

5. CONCLUSIONS

Ce travail nous a permis de montrer la complexité des biofilms marins développés sur des revêtements anti-encrassement, même avec une contrainte de cisaillement. Cependant, l'hydrodynamique a eu un impact significatif sur la diminution de la densité et la diversité des microorganismes. En outre, la communauté de microorganismes présent sur les surfaces sous une plus grande force de cisaillement a été significativement différente des communautés rencontrées en mode statique. Surtout sur le revêtement contenant des biocides, qui a sélectionnée des organismes de la famille Sphingomonadaceae.

6. REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier la plateforme de support aux analyses bio-informatiques – *Analysis and Bioinformatics for Marine Science* (ABiMS). Nous remercions aussi les collègues Marlène Lejars et Lucille Pelloquet pour leur aide avec l'immersion des surfaces.
Ce travail a été finance par la Direction Générale de l'Armement (DGA).

7. REFERENCES

(1) Catão C. P., E.; Pollet, T.; Misson, B.; Garnier, C.; Ghiglione, J.-F.; Barry-Martinet, R.; Maintenay, M.; Bressy, C.; Briand, J.-F. Shear Stress as a Major Driver of Marine Biofilm Communities in the NW Mediterranean Sea. *Submitt. Front. Microbiol.* **2019**.

(2) Schultz, M. P.; Bendick, J. A.; Holm, E. R.; Hertel, W. M. Economic Impact of Biofouling on a Naval Surface Ship. *Biofouling* **2011**, *27* (1), 87–98. https://doi.org/10.1080/08927014.2010.542809.

(3) Nolte, K. A.; Koc, J.; Barros, J. M.; Hunsucker, K.; Schultz, M. P.; Swain, G. W.; Rosenhahn, A. Dynamic Field Testing of Coating Chemistry Candidates by a Rotating Disk System. *Biofouling* **2018**, *34* (4), 398–409. https://doi.org/10.1080/08927014.2018.1459578.

(4) Costerton, J. W.; Lewandowski, Z.; Caldwell, D. E.; Korber, D. R.; Lappin-Scott, H. M. Microbial Biofilms. *Annu. Rev. Microbiol.* **1995**, *49*, 711–745. https://doi.org/10.1146/annurev.mi.49.100195.003431.

(5) Dang, H.; Lovell, C. R. Microbial Surface Colonization and Biofilm Development in Marine Environments. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* **2016**, *80* (1), 91–138. https://doi.org/10.1128/MMBR.00037-15.

(6) Briand, J.-F.; Barani, A.; Garnier, C.; Réhel, K.; Urvois, F.; LePoupon, C.; Bouchez, A.; Debroas, D.; Bressy, C. Spatio-Temporal Variations of Marine Biofilm Communities Colonizing Artificial Substrata Including Antifouling Coatings in Contrasted French Coastal Environments. *Microb. Ecol.* **2017**, *74* (3), 585–598. https://doi.org/10.1007/s00248-017-0966-2.

(7) Pollet, T.; Berdjeb, L.; Garnier, C.; Durrieu, G.; Le Poupon, C.; Misson, B.; Jean-François, B. Prokaryotic Community Successions and Interactions in Marine Biofilms: The Key Role of Flavobacteriia. *FEMS Microbiol. Ecol.* **2018**, *94* (6). https://doi.org/10.1093/femsec/fiy083.

Nouvelle méthode de mesure de perméabilités gazeuses des matériaux d'emballage : application aux aliments frais conditionnés

Amandine COTTAZ, Keziban OZTURK, Catherine JOLY
Univ Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, ISARA Lyon, BioDyMIA (Bioingénierie et Dynamique Microbienne aux Interfaces Alimentaires), Equipe Mixte d'Accueil n°3733, IUT Lyon 1, Technopole Alimentec, rue Henri de Boissieu, F-01000 Bourg en Bresse, France

THEMATIQUE - Chimie - Biologie - Santé

RESUME - Les aliments frais sont souvent conditionnés sous atmosphère « protectrice » et/ou la génère intrinsèquement lors de leur activité métabolique. En agroalimentaire, le couple (emballage/produit alimentaire) est désormais optimisé afin de trouver la meilleure adéquation entre nature des produits alimentaires à préserver dans le temps (qualité et sécurité des produits) et perméabilité des matériaux d'emballage. Cet article propose de présenter une nouvelle méthode de mesure de la perméabilité gazeuse effectuée en conditions réelles subies par le couple emballage-produit. Les développements expérimentaux proposés ici peuvent avec intérêt se plier aux contraintes des travaux pratiques d'enseignements et aux travaux de recherche collaboratifs.

Mots-clés—Aliments, emballage, perméabilité gazeuse.

1. INTRODUCTION

Dans un souci de réduction du gaspillage alimentaire, l'utilisation de produits frais emballés prêts-à-manger et exempts de conservateurs d'origine synthétique (clean label) s'est fortement développée. Une des techniques pour allonger la durée de vie de ces produits frais passe par l'utilisation d'un emballage sous atmosphère modifiée dite « protectrice » (si l'on retient le terme officiel obligatoire porté sur les emballages). Cette technique est efficace mais requiert l'utilisation de matériaux d'emballage permettant le maintien de cette atmosphère [1]. D'autre part, le métabolisme respiratoire des végétaux (cas des aliments dits de IV^{è} gamme comme la salade, les fruits et légumes…) est également à considérer avec attention pour la durée de vie de l'aliment. Par sa respiration naturelle, le végétal emballé produit seul l'atmosphère modifiée protectrice qui l'entoure ou contribue à modifier l'atmosphère modifiée initialement introduite. Cette atmosphère (appauvrie en O_2, enrichie en CO_2) influence par ricochet le métabolisme respiratoire des végétaux emballés qui s'en trouve ainsi ralenti pour une conservation prolongée. La difficulté face à ces systèmes dynamiques est la sélection de l'emballage dont les propriétés de perméabilité gazeuse intrinsèque doivent alors parfaitement répondre aux besoins de l'aliment en constante évolution.

L'étude de ces systèmes commence par la détermination des propriétés de perméation gazeuse (H_2O, O_2, CO_2) des emballages. [2] Ces gaz sont étudiés de façon privilégiée dans une première approche globale car ils ont une influence marquée sur la conservation des produits alimentaires par leur état d'hydratation, la modulation de l'intensité respiratoire sans oublier un effet potentiellement bactériostatique du CO_2 sur la flore endogène…

A cette date, aucun matériau n'est satisfaisant et des compromis sont recherchés (nature des matériaux, temps de conservation optimaux). Pour hiérarchiser les emballages entre eux sur des échelles de perméabilité gazeuse, les normes actuelles imposent des conditions d'analyse (couples température - différence de pression partielle) données, parfois très éloignés des conditions réelles d'utilisation du couple (emballage-produit) mais qui permettent de dresser rapidement un catalogue de propriétés plutôt pertinent pour les films utilisées actuellement (polyoléfines de type polypropylène ou polyéthylène).

La mise sur le marché de matériaux agrosourcés, beaucoup plus sensibles à leur environnement (température et humidité) que les matériaux pétrosourcés, rebat les cartes. Ces matériaux demandent de mettre en place de nouvelles méthodes de caractérisation afin de se rapprocher dans un premier temps, des conditions réelles de température, des gradients d'humidité et de gaz (O_2, CO_2) du système (emballage/produit alimentaire).

Dans un premier temps, nous allons dresser le paysage des techniques normatives, commerciales et alternatives pouvant être utilisées, puis nous verrons des applications de la méthode alternative que nous proposons à la fois dans un but pédagogique et dans le cadre plus amont de contrats de recherche collaborative dans lesquels le laboratoire BioDyMIA est impliqué.

2. LES TECHNIQUES DE MESURE DE PERMEATION

Différentes normes et appareils commerciaux sont disponibles pour la détermination des propriétés de perméation des matériaux d'emballages. Ces matériaux sont le plus souvent testés sous forme de films. A chaque espèce transportée « son perméamètre » ou ses appareillages dédiés selon la gamme de perméabilité cible.

2.1. Perméation à l'eau

Méthode de la coupelle sèche : la mesure de la perméation à l'eau est réalisée suivant la norme NF ISO 2528 :2017 [3] et peut sembler relativement manuelle. Les capsules ou cellules-coupelles contenant un produit desséchant, sont obturées hermétiquement par le matériau soumis à l'essai et sont placées dans les conditions recommandées (enceinte climatique, Tableau 1). Elles sont ensuite pesées régulièrement jusqu'à obtenir une augmentation de masse proportionnelle au temps

correspondant à la quantité d'eau en gramme ayant traversé la « barrière » film. On parle alors de flux (exprimé en g d'eau.m^{-2}.$jour^{-1}$ selon les unités de la profession) ou de coefficient de transmission de la vapeur d'eau.

Tableau 1. Conditons d'essai pour la détermination du coefficient de transmission de la vapeur d'eau

Conditions	Température	Humidité relative
A	25 °C ± 1 °C	90 % ± 2 %
B	28 °C ± 1 °C	90 % ± 2 %
C	25 °C ± 1 °C	75 % ± 2 %
D	23 °C ± 1 °C	85 % ± 2 %
E	20 °C ± 1 °C	85 % ± 2 %

Autres méthodes : L'utilisation d'un appareil commercial type Permatran® (Mocon) relativement onéreux est pratique car très automatisé. Malheureusement, il ne permet de travailler que dans des conditions prédéfinies et limitées, température minimale 10°C et gradient d'humidité élevé imposant des conditions sèches en aval.

2.2. *Perméations aux gaz*

Pour la détermination de transmission d'un gaz au travers d'un film d'emballage plastique, il est possible d'utiliser la norme ISO 15105-2 :2003 [4], celle-ci demande la mise en place d'une cellule de transmission comprenant 2 chambres (amont et aval) balayées par un mélange gazeux de composition connue. Le gaz d'essai diffuse à travers l'échantillon par le biais d'un gaz vecteur et est analysé par diverses méthodes analytiques dont la chromatographie en phase gazeuse. Les gaz peuvent être humidifiés selon les valeurs du tableau 2. La différence de pression totale entre les deux chambres doit être la plus faible possible (film plat), la différence de pression partielle du gaz observé sera déterminée par la concentration dans le mélange pour remonter au calcul de la perméabilité [2].

Tableau 2. Conditons d'essai pour la détermination du coefficient de transmission d'un gaz

Conditions	Température	Humidité relative
1	23 °C	0 %
2	23 °C	50 %
3	23 °C	60 %
4	23 °C	75 %
5	23 °C	85 %
6	10 °C	85 %

C'est finalement un appareil commercial type Oxtran® (Mocon) qui est le plus souvent utilisé. Il ne permet l'analyse que de 2 échantillons par appareil qui peut être immobilisé parfois longuement (1 jour à une semaine) pour des conditions limitées (température minimale 10°C et plages d'humidité imposées). Il est cependant parfaitement automatisé et rend un résultat en cm^3/m^2.jour.bar appelé coefficient de transfert d'oxygène (c'est alors une perméance).

Le même type d'appareillage existe pour le CO_2 avec détection le plus souvent infra rouge.

2.3. *Techniques alternatives*

La mise en œuvre d'une technique alternative par capteurs optiques luminescents mesurant la pression partielle d'oxygène et de CO_2, permet quant à elle i) de multiplier les essais et ceci de façon non invasive avec ou sans aliment ii) de mesurer pour un même film simultanément les flux entrants ou sortants d'oxygène et de CO_2 et la pesée des systèmes permet de remonter à la perméabilité à l'eau toujours sur le même échantillon. Ces mesures sont réalisées à l'aide de lecteurs Fibox4 (PreSens, Regensburg, Allemagne) pour les mesures d'O_2 et de lecteurs pCO_2 mini pour les mesures de CO_2, chacun associé aux capteurs correspondants. Les capteurs sont positionnés préalablement par collage dans une cellule transparente et la concentration en gaz peut être mesurée en continu. Actuellement sur le marché, nous pouvons trouver des capteurs d'oxygène permettant de travailler entre 0 et 100% d'O_2 à des températures de 0 à 50°C sans contrainte d'humidité, et de capteurs de CO_2 ente 1 et 25% dans des conditions humides.

Il est donc ainsi possible de travailler en conditions réelles avec un emballage commercial ou en cours d'étude (nouveau polymère de synthèse par exemple), pouvant contenir l'aliment stocké à sa réelle température d'usage.

3. DIFFERENTES APPLICATIONS

3.1. *Utilisation pédagogique*

Les fruits et légumes sont des aliments à part considérés comme des tissus vivants et qui le restent tout au long de la chaine de commercialisation. La difficulté rencontrée est de les « maintenir vivants » tout en ralentissant leur activité métabolique afin de les conserver dans un bon état de fraicheur le plus longtemps possible[5]. Il va être nécessaire de limiter les phénomènes d'oxydation par abaissement de la quantité d'oxygène disponible et de ralentir leur respiration. Différentes techniques peuvent être associées : l'abaissement de la température de stockage, le conditionnement pour limiter les échanges avec l'air extérieur et la présence d'une atmosphère protectrice.

Pour illustrer ces phénomènes, nous avons mis en place le suivi de la présence d'oxygène en travaux pratiques. Des quartiers de pommes sont conditionnés dans le même type d'emballage sous air ambiant ou sous atmosphère protectrice composée d'un mélange à 70% N_2 et 30% CO_2, placé à 4°C, ou à température ambiante. La quantité d'oxygène présente dans l'espace de tête est suivie en fonction du temps.

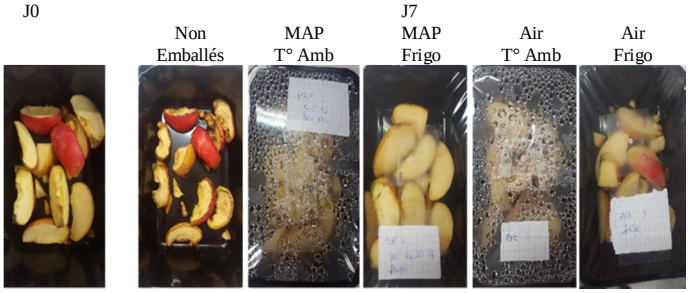


Fig.1 Vieillissement de quartiers de pommes MAP : Modified Atmosphere Packaging

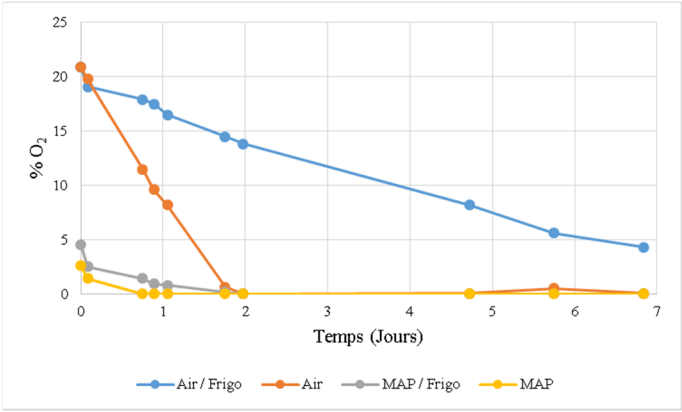


Fig.2 Suivi du pourcentage d'oxygène présent dans l'espace de tête de l'emballage en fonction du temps

La figure 1 illustre l'évolution des fruits coupés lors de leur conservation et l'impact de la présence d'oxygène sur

l'oxydation au regard de la figure 2 qui présente l'évolution du pourcentage d'oxygène au cours du temps.

3.2. *Exemple d'un projet de recherche collaboratif*

Afin de répondre à la demande de partenaires industriels qui travaillent sur des produits frais, cette technique expérimentale a été adaptée. Si on prend comme exemple la salade 4ème gamme, celle-ci est conservée à 4°C avec une atmosphère protectrice permettant de ralentir sa respiration. A l'intérieur de l'emballage l'humidité relative est proche de 100% alors qu'à l'extérieur, l'humidité est plus faible et variable au cours du transport et du stockage des produits.

Dans le cadre du projet FUI - FOR-TUNE qui a pour objectif le développement d'un matériau plastique biosourcé à base d'acétate de cellulose intrinsèquement plastifié (via un greffage chimique sur le squelette cellulosique), il s'est agi de réaliser une présélection des polymères prometteurs issus de la synthèse chimique. Ces polymères étant fournis en très faibles quantités (de l'ordre du dixième de gramme) nous avons mis au point une cellule de petite taille nous permettant de caractériser de façon simultanée les perméabilités à l'eau, à l'oxygène et au CO_2. Cette cellule instrumentée (petit pot de confiture) est présentée figure 3.

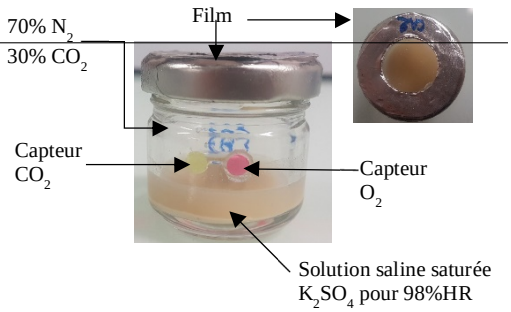


Fig.3 Cellule de perméation

Cette cellule est ensuite placée dans une enceinte à humidité contrôlée dans laquelle se trouve une balance de précision qui nous permet de remonter à la perméabilité à l'eau sans changer de conditions environnementales (Figure 4).

Cette configuration nous permet de multiplier les essais dans les mêmes conditions environnementales, mais également de moduler facilement la température en se plaçant dans une chambre froide ou une pièce climatisée, de faire varier l'humidité par l'utilisation de solutions salines saturées ou d'un générateur d'humidité contrôlée et également d'utiliser des mélanges de gaz adaptés aux besoins de l'aliment [6].

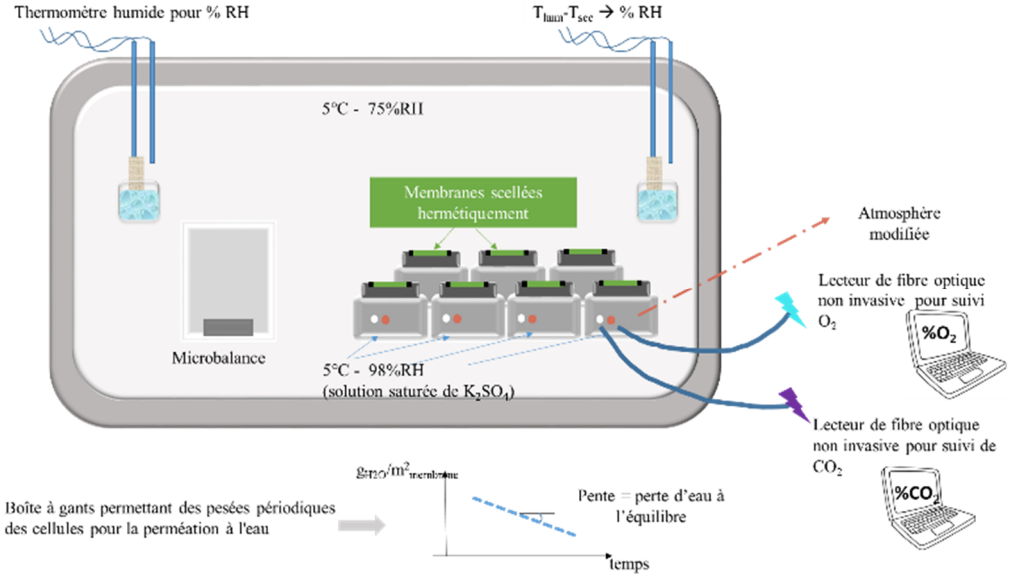


Fig.4 Enceinte pour mesure simultanée des perméabilités H_2O, O_2 et CO_2

4. Conclusions

Cet article présente le développement d'une technique de mesure originale des perméabilités gazeuses à l'eau, à l'O_2 et au CO_2 disponible au sein du laboratoire BioDyMIA. L'originalité réside i) dans sa capacité à mesurer simultanément le transport de ces 3 espèces en conditions d'environnement réelles ii) dans son adaptabilité aux matériaux nouveaux disponibles en très faibles quantités (issus de la synthèse). A ce jour, la mise au point a permis essentiellement de caractériser de nouveaux matériaux biosourcés mais les développements actuels se poursuivent et visent le suivi de systèmes dynamiques incluant le produit alimentaire.

5. Remerciements

Les auteurs remercient les partenaires et les financeurs du programme FUI For-tune.

6. References

[1] P. Dole, *Les 7 fonctions de l'emballage*. Tec & Doc Lavoisier, 2018.

[2] C. Joly and A. Cottaz, "Chapitre 10 : Bien comprendre les mesures de perméabilité aux gaz des matériaux d'emballage des aliments," in *Les 7 fonctions de l'emballage*, Tec & Doc Lavoisier, 2018.

[3] NF ISO 2528:2017 Produits en feuille - Détermination du coefficient de transmission de la vapeur d'eau - Méthode (de la capsule) par gravimétrie.

[4] ISO 15105-2:2003 Plastiques - Film et feuille - Détermination du coefficient de transmission d'un gaz - Partie 2: Méthode isobarique.

[5] A. L. Brody, H. Zhuang, and J. H. Han, *Modified Atmosphere Packaging for Fresh-Cut Fruits and Vegetables*. John Wiley & Sons, 2010.

[6] M. Boulven, G. Quintard, A. Cottaz, C. Joly, A. Charlot, and E. Fleury, "Homogeneous acylation of Cellulose diacetate: Towards bioplastics with tuneable thermal and water transport properties," *Carbohydrate Polymers*, vol. 206, pp. 674–684, 2019.

Diversité et contrôle des biofilms marins

Thomas POLLET [1,2], Clément COCLET [1,3], Benoit PAIX [1], Elisa CATÃO [1], Benjamin MISSON [3], Cédric GARNIER [3], Christine BRESSY [1], Gérald CULIOLI [1]& Jean-François BRIAND [1]

[1] Université de Toulon, Laboratoire MAPIEM, EA 4323, 83041 Toulon, France ; [2]UMR BIPAR, INRA, ANSES, ENVA, Université Paris-Est, Maisons-Alfort, France ; [3] Univ Toulon, Aix Marseille Univ., CNRS/INSU, IRD, MIO UM 110, Mediterranean Institute of Oceanography, La Garde, France

THEMATIQUE

Chimie - Biologie – Santé
Section CNU 67

RESUME

Toute surface, biotique ou abiotique, naturelle ou artificielle, immergée en milieu marin va rapidement être colonisée par une communauté diversifiée de microorganismes procaryotes et eucaryotes qui va constituer un biofilm. Ces structures tridimensionnelles, formées des cellules qui se retrouvent englobées dans une matrice exopolymérique autoproduite, jouent un rôle fondamental pour l'évolution de ces substrats. Ma présentation portera sur la description de la diversité et des facteurs de contrôle (environnement et physique de surface) de ces biofilms sur des surfaces artificielles, notamment des revêtements antifouling pour les navires, et sur la surface d'une algue brune méditerranéenne.

***Mots-clés*—** biofilm,

1. INTRODUCTION

Le biofouling marin se défini comme l'accumulation de micro et macroorganismes sur les surfaces immergées en milieu marin. Le biofouling se produit généralement selon la séquence chronologique suivante (1) la mise en place d'un film primaire, essentiellement composé de macromolécules organiques et/ou inorganiques présentes dans le milieu ou sécrétées par les microorganismes vivant dans ce milieu, (2) la colonisation de ce film primaire par des bactéries et d'autres microorganismes marins, notamment autotrophes (diatomées principalement) et (3) le recrutement de macroorganismes (algues, animaux). L'attachement bactérien intervient dans les heures qui suivent l'immersion en deux étapes successives. Dans un premier temps, cet attachement est réversible sur le support et met en jeu de faibles interactions entre la surface et les cellules bactériennes. Dans un second temps, l'adhésion des microorganismes est rendue irréversible par la sécrétion de polymères extra-cellulaires formant des ponts de fixation entre les cellules et la surface. Ces exopolymères (exoplymeric substances ou EPS) ont un rôle multiple : ils assurent l'attachement irréversible des microorganismes aux surfaces mais également le piégeage des éléments nutritifs (matière organique et inorganique), nécessaires à la croissance bactérienne, tout en protégeant les microorganismes d'agressions de nature biochimiques, chimiques ou biologiques. Si les conditions physico-chimiques à l'interface leur sont favorables, les bactéries vont alors pouvoir se multiplier sous forme de micro-colonies et former un biofilm stable sur la surface colonisée. Une diversification de ces biofilms bactériens va alors rapidement se produire avec l'incorporation dans la matrice de microorganismes eucaryotes autotrophes, essentiellement des diatomées produisant également des EPS, mais aussi de microorganismes hétérotrophes (ciliés, nématodes, etc …).

Les paramètres environnementaux, ainsi que la diversité des populations planctoniques présentes dans la colonne d'eau, conditionnent quantitativement et qualitativement la colonisation des surfaces, ce qui explique que les processus et la vitesse de colonisation diffèrent en fonction des zones géographiques.

Ce processus est à l'origine de nombreux effets néfastes sur les navires, les plates-formes offshores, les structures EMR (Energie Marines Renouvelables), les cages d'aquaculture et les équipements océanographiques (bouées, capteurs et équipements de mesure) submergés dans les environnements marins. Lorsque le biofouling se développement sur la coque des navires, il réduit l'hydrodynamisme des navires, ce qui entraine une perte de vitesse, une consommation accrue de carburant et une hausse des émissions de gaz à effet de serre. Globalement, le biofouling entraine une hausse importante des coûts de maintenance et d'opération pour l'industrie maritime.

Outre leur impact économique, les biosalissures colonisant la coque des navires peuvent également être la source d'introduction d'espèces indésirables envahissantes dans les milieux aquatiques et représenter une menace importante pour la santé des écosystèmes

marins. En effet, lorsque les conditions physico-chimiques des eaux de destination leur sont favorables, ces espèces non indigènes peuvent ~~atteindre des proportions nuisibles pour le maintien de la biodiversité naturelle des milieux concernés et~~ devenir envahissantes Le risque de transfert du fait de l'encrassement biologique des coques de navires et de leur nettoyage est mondialement reconnu depuis 2001 par l'Organisation maritime internationale (IMO) et est un point majeur de la Convention sur la diversité biologique du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). Cette problématique rejoint celle fortement émergente des microplastiques qui sont aussi colonisés à leur surface par des biofilms et peuvent servir de « radeaux » pour la dispersion des espèces invasives ou pathogènes.

Les revêtements antisalissures ou antifouling visent essentiellement à limiter la colonisation irréversible des surfaces par les microorganismes en empêchant la fixation des organismes sur les surfaces et/ou en réduisant l'intensité de l'adhérence entre les organismes marins et les surfaces matérielles. Plusieurs stratégies ont été développées, principalement basée sur le relargage de biocides ou des propriétés physiques de surface qui défavorisent l'adhésion (ie faible énergie de surface et module d'élasticité).

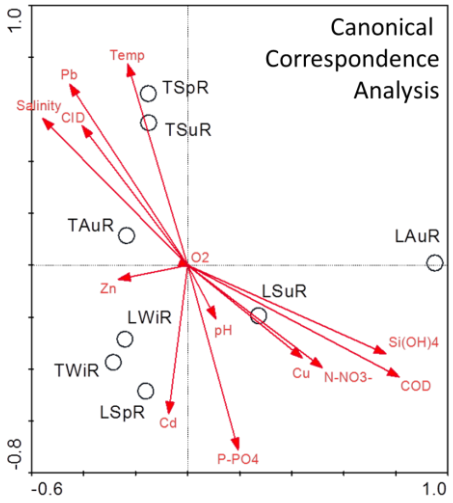
L'objectif de cette présentation sera de décrire la diversité et les facteurs de contrôle (environnement et physico-chimie de surface) de ces biofilms sur des surfaces artificielles, notamment des revêtements antifouling pour les navires, mais aussi sur la surface d'une algue brune méditerranéenne.

2. Dynamique de colonisation des communautes microbiennes des biofilms marins

Des expériences sur différents sites en Méditerranée et Atlantique ont pu montrer la colonisation au bout de quelques heures de substrats plastiques (PVC) et l'augmentation jusqu'à des densités très élevées de l'ordre de 10^8 cellules par cm^2. Les microorganismes de l'ordre de quelques microns comme les bactéries sont quantifiés par une approche de cytométrie en flux alors que les diatomées qui ont une taille de quelques dizaines à quelques centaines de microns sont étudiées par microscopie inversée. Des différences de densités entre sites qui possèdent des caractéristiques physico-chimiques contrastées (Rade de Toulon, Lorient et La Réunion) ont aussi pu être mise en évidence pour différents microorganismes (bactéries, diatomées notamment) [1,2].

La diversité des communautés de biofilms (alpha-diversité) étudiée grâce à des approches de séquençage haut débit (Métabarcoding, séquençage Illumina) est très élevée (plusieurs milliers d « espèces ») et semble rapidement maximale sauf pour des revêtements antifouling relargant des biocides. On observe que cette diversité est plus élevée que celle des communautés microbiennes présentes dans la colonne d'eau (planctonique) [3]. La composition de ces communautés de biofilm (Béta-diversité) varie dans le temps surtout à des rangs taxonomiques inférieurs [2].

3. Effets des parametres environnementaux sur les communautes de biofilms



Les communautés de biofilms varient en fonction des conditions environnementales. Ceci a pu être observé à la fois pour les procaryotes et pour les eucaryotes. Les paramètres discriminants entre les rades de Toulon et Lorient sont la température, la salinité et les nutriments [1,4]. Entre sites méditerranéens (Toulon vs Banyuls), des paramètres comme la contamination métallique ou l'hydrodynamique semble responsable des différences plus faibles qui ont été observées [5].

Des outils statistiques multiples (analyses multivariées de type NMDS, ACC, analyses discriminantes LEfSe, analyses de réseaux de cooccurrences, …) nous permettent de démontrer ces effets et d'identifier les taxa clés au sein de ces biofilms marins.

Figure 1 : Analyse canonique de correspondance montrant les paramètres physicochimiques en lien avec la distribution des communautés de biofilms (T=Toulon, L=Lorient) [1]

4. Effet des revetements antifouling sur les communautes de biofilms

Les revêtements antifouling commerciaux montrent une efficacité réelle en termes de densité de colonisation [1,5] même si des variations entre site sont aussi observées. Les revêtements relargant des biocides (Self Polishing Coatings) entrainent aussi une diminution significative de diversité microbienne (bactéries et diatomées). De plus, ils sélectionnent des taxa au détriment d'autres, ce qui entraine la constitution de communautés spécifiques aux cocktails de biocides qui les caractérisent. En ce qui concernent les revêtements antifouling possédant des propriétés de faible adhérence (Fouling release Coatings), les communautés qui les colonisent

sont au contraire assez proches de celles colonisant les surfaces inertes plastiques et ce d'autant plus avec le temps et en condition statique.

Un des objectifs majeurs de ces travaux est d'évaluer l'importance relative des caractéristiques environnementales par rapport à celles des surfaces. L'étude que nous avons réalisée dans les rades de Toulon et Lorient a montré que la nature des revêtements influe sur les communautés du biofouling plus que les variables environnementales pour les microorganismes (bactéries-diatomées) mais moins que les variables environnementales pour les eucaryotes (macrofouling) [1,2]. A contrario, l'étude réalisée en Méditerranée entre les rades de Toulon et Banyuls a montré que la nature des revêtements influe sur les communautés du biofouling plus que les variables env. pour les microorganismes (bactéries-diatomées) mais moins que l'hydrodynamique [5].

5. Colonisation des surfaces biotiques : exemple de l'algue brune Taonia atomaria en mediterranee

Le biofouling est un processus qui se produit sur tous les substrats immergés y compris les surfaces biotiques et notamment les algues. Cependant la majorité d'entre gardent une surface « propre » macroscopiquement. La compréhension des mécanismes de contrôle de cette colonisation pourrait nous permettre d'envisager de nouvelles stratégies antifouling pour les surfaces artificielles.

Après une première étude qui avait permis de développer une approche pluridisciplinaire multi-omiques (métagénomique-métabolomique) [6], nous avons pu mettre en évidence en collaboration avec le Parc national de Port-Cros la spécificité des biofilms à la surface de *T. atomaria*, leur variabilité temporelle au cours de l'année ainsi que l'influence de la qualité des eaux sur la structure de leur communauté. Les analyses de réseaux multi-omiques (MixOmic) ont par exemple permis de montrer que les Taxa dominants l'été étaient corrélés avec des métabolites connus dans la littérature pour posséder des propriétés antifouling comme le dimethylsulphoniopropionate (DMSP)ou la proline. Ce travail est en cours et devrait permettre de mieux comprendre les interactions entre notre modèle d'algue et son microbiote de surface dans le cadre du concept d'holobionte.

6. Conclusions

Les biofilms en milieu marin sont caractérisés par une cinétique extrêmement rapide, de grandes densités et diversités que ce soit sur des substrats biotiques comme les algues ou des substrats artificiels. Ces communautés sont dynamiques même si une convergence des communautés pour les surfaces non biocides semble observée dans le temps malgré des différences de densités, certainement en lien avec le conditionnement primaire lié à la matière organique et la production d'EPS.

L'effet structurant relatif des paramètres environnementaux et de la nature des surfaces semble dépendant des situations particulières.

7. Remerciements

Les auteurs remercient l'ensemble des personnels ingénieurs et techniques du laboratoire qui ont participer à ces études, ainsi que les partenaires financiers (ANR, DGA, Région PACA, TPM, EC2CO, CARTT, …)

8. References

(1) Briand J.-F.*, Barani A., Garnier C., Réhel K., Urvois F., Le Poupon C., Bouchez A., Debroas D. & Bressy C. (2017). Spatio-temporal variations of marine biofilm communities colonizing artificial substrata including antifouling coatings in contrasted coastal environments. *Microb. Ecol.* 74:585-598

(2) Pollet T., Berdjeb L., Garnier C., Durrieu G., Le Poupon C., Misson B. & Briand J.-F.* (2018). Prokaryotic community successions and interactions in marine biofilms: the key role of Flavobacteriia. *FEMS Microb. Ecol*. 94 : fiy083

(3) Coclet C., Garnier C., Durrieu G., Omanović D., D'onofrio S., Le Poupon C., Mullot J.-U., Misson B. & Briand J.-F. (2019) Evidence for microbial biofilm community structuring by sediment closeness rather than multichemical contamination or bacterioplankton composition. Submitted to *Environ Microb*

(4) Briand J.-F.*, Pochon X., Wood S.A., Bressy C., Garnier C., Réhel K., Urvois F., Culioli G. & Zaiko A. (2018). Metabarcoding and metabolomics offer complementarity in deciphering marine eukaryotic biofouling community shifts. *Biofouling* 34: 657-672

(5) Catao E., Pollet T., Misson B., Garnier C., Ghiglione J.-F., Barry-Martinet R., Maintenay M., Bressy C. & Briand J.-F.(2019) Shear stress as a major driver of marine biofilm communities. Submitted to *Frontiers Microb*

(6) Paix B., Othmani A., Debroas D., Culioli G.* & Briand J.-F.(2019) Temporal covariation of epibacterial community and surface metabolome in the Mediterranean seaweed holobiont *Taonia atomaria*. *Environ Microbiol* in revision

Economie / Gestion / Droit

Contribution à l'analyse de la mise en œuvre des normes IFRS dans le secteur public : l'application des normes IPSAS par l'ONU

Marc BIDAN
IUT de Nantes, Université de Nantes
Laboratoire des sciences du numériques de Nantes UMR_6004

Isabelle DHERMENT-FERERE
IUT Toulon Université de Toulon
CERGAM IAE Toulon
(*) veuillez respecter la charte de publication de votre établissement

THEMATIQUE - Économie - Gestion - Droit section 06

RESUME - **Les normes comptables internationales du secteur public (IPSAS) sont devenues la référence internationale pour le développement des systèmes de comptabilité du secteur public partout dans le monde. C'est la raison pour laquelle les IPSAS méritent l'attention des décideurs dans le domaine comptable, de même que des praticiens et des chercheurs. Malgré leur importance, on sait peu de choses sur leur processus d'adoption. La littérature française existante porte essentiellement sur des analyses comparatives entre les pays mais aucune recherche n'examine l'adoption des IPSAS au sein d'une organisation particulière. L'objectif de l'article est justementd'analyser le processus d'adoption des normes IPSAS par l'ONU. Après avoir présenté les avantages affichés lors du démarrage du projet en 2014, il met en évidence les avancées et freins à sa mise en place sur les quatre dernières années.**

Mots-clés—ONU IFRS ERP IPSAS

1. INTRODUCTION

La publication des normes comptables internationales du secteur public (IPSAS) dans le domaine des informations financières gouvernementales a entraîné la nécessité d'un débat généralisé sur le sujet de l'harmonisation des systèmes comptables du secteur public. Elles sont considérées comme la voie à suivre vers la modernisation de la comptabilité publique et beaucoup de pays se sont efforcés de les adopter. Les recherches existantes mettent en évidence des différences significatives sur leur processus d'adoption selon les pays.

L'objectif de l'article est combler une lacune dans la littérature en examinant le processus d'adoption de ces normes dans une organisation particulière, l'ONU, et de mettre en évidence les avantages et freins liés à leur mise en place.

Une première partie sera consacrée à une analyse de la littérature existantes sur les normes IPSAS. L'analyse de l'adoption des IPSAS par l'ONU sera examinée dans une seconde partie. Le projet initial est présenté ainsi que l'état d'avancement quatre ans après.

1.LES NORMES IPSAS

• *1.1. Les normes IPSAS : essai de définition*

Depuis vingt-cinq ans, le secteur public dans beaucoup de pays est touché par d'importantes réformes du nouveau management public (NMP), notamment en faveur de la comptabilité en partie double. Face à la diversité dans les systèmes d'information financière publique, une harmonisation est devenue nécessaire, ce qui s'est traduit par l'élaboration des normes comptables internationales pour le secteur public (IPSAS).

Les normes IPSAS sont des normes comptables internationales pour le secteur public (gouvernements, collectivités locales, établissements publics et parapublics, institutions internationales, etc.). Elles ont pour but d'améliorer la qualité de l'information financière des entités du secteur public, pour permettre des décisions d'allocation de ressources fondées sur une information plus fiable, et ainsi améliorer la transparence financière et la responsabilité dans ce domaine.

Les IPSAS sont édictées par l'IPSASB (International Public Sector Accounting Standards Board), un organe indépendant de l'IFAC (International Federation of Accountants) et inspirées des International Financial Reporting Standards (IFRS),

anciennement nommées IAS. Les IFRS sont écrites par l'International Accounting Standards Board (IASB). L'IPSASB adapte les IFRS pour le secteur public quand nécessaire. Dans ce processus, l'IPSASB essaye autant que possible, de maintenir le principe comptable et le texte original de l'IFRS, sauf si une raison importante liée au secteur public rend nécessaire une différenciation. La transition vers la comptabilité d'entreprise est un élément important du nouveau management public dans la mesure où la gestion gouvernementale modernisée exige des informations financières utiles et la comptabilité d'entreprise est censée combler ce besoin. L'une des caractéristiques importantes des normes comptables IPSAS est le fait que les gouvernements ne sont pas tenus de les adopter et par conséquent, leur adoption dépend d'un choix libre. Il est dès lors évident que le succès des IPSAS est en grande partie déterminé par la mise en évidence de leurs avantages et des conditions nécessaires à satisfaire.

- *1.2.La littérature existante sur les normes IPSAS*

La littérature existante a pour but d'étudier certaines expériences dans l'adoption des IPSAS et les difficultés qui entravent leur adoption, mais aussi de proposer une voie possible pour les recherches futures dans la comptabilité du secteur public. À cette fin, les contributions étudient les raisons qui ont conduit à l'adoption des IPSAS et même de la comptabilité d'exercice, et examinent différents outils à travers le prisme des normes internationales dans une approche critique.

La recherche de Benito, B., Brusca, I. & Montesinos, V. (2007) poursuit un double objectif : mettre en évidence l'adoption ou non des IPSAS par le gouvernement local et central et analyser le niveau de convergence entre les différents pays étudiés. Ils ont réalisé une étude empirique, dont les résultats indiquent que tandis que certains systèmes comptables sont très proches du modèle des IPSAS, d'autres s'en écartent totalement. Ils estiment cependant qu'il s'agit-là d'un point de départ et que dans un avenir proche, les pays se rapprocheront de plus en plus des IPSAS, ce qui sera leur permettra de rapprocher de plus en plus leurs systèmes comptables.

L'article de Christiaens, J., Reyniers, B. & Rollé, C. (2010) examine, au moyen d'une enquête menée auprès d'experts, la mesure dans laquelle les gouvernements européens ont adopté la comptabilité d'exercice propre aux IPSAS et comment expliquer les niveaux d'adoption variables. Cette étude fait apparaître une certaine diversité dans le processus d'adoption des IPSAS et de la comptabilité d'exercice. Certains pouvoirs publics continuent à tenir une comptabilité de caisse. Seule une minorité applique les IPSAS. La majorité des gouvernements locaux et centraux appliquent la comptabilité d'exercice en ne tenant pas compte des IPSAS. L'évolution vers la comptabilité d'exercice peut s'expliquer par le besoin de transparence et d'efficience. Le fait que les IPSAS soient particulières et offrent un savoir-faire spécifique est le principal argument en faveur de leur usage. Un certain nombre d'autorités ont cependant choisi de ne pas adopter les IPSAS parce qu'elles ont préféré transférer leurs propres règles de comptabilité d'entreprise locales.

Christiaens, J., Vanhee, C., Manes-Rossi, F., Aversano, N. & Van Cauwenberge, P. (2015) examinent la mesure dans laquelle la comptabilité en partie double basée sur les IPSAS (ou s'en inspirant) est adoptée par les gouvernements centraux/locaux dans le monde, et tentons d'identifier les facteurs ayant une influence sur leur niveau variable d'adoption. Sur le plan méthodologique, nous avons préparé un questionnaire destiné à obtenir des informations pertinentes de la part d'experts locaux, questionnaire que nous avons envoyé à un échantillon de pays dans le monde. Notre étude fait apparaître une évolution importante en faveur de la comptabilité en partie double, et plus particulièrement de la comptabilité en partie double basée sur les IPSAS, où l'on observe encore un certain niveau d'hésitation, essentiellement au sein des gouvernements centraux, notamment dans les pays où la comptabilité en partie double s'inspirant du secteur privé s'est développée.

Brusca et Martínez (2016) analysent la situation actuelle et les facteurs qui ont influencé l'adoption des IPSAS, ainsi que les principaux avantages auxquels peut mener l'application dans la pratique en s'intéressant aux opinions de pays d'Amérique et de l'Union européenne. Ils épinglent certains facteurs qui amènent les gouvernements nationaux à adopter les IPSAS — ainsi que les obstacles qui entravent cette adoption. Selon les auteurs, il existe des différences dans la manière dont les IPSAS sont perçues par différents pays. Si aussi bien les pays adoptants que les autres apprécient la comparabilité qui va de pair avec l'application des IPSAS, beaucoup de pays américains, en particulier des pays d'Amérique du Sud, considèrent les IPSAS comme un moyen de moderniser la comptabilité publique, tandis que les pays de l'Union européenne ont des opinions variées sur leur rôle.

L'introduction des IPSAS à Malte apporte de précieuses informations sur les circonstances qui ont conduit à l'application de normes de comptabilité d'exercice. Jones et Caruana (2016) s'intéressent à la décision du gouvernement central de Malte de se lancer dans une réforme de la comptabilité d'exercice depuis 1999. Au départ, cette réforme prévoyait de développer et d'appliquer un ensemble personnalisé de normes comptables qui, bien qu'elles aient été mises au point, n'ont jamais été appliquées. En 2011, le gouvernement central de Malte a finalement décidé d'adopter les IPSAS. Cette étude tente d'identifier les facteurs sous-jacents qui ont conduit à cette décision. Pour Jones et Caruana, la crédibilité apportée par l'adoption de normes reconnues et acceptées au niveau international est considérée comme le facteur le plus important dans cette décision — une observation qui va dans le sens contraire des études antérieures.

Les aspects techniques des IPSAS sont par ailleurs examinés dans la contribution de Bergmann, Grossi, Rauskala et Fuchs (2016) sur les états financiers consolidés publiés par les gouvernements centraux. Les auteurs proposent un aperçu des méthodes de consolidation dans les pays de l'OCDE et comparent les obligations juridiques et les normes de consolidation, de même que les critères adoptés pour définir le périmètre de consolidation, en utilisant les IPSAS comme point de référence. La nécessité d'harmoniser davantage les pratiques comptables concernait également les états financiers, un domaine où les particularités du secteur public nécessitent

que l'on prenne bien en considération la notion de contrôle. La recherche porte sur treize États membres de l'OCDE ayant adopté la comptabilité d'exercice conformément aux IPSAS ou à des normes comptables nationales comparables, mais elle donne aussi un aperçu de dix autres pays de l'OCDE afin d'obtenir une vue générale des pratiques au niveau des pays de l'OCDE. L'étude présente des observations intéressantes à propos de l'ampleur de la consolidation, des méthodes adoptées et des périmètres de consolidation dans les pays analysés ; elle examine également la possibilité de mettre au point des EPSAS fondées sur l'expérience déjà appliquée en Europe.

Rocher (2011) quant à lui propose tout d'abord une grille d'analyse permettant d'apprécier l'indépendance d'un normalisateur. Cette grille d'analyse est ensuite appliquée dans le cas de l'IPSASB. Cette étude met en exergue l'indépendance de l'IPSASB au regard de son fonctionnement ou de l'indépendance de ses membres, bien que des progrès soient encore nécessaires. Mais cette indépendance formelle masque mal la proximité intellectuelle et culturelle de la plupart des membres du normalisateur. Celui-ci apparaît ainsi soumis à une forte influence idéologique remettant en cause son indépendance intellectuelle dans l'élaboration de normes internationales de comptabilité publique.

Les recherches françaises existantes se situent à l'échelle d'un ou plusieurs pays excepté celle de Rocher (2011), aucune ne porte sur l'analyse d'une organisation en particulier. Notre étude cherche à combler cette lacune en s'intéressant à l'application des IPSAS au sein de l'ONU. C'est l'objet de la deuxième partie.

2. Le projet d'implantation de Umoja et IPSAS au sein de l'ONU

- *2.1.Objectifs du projet en 2014 : standardiser les SI et les normes comptables*

En 2014, le Secrétariat de l'ONU décide une simplification radicale des processus opérationnels de l'ONU en adoptant la solution Umoja. Celle-ci consiste à mettre en œuvre le logiciel (SAP) du progiciel de gestion intégré (ERP) offrant une méthode simplifiée et en temps réel pour la gestion des finances, des ressources et des actifs de l'ONU et vise à remplacer les anciens systèmes multiples et fragmentés comme IMIS, Mercury et Sun, du Secrétariat de l'ONU.

L'objectif est d'unifier des technologies d'information et des systèmes informatiques et de se conformer aux normes internationales pour le secteur public IPSAS visant à remplacer leur ancien système de normes comptables (UNSAS).

En se conformant à IPSAS, l'ONU souhaite que ses pratiques comptables soient alignées sur les meilleures pratiques du secteur, permettant ainsi une transparence et une responsabilisation financières accrues, une meilleure prise de décisions résultant d'informations financières plus détaillées, une cohérence et une comparabilité accrues des états financiers entre les bureaux et les lieux d'affectation, et un accès complet et facile à une information plus détaillée sur les coûts et les dépenses.

Le déploiement de la solution Umoja, grâce à l'utilisation de SAP comme nouveau logiciel du progiciel de gestion intégré dans l'ensemble du secrétariat de l'ONU, garantira encore mieux une conformité de l'ONU aux normes IPSAS dans toutes ses transactions financières.

- *2.2. Etat de la mise en place en 2018 : analyse des avancées et desfreins*

(*ce paragraphe sera développé dans la version finale*)

2. Conclusions

Les normes IPSAS sont devenues incontournables dans le domaine public. La plupart des pays et des organisations publiques qui en dépendent se sont engagées dans un processus plus ou moins avancé d'adoption de ces normes. L'ONU n'échappe pas à la règle. Si les avantages ont été clairement affichés en 2014 lors du démarrage du projet, leur mise en place souffre de nombreux blocages ; quatre ans après, le processus d'adoption n'est pas encore abouti.

3. Remerciements

4. References

[1] Benito, B., Brusca, I. & Montesinos, V. (2007). L'harmonisation des systèmes gouvernementaux d'information financière : le rôle des IPSAS. *Revue Internationale des Sciences Administratives*, vol. 73(2), 323-350. doi:10.3917/risa.732.0323.

[2] Bergmann, , A.Grossi, G., Rauskala, I., & Fuchs, S. (2016).Consolidation in the public sector: methods and approaches in Organisation for Economic Co-operation and Development countries, *International Review of Administrative Sciences*, vol. 82(4):763-783 · December.

[3] Brusca, I. & Martínez, J. (2016). L'adoption des IPSAS : un défi pour la modernisation et l'harmonisation de la comptabilité du secteur public. *Revue Internationale des Sciences Administratives*, vol. 82(4), 761-781. doi:10.3917/risa.824.0761.

[4] Christiaens, J., Reyniers, B. & Rollé, C. (2010). Les conséquences des IPSAS sur la réforme des systèmes d'information financière publique : étude comparative. *Revue Internationale des Sciences Administratives*, vol. 76(3), 563-581. doi:10.3917/risa.763.0563.

[5] Christiaens, J., Vanhee, C., Manes-Rossi, F., Aversano, N. & Van Cauwenberge, P. (2015). Les conséquences des IPSAS sur la réforme des rapports financiers du gouvernement : Comparaison internationale. *Revue Internationale des Sciences Administratives*, vol. 81(1), 171-191. doi:10.3917/risa.811.0171.

[6] Jones, R. & Caruana, J. (2016). La comptabilité publique à Malte : vers une adoption des IPSAS dans le contexte de l'Union européenne. *Revue Internationale des Sciences Administratives*, vol. 82(4), 783-800. doi:10.3917/risa.824.0783.

[7] Manes-Rossi, F., Cohen, S., Caperchione, E. & Brusca, I. (2016). Introduction : Le nœud gordien de la comptabilité du secteur public et le rôle des IPSAS. *Revue Internationale des Sciences Administratives*, vol. 82(4), 755-760. doi:10.3917/risa.824.0755.

[8] Rocher, S. (2011). L'indépendance proclamée de l'IPSASB est-elle réelle ?. *Comptabilité - Contrôle - Audit*, tome 17(3), 55-83. doi:10.3917/cca.173.0055.

[9] https://www.unumoja.net/display/publicfrench/Question+Courants#QuestionCourants-What_is_IPSAS

[10] https://www.un.org/press/fr/2014/agab4130.doc.htm

[11]

La marque employeur CNES/CSG un outil de discrimination positive adaptative ? Le cas des bourses d'excellence du CNES/CSG en Guyane

Anne MAEDER
MCF en Sciences de Gestion
Université de Lorraine / IUT Thionville-Yutz
Laboratoire CEREFIGE

Koulani REZAIRE
PRCE et Doctorant en Sciences de Gestion
Université de Guyane / IUT de Kourou
Laboratoire MINEA

THEMATIQUE

- Domaine : Économie - Gestion - Droit
- Section CNU : Sciences de Gestion (06)
- Champs : GRH et Marketing

Mots-clés : Marque employeur, Bourse d'études, Discrimination positive adaptative

Résumé

Cette communication est le fruit d'un projet de recherche exploratoire qui est en cours et dont l'objectif est d'étudier l'impact de la marque employeur du Centre National d'Etudes Spatiales, implanté au Centre Spatial Guyanais (CNES/CSG), sur l'identité et l'attractivité du CNES en Guyane. Dans le contexte socioéconomique spécifique de la Guyane, la marque employeur du CNES/CSG semble devoir intégrer de façon forte et cohérente toutes les parties prenantes, au risque de voir son influence mise à mal si l'une des parties devait être délaissée. Ainsi, le CNES/CSG doit-il mettre particulièrement l'accent sur la construction de son image de marque externe dans la mesure où celle-ci sert de « miroir » aux salariés pour évaluer leur employeur et leur fidélité à l'organisation (Dutton et al., 1994).

Le CNES/CSG, port spatial de l'Europe, se trouve être à l'origine d'un dispositif d'attribution de bourses d'études post-bac à l'attention des meilleurs bacheliers guyanais. Ce dispositif est un élément constitutif de la marque employeur du CNES/CSG dans ses dimensions instrumentales et symboliques à l'attention de futures recrues de talent. C'est par le biais des lauréats de la bourse que nous avons entrepris de questionner et d'étudier la marque employeur du CNES/CSG et ses influences.

Notre design de recherche initial repose sur une approche déductive de la marque employeur. A l'issue d'une première exploration du terrain, notre collecte de données nous a amené à constater que le dispositif ne peut garantir le retour des talents vers le CNES/CSG et que le contexte socioéconomique particulier de la Guyane n'y est pas étranger. Moteur tant dans la mise en place du dispositif de bourses et du déploiement de la marque employeur CNES/CSG en général, le contexte socioéconomique semble également contrecarrer l'effet d'attractivité de cette dernière.

A travers la volonté affichée du CNES/CSG de contribuer à l'émergence de la Guyane et de par son accompagnement de jeunes guyanais méritants, la marque employeur sera peut-être amenée à se révéler comme un levier de dialogue avec les parties prenantes locales en faveur d'une meilleure image de marque du CNES/CSG.

1. INTRODUCTION

Notre recherche est exploratoire et elle concerne l'étude du déploiement de la marque employeur du Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) au Centre Spatial Guyanais (CSG) de Kourou. De manière simple, la marque employeur intervient au niveau de l'identité employeur et de son image en interne et en externe (Chardin, 2018). Concernant l'image de marque externe, force est de constater que celle du CNES/CSG n'est pas foncièrement positive. Ce constat fut patent lors du mouvement social, sans précédent, de l'année 2017[1]. Il est ressorti de cette crise que le territoire d'Outre-Mer souffre de plusieurs problèmes (Combier, 2017), lesquels ont refait surface dans la crise et en particulier à l'égard du CNES/CSG qui semble en cristalliser plusieurs[2]. De fait, l'enjeu de la marque employeur du CNES/CSG n'en est qu'un plus grand challenge avec ses effets positifs attendus (Maclouf et Belvaux, 2015 ; Charbonnier-Voirin et Vignolles, 2015) notamment en termes d'image de marque externe (Guillot-Soulez et Soulez, 2015).

Partant de ce constat, nous avons choisi d'étudier le dispositif d'attribution de bourses d'études supérieures du CNES/CSG et d'évaluer son impact en termes d'image de marque tant interne qu'externe.

[1] Fin mars 2017, le Centre Spatial Guyanais est occupé : « Vous nous dites que le CSG est un bien de la République. Nous sommes la République. Votre bien est notre bien »
http://www.leparisien.fr/economie/guyane-des-manifestants-occupent-le-centre-spatial-de-kourou-04-04-2017-6824904.php

[2] Cf. le documentaire de l'ADRAG Guatémala Kourou intitulé « Regards de Guyane » en 2 parties. Ce documentaire revient sur les origines de la ville de Kourou et sur le passé trouble de l'expropriation des habitants territoire de Malmanoury, où se trouve le CSG à la fin des années 60 ceci afin d'écrire une nouvelle page de l'histoire de la France sur la conquête du spatial.

Selon Yao (2013), la marque employeur, dans une logique concurrentielle et distinctive :

• S'illustre par une production discursive (identification et différentiation pour les cibles de communication) ;

• Veut rendre l'employeur attractif en constituant une image et une identité employeur ;

• Intègre des dispositifs et des manifestions de relations publiques pour donner du sens à l'environnement de travail.

Le dispositif des bourses du CNES/CSG s'intègre clairement dans cette logique et en particulier dans la dernière dimension citée. Le dispositif d'attribution des bourses existe depuis 1984 et constitue un outil de la marque employeur en faveur de son image. Le double objectif de ce dispositif d'octroi de bourses est de promouvoir d'une part, les cursus scientifiques auprès des jeunes guyanais qui s'engagent dans des études supérieures et d'autre part, de contribuer à renforcer les effectifs des ingénieurs et cadres locaux du fait d'un retour attendu des lauréats aux termes de leur formation. Même si les justifications et les missions de ces bourses dénommées, bourses d'excellence, semblent avoir évolués (conclusion de nos premiers entretiens), plusieurs critères sont pris en compte lors du choix d'attribution de la bourse tels que la qualité du dossier scolaire, l'intérêt et la pertinence du projet professionnel de l'étudiant pour le CNES et pour la Guyane, mais également l'environnement familial. De fait, l'objectif affiché de ce dispositif est d'apporter une aide humaine et financière aux étudiants guyanais méritants[3].

Cet article est le fruit d'une première approche de notre terrain d'étude. Celle-ci nous a permis de poser les premiers contours du capital-marque du CNES-CSG et de sa marque employeur et nous amène vers de nouvelles pistes de recherche quant à la capacité du marketing employeur à développer l'attractivité d'une entreprise placée dans un contexte socioéconomique à la qualité perçue négative[4].

2. QUEL CONTEXTE D'EMERGENCE ET D'ETUDE DE LA MARQUE EMPLOYEUR DU CNES/CSG ?

2.1. Le dispositif des bourses un outil de la marque employeur du CNES dans le contexte guyanais

En lien avec l'évolution des pratiques de management, à l'instar des grands groupes mondiaux, le CNES national et plus particulièrement le CNES/CSG se retrouve face à de nouvelles problématiques de recrutement, de fidélisation, de formation et de motivation de son personnel selon Pierre Ulrich, DRH du CNES[5]. L'industrie spatiale française n'attire plus aussi facilement que précédemment et il semble de plus en plus difficile d'attirer les talents dans un contexte turbulent de concurrence spatiale internationale[6] (hypercompétition). A cela s'ajoute l'organisation complexe, sur le territoire guyanais, des activités spatiales regroupées en écosystème sous la forme de plusieurs entités publiques et privées de 40 entreprises. Ces entreprises sont regroupées sous la dénomination CSG (Centre Spatial Guyanais). Elles font partie de la communauté industrielle spatiale de Guyane. Les activités spatiales se partagent principalement entre chaque acteur ayant des missions bien spécifiques[7]. On peut citer : Le CNES/CSG, Arianespace, l'Agence Spatiale Européenne (ESA), ArianeGroup, Regulus, Europropulsion, Air Liquide Spatial Guyane (ALSG), European Launch Vehicle (ELV), l'Union des Employeurs de la Base Spatiale etc. Il convient donc de renforcer la compétitivité de l'entreprise, de recruter les bons profils et de retenir les meilleurs salariés (Maclouf et Belvaux, 2015 ; Charbonnier et al, 2017). En réponse au phénomène de pénurie de talents, praticiens et chercheurs se sont intéressés aux leviers d'attractivité d'un employeur, en développant une approche qualifiée de marketing employeur (Maclouf et Belvaux, 2015). La marque employeur met en relation le marketing et la GRH en appliquant des mécanismes de gestion de la marque au marché du travail pour devenir un employeur de choix. Les avantages attendus de la mise en place d'une stratégie de marque employeur sont nombreux (Guillot-Soulez et Soulez, 2015 ; Charbonnier et al, 2014) :

• La coordination plus aisée des buts et des objectifs de l'organisation ;

• Une série de bénéfices fonctionnels (mise en place d'activités favorisant le développement personnel) ;

• Une série de bénéfices économiques (proposition d'avantages matériels et financiers) ;

• Une série de bénéfices psychologiques en termes de motivation et de fidélité du personnel (liés au partage de valeurs sociales, à une meilleure ambiance au travail, au renforcement du sentiment d'appartenance, à celui d'attachement émotionnel, à la qualité de l'organisation présente dans l'esprit des salariés, etc.) ;

• Le renforcement de l'attractivité de l'organisation et de son image de marque (espace de travail de référence).

La marque employeur, dès lors, devient un levier de management des talents (individualités capables de faire la différence) dans l'économie actuelle, lequel constitue en lui-même un avantage concurrentiel (Loufrani-Fedida et Saint-Germes, 2015). On parle parfois de « guerre des talents » et les entreprises rivalisent d'ingéniosité pour être plus attractives, mieux fidéliser leurs employés et limiter le turn-over (Charbonnier et al, 2014).

Une étude du cabinet de recrutement américain Korn Ferry parue le 3 Mai 2018, indique que d'ici à 2030, la France pourrait manquer de 1,5 million de salariés très qualifiés. Yao (2013) parle de raréfaction des hauts potentiels de la génération Y. Ceci constitue un manque à gagner de près 175 milliards d'euros pour l'économie en lien avec le développement des enjeux stratégiques de GRH au sens large. Dès lors, de nouveaux challenges sont à relever.

En Guyane, plus de 4600 emplois sont liés à l'activité spatiale, soit presque 1 emploi sur 10 avec 800 emplois directs

[3]Site EWAG média positif. Emploi Outremer. https://www.ewag.fr/2016/07/le-cnes-decerne-9-bourses-detudes-superieures/

[4] Parmi les pistes de recherche envisagées il y a celle d'appliquer le concept de capital-marque à la Guyane afin d'offrir des points de comparaison avec celui du CNES/CSG et d'apporter des hypothèses explicatives aux comportements des lauréats de la bourse au terme de leurs études.

[5] Apec RH#11, le magazine trimestriel de l'Apec aux entreprises. CNES : Quelle priorité RH dans votre entreprise pour 2014 ?

[6]https://www.usinenouvelle.com/article/dans-le-spatial-la-concurrence-fuse-de-tous-les-cotes.N497744

[7]http://www.cnes-csg.fr/web/CNES-CSG-fr/11452-les-missions-du-csg.php

(CNES, Arianespace, forces de sécurité), 2500 emplois indirects (sous-traitance du CNES, d'Arianespace et des forces de sécurité) et 1320 emplois induits (entreprises dont le chiffre d'affaires est lié au spatial). Il est nécessaire de souligner ici, que cet univers qui nécessite un personnel hautement qualifié voit une nette prédominance de non-natifs guyanais parmi ses effectifs.

Au-delà des emplois générés, la présence du CSG a un impact sur la création de richesses en Guyane : le spatial représente environ 15 % du PIB[8] [9].

Le CNES/CSG est donc le premier employeur privé de la Guyane, soit une « locomotive »[10] pour le territoire avec des succès commerciaux et technologiques mondiaux qui ne sont plus à démonter. Cependant, ses relations avec les acteurs civils et institutionnels locaux ont toujours été problématiques, voire conflictuelles avec une marche historique des guyanais vers le CSG lors de la grève générale de mars/avril 2017[11]. La grève a bloqué les activités spatiales durant plusieurs semaines[12]. Monsieur Faivre, alors directeur du CNES/CSG s'est retrouvé « contraint » de fournir des « explications » sur les « arbitrages » de son institution au bénéfice de la « Guyane » au sens large[13]. Explications attendues, d'autant plus que pour bon nombre de guyanais, l'économie du territoire reste une « économie coloniale » dont le CNES est l'un des acteurs qui exploite les richesses de la colonie au profit de la Métropole[14].

Et pourtant, le CNES contribue de nombreuses façons au développement du territoire guyanais. Le plan Phèdre a permis de financer plusieurs infrastructures régionales sur la période 1990-1997. Au titre du plan Phèdre 2, la contribution totale du CNES s'élève à 50,936 millions d'euros sur la période 2014-2020. 22 communes de Guyane, soit la totalité, bénéficient d'une convention avec le CNES qui leur alloue un budget d'un seuil minimal de 30000 euros sur 2019-2020 en fonction de la démographie et des besoins de désenclavement de chaque commune[15]. Dans cette même volonté de « participer à la construction du territoire » (verbatim d'un responsable RH du CSG) et dans une volonté de dialogue avec ses parties prenantes, l'attribution de bourses d'excellence a été mis en place en 1984. Ces bourses font partie de la politique globale du CNES et de sa stratégie d'image de marque lesquelles aboutissent au classement du CNES parmi les meilleurs employeurs français[16]. Du reste, au niveau du CNES/CSG, la marque employeur se décline avec la mise en place d'une série de nouvelles actions depuis quelques années et avec notamment en 2017, la création d'un poste en alternance (en licence professionnelle des métiers du marketing opérationnel) pour un apprenti intégré au service des Ressources Humaines avec des activés de communication interne et externe en étroite collaboration avec le Bureau Local des Compétences (BLC). L'équipe du BLC est au service de l'ensemble des entreprises de la base spatiale. Il s'agit alors pour ce nouvel employé de les aider dans la mise en œuvre de leur politique de recrutement, de formation et de gestion des compétences du personnel local avec une approche Marketing et communication plus prenante.

Nonobstant, la fusion marketing et RH a permis de renforcer l'activité d'octroi de bourses avec des résultats mesurables (notamment l'augmentation du nombre de lauréats). Au départ, il s'agissait de l'octroi d'une bourse par an, certaines années aucune bourse n'était accordée, jusqu'à parvenir plus récemment à neuf bourses allouées aux promotions 2017 et 2018. Ainsi, qu'en 2018, avec la remise de 18 dotations rectorat-CNES, ce qui en a fait l'année la plus prolifique.

Les bourses du CNES/CSG c'est « de l'excellence qui s'en va parfois loin et plus ou moins longtemps, mais qui revient. Beaucoup ont exprimé ce rêve de revenir œuvrer au ''péyi''. Un tiers d'entre eux l'ont « réalisé ». La bourse d'études du CNES/CSG c'est « environ 500 euros par mois durant les deux premières années d'études supérieures, puis 800 euros par mois pour les trois dernières années d'études ». C'est également un suivi tutoré sur toute la période de formation. Depuis plus de 30 ans, le CNES a accompagné 129 jeunes dans leur formation. Sur les 62 boursiers qui ont achevé leurs études et qui sont devenus ingénieurs, 40% travaillent actuellement sur la base spatiale ou sur le territoire guyanais[17]. En revanche, notre étude exploratoire a révélé que les 60% restants ont choisi de faire carrière ailleurs qu'en Guyane. Constat qui va nous amener à revoir notre design de recherche dans la mesure où il ouvre de nouvelles voies de recherche qui seront évoquées à la fin de cet article.

Ainsi, alors que certains auteurs émettent la proposition selon laquelle qu'une marque employeur efficace engendrerait des conséquences positives pour l'employeur telles que l'implication des salariés ou la réduction du turn-over (Berthon et al., 2005), rares sont les études qui examinent la capacité de la marque employeur à fidéliser. A l'instar de la recherche de Charbinnier-Voirin et Lissillour (2018) se pose ici la question de l'influence de la marque employeur sur la fidélité réelle des

[8]https://www.europe1.fr/emissions/lespace-en-tete/lespace-en-tete-le-centre-spatial-guyanais-3737189

[9] IEDOM - Situation économique de la Guyane et perspectives de développement 2017 édition 2018

[10]https://la1ere.francetvinfo.fr/guyane-que-represente-poids-economique-strategique-du-spatial-465431.html

[11]https://www.france24.com/fr/20170404-guyane-sit-in-kourou-colere-plan-cazeneuve-milliards-euros
https://www.huffingtonpost.fr/2017/03/26/les-raisons-de-la-colere-en-guyane-a-lheure-de-la-greve-general_a_22012868/
https://www.huffingtonpost.fr/2017/04/04/crise-en-guyane-le-blocage-de-kourou-ville-cle-de-la-recherche_a_22025011/
https://www.usinenouvelle.com/editorial/on-tire-des-fusees-sur-fond-de-bidonvilles.N530829
https://www.francetvinfo.fr/economie/crise-en-guyane/guyane-les-raisons-de-la-greve-generale_2117031.html
https://la1ere.francetvinfo.fr/guyane/guyane-1ere-revient-evenements-sociaux-mars-avril-573259.html
https://www.youtube.com/watch?v=pr6pqEqkL8E
https://www.youtube.com/watch?v=hNIk17tfLQY

[12]https://www.challenges.fr/entreprise/aeronautique/le-blocage-de-la-guyane-casse-tete-d-arianespace_466263

[13]https://www.youtube.com/watch?v=dgjOwdYcL-s
https://www.youtube.com/watch?v=WuINd9LGMuY
(interviews Guyane 1ère de Didier Faivre)

[14] Lire à ce sujet, L'économie guyanaise par Adrien Guilleau, en 5 volets sur les blogs.mediapart.fr

[15] L'ensemble des actions menées par le CNES au profit du développement du territoire figure dans le CNES MAG #78 de novembre 2018 dont le titre est Guyane, une base spatiale pas comme les autres. La MAG est consultable en ligne.

[16]https://presse.cnes.fr/fr/palmares-annuel-des-meilleurs-employeurs-de-la-revue-capital-le-cnes-dans-le-top-40-des-gagnants-et

[17] Retranscription du reportage télévisé de Guyane 1ère diffusé le 22 juillet 2017 à l'occasion de la 33e cérémonie de remise des bourses d'études du CNES/CSG. Nota, en 2018 il y a eu 9 boursiers CNES supplémentaires chaque année et 18 dotations CNES/rectorat. Ce qui nous amène à une base de données de 156 lauréats auxquels nous avons eu accès.

collaborateurs. Ce qui nous renvoie aux travaux fondateurs sur la marque de Aaker (1992a ; 1992b) qui évoque la fidélité parmi les cinq facteurs contribuant à la constitution du capital de marque.

2.2. Le design de notre recherche

Au-delà de l'étude du dispositif d'attribution des bourses d'études post bac, l'objectif de notre recherche est de définir au plus juste la marque employeur CNES/CSG avec l'idée particulière que lesdites bourses font de la marque employeur un outil de discrimination positive adaptative (Wuhl, 2007 ; 2008) dans le contexte guyanais. Cette dernière s'avère ne pas être intentionnelle et relève du constat d'un état de fait. En effet, la gestion du dispositif des bourses est à visée personnelle au profit du CNES (lui offrir un vivier de talents), mais l'accord de bourses aux seuls bacheliers méritants natifs guyanais a pour conséquence d'opérer une discrimination positive adaptative laquelle mènera, à terme, à la diminution du nombre des non-natifs parmi les effectifs du CSG.

Afin de circonscrire le concept de la marque employeur CNES/CSG et d'identifier ses principales dimensions. Avec des questionnements initiaux du type, allons-nous retrouver les dimensions de l'échelle de mesure de Berthon *et al.* (2005) ? Et dans l'affirmative, avec quelles définitions spécifiques en termes d'attrait, de valeur sociale, de valeur économique, de valeur de développement et de transmission ? En quoi la marque CNES/CSG est-elle symbolique et/ou en quoi est-elle instrumentale au sens de Lievens *et al.* (2007) ? Nous avons commencé par adresser un questionnaire en ligne à l'ensemble des lauréats de la bourse d'étude de 1984 à 2018. Ce sont ainsi 156 lauréats, anciens boursiers déjà diplômés et boursiers encore en études, qui ont été sollicités par courriel. Sur les 156 guyanais boursiers du CNES interrogés, nous avons obtenu 55 retours (taux de réponse de 35,2%).

Au terme de cette consultation, en écho aux écrits de Yao (2013) dont le postulat de base consiste à considérer la marque employeur comme une forme de dissémination au sens d'Andrea (2005), la question a également été de définir le contexte de la marque CNES/CSG. Bien que Yao prenne le parti de montrer la fragilité et l'obsolescence du concept de marque employeur lorsque celui-ci est pensé pour répondre à une préoccupation contextuelle, nous prenons celui de définir une marque employeur unique du fait d'un contexte guyanais particulier lequel influence fortement les contours de la marque employeur CNES/CSG. Il s'agit même, sur la base des principes du contextualisme (Pettigrew, 1985 ; 1990), de considérer que la compréhension de la dynamique de marque employeur du CNES/CSG est indissociable de l'analyse du contexte socioéconomique de la Guyane et de leurs interactions respectives.

Au regard des derniers chiffres communiqués par l'Institut National de la Statistique et des Études Économiques (Avril 2018), le contexte guyanais c'est, en 2017, 19 000 personnes au chômage au sens du BIT, soit 22% de la population active. Le taux de chômage est stable et reste important. Il touche surtout les jeunes actifs, les ouvriers, les peu ou pas diplômés et les femmes, avec un écart de cinq points entre les deux sexes. Aux Antilles-Guyane et en Outremer en général, le taux de chômage reste bien supérieur à celui de la France hexagonale. Les questions de l'emploi et du chômage revêtent une importance particulière dans ces régions, leurs effets sur la population étant amplifiés du fait d'économies locales fragiles. L'emploi des jeunes, premières victimes du chômage, est un véritable défi et un enjeu spécifique.

Il s'agit là d'une première définition partielle du contexte guyanais laquelle renforce notre hypothèse que dans le cas qui nous intéresse, au final, la marque employeur CNES/CSG peut être assimilée à un outil de discrimination positive adaptative au sens d'Hirschman (1995). Même si celle-ci n'est pas pensée ainsi par les acteurs du CNES, force est de constater que le soutien à la formation de natifs guyanais méritants avec l'objectif de voir revenir ces talents et de pouvoir les embaucher ''au péyi'' constitue une discrimination entendue comme une action corrective des inégalités, sans modification des processus plus fondamentaux qui les engendrent. Elle agit ainsi dans le sens d'une adaptation des personnes concernées à des logiques structurelles du fonctionnement économique et social étant supposées hors du champ de son intervention.

A ce sujet, sur la base des écrits de Wuhl (2007, 2008) en matière de discrimination positive, nous chercherons à observer l'existence des deux types de risques liés aux modalités de mise en œuvre du dispositif. A savoir le risque de rupture de l'unité républicaine, avec le risque d'assistance et d'autre part, le risque d'effets pervers. Les bénéficiaires des bourses du CNES/CSG sont-ils potentiellement des victimes stigmatisées par la politique préférentielle ou *a contrario* sont-ils perçus comme des profiteurs animés par la conservation de la rente de situation générée par ladite politique dont ils bénéficient ? Ces risques sont-ils avérés dans le cas qui nous intéresse ? Pour mémoire, l'avis des autres constitue un « miroir » pour évaluer l'employeur et sa fidélité à l'organisation (Dutton et al., 1994). Donc si les lauréats s'avèrent mal perçus on peut supposer qu'ils ne s'identifieront pas positivement au CNES et ne souhaiteront pas le rejoindre à terme.

Pour répondre à l'ensemble de ces questions, le projet de recherche mis en place s'appuie ou s'appuiera sur des analyses documentaires, une série d'entretiens semi directifs menés auprès des boursiers et de quelques salariés du CNES/CSG pour mettre en lumière les perceptions de la marque employeur au travers de son dispositif de bourses d'études supérieures et notamment lors de la manifestation publique de remise de ces bourses d'études. Tel que l'ont observé Charbonnier-Voirin et Vignolles (2016), à travers notre questionnement de l'attribution des bourses d'études auprès d'acteurs différents, nous cherchons entre autres à valider la tendance selon laquelle la marque employeur se construit désormais de manière à tenir compte de toutes les parties prenantes.

3. PRECISION DU CONTOUR DE LA MARQUE EMPLOYEUR DU CNES/CSG ET RETOUR SUR SON CAPITAL-MARQUE

3.1. Présentation des conclusions de notre première exploration du terrain

D'après l'étude 2017 de LinkedIn sur les tendances du recrutement en France, la marque employeur est une priorité pour 69% des DRH sollicités pour l'enquête. De nombreuses organisations investissent dans de grosses campagnes de marque employeur pour se démarquer. Les réseaux sociaux et la page carrières du site web de l'entreprise sont des outils essentiels pour promouvoir leur marque. Celle du CNES/CSG

évaluée au travers du dispositif d'attribution des bourses semble bien établie et apporte clairement sa pierre à l'édifice capital-marque de l'entreprise, que ce soit en termes de notoriété, d'image de marque, de qualité de la marque perçue ou de fidélité.

La synthèse de la littérature proposée par Viot et Benraïss-Noailles (2014) amène au constat de l'hétérogénéité des mesures de la marque employeur et des dimensions contenues dans le construit mesuré. Face à cette hétérogénéité qui démontre le manque de stabilité du concept de marque employeur, il semble utile de revenir aux travaux fondateurs sur la marque, en particulier ceux de Keller (1993) et d'Aaker (1992a) également d'Aaker et Lendrevie, (1994). C'est ainsi que nous en sommes arrivés à utiliser ces concepts pour mieux comprendre la marque CNES et les comportements, notamment ceux des lauréats des bourses d'excellence, qu'elle engendre.

En référence aux travaux fondateurs de la marque, notre première collecte de données nous permet d'affirmer que la marque CNES, pour ce qui est des lauréats de la bourse d'excellence, est forte. En effet, à la base de la définition du capital-marque on trouve les concepts incontournables de notoriété (*brand awareness*) et d'image de marque (*brand image*), chers à Keller, complétés par Aaker avec ceux de qualité perçue (*perceived quality*), fidélité à la marque (*brand loyaty*) et la considération des autres atouts propres à la marque.

Pour ce qui est de la notoriété, Aaker et Lendrevie (1994) en distinguent quatre niveaux dont le degré zéro lorsque la marque est inconnue, la notoriété assistée qui signifie que la marque est reconnue le cas échéant, la notoriété spontanée et la notoriété *top of mind* ou dites également notoriété spontanée de premier rang. Concernant la marque CNES, en Guyane, elle est sans conteste *top of mind*. L'économie régionale repose en grande partie sur deux secteurs d'activité qui sont le spatial et le BTP. L'activité spatiale est menée à Kourou par les donneurs d'ordre que sont le CNES, l'ESA (agence spatiale européenne) et Arianespace, mais aussi près d'une quarantaine de sous-traitants. Dans cet écosystème d'entreprises, celle qui est connue de tous et spontanément associée au CSG est le CNES. Cela étant, concernant la notoriété des bourses d'excellence celle-ci est moins évidente. C'est du fait de réelles actions de communication à destination des lycéens que le dispositif est découvert par les principaux intéressés et bien que le CNES profite d'une notoriété *top of mind*, le dispositif d'attribution des bourses, lui, bénéficie plutôt d'une notoriété assistée. Celle-ci s'explique certainement par le fait que bon nombre de bacheliers guyanais estiment que le dispositif ne les concerne pas. Parmi nos répondants aucun n'a candidaté à la bourse de son propre fait, ils ont tous été incités à le faire, soit par leur CPE, un proche et ceci à la suite de l'intervention d'un représentant RH du CNES.

Pour ce qui est de l'image de marque, celle ci n'est pas figée dans la mesure où elle dépend surtout de l'historique de la relation entre les consommateurs et les marques en fonction de leur expérience. Cependant, le bouche à oreille et les avis laissés sur internet notamment, sont un moyen d'approcher le produit (CNES/CSG), sans pour autant l'avoir testé. Néanmoins, concernant les lauréats de la bourse d'excellence, tous, sans exception, accordent une image de marque positive au CNES dans la mesure où la bourse d'études supérieures leur a permis de réaliser les études souhaitées hors du territoire (opportunité citée par 78,2% des répondants) et de bénéficier d'entraides tant entre boursiers que de la part du personnel du CNES (83,6% des répondants). Enfin, parmi les mots-clés cités en lien avec le dispositif, en tête de liste arrivent les mots soutien (40%), aide (35%) et opportunité (35%). Du reste, par le biais de son dispositif d'attribution de bourses d'études dans le supérieur, l'image de marque du CNES est renforcée par la propriété d'unicité qui signifie, selon Keller (1993), que la marque possède ici un trait d'image qu'elle ne partage avec aucune autre. Une telle propriété procure un avantage concurrentiel indéniable, notamment en termes de qualité perçue par les lauréats.

Pour ce qui est de la qualité de marque perçue, celle-ci correspond au jugement que le consommateur (ici le lauréat) porte sur un produit ou un service (en l'occurrence la bourse), ou encore une marque (le CNES), relativement à ses attentes. Cette opinion peut être formulée sans expérience directe. La qualité perçue est un construit abstrait qui repose sur les informations concernant le produit ou la marque lesquelles sont stockées en mémoire par le consommateur (Zeithaml, 1988) ou ce construit peut également être relatif à tout autre critère jugé essentiel (Aaker, 1992b). La qualité perçue correspond à un sentiment global relativement similaire à une attitude, sans en être vraiment une (Aaker, 1992b). A ce sujet, nous avons particulièrement interrogé les lauréats qui ne sont plus en études et comme pour l'image de marque, la qualité perçue de la marque CNES est positive. Au-delà de la recherche d'un soutien financier indispensable à de bonnes conditions d'études, il semblerait que le dispositif permet à chacun de satisfaire ses attentes. Nous en avons ainsi répertorié une vingtaine allant de l'attente de sérénité durant les études au gain de confiance en soi en passant par l'enrichissement du CV, la carte de visite CNES, la reconnaissance et même l'obtention d'un emploi au Japon.

Enfin, pour ce qui est de la fidélité à la marque nous en avons relevé deux types différents. Il y a celle qui fait des consommateurs (les lauréats) des ambassadeurs de la marque. A ce sujet, les retours de nos répondants sont formels en termes de devoir moral pendant et après leurs études (assiduité et réussite des études constituent 92,7% des réponses, parler en bien de la Guyane et du CNES ou être présent pour le CNES, notamment au salon du Bourget, font également partie des réponses fréquemment citées à la question « avez-vous des comptes à rendre ? »). Nonobstant, un des faits marquants des résultats obtenus est que parmi les répondants en emploi, ils sont 59,3% à résider en France hexagonale. Ce qui signifie qu'ils ne reviennent pas en Guyane au terme de leur formation et qu'ils ne viennent pas travailler au CNES ou au CSG. Ce point qui semble remettre la fidélité à la marque en question, nous amène à poser des hypothèses explicatives en vue de futures recherches. A première vue, la fidélité à la marque CNES semble souffrir d'une infidélité au territoire plus déterminante. Pourtant, lorsqu'on interroge les lauréats sur les critères d'attribution de la bourse, ceux de naissance et de résidence en Guyane, d'attachement au ''péyi'', de scolarité et de projets professionnels en lien avec le territoire sont cités à l'unanimité bien avant ceux en lien avec la situation familiale ou la CSP des parents par exemple.

En résumé, notre première exploration du terrain fait apparaître un capital-marque fort en particulier dans le cadre du dispositif d'attribution des bourses d'études supérieures avec un bémol quant à la dimension fidélité à la marque, point sur lequel nous reviendront ultérieurement.

3.2. *Des disparités entre étudiants boursiers et anciens boursiers*

Nous pouvons ici poser des liens évidents en entre la marque employeur du CNES/CSG et la Guyane au sens du management des talents au niveau du territoire (Loufrani-Fedida et Saint-Germes, 2015). Les enquêtes démontrent clairement le besoin d'une prise de conscience globale et le besoin de transférabilité des pratiques de management des talents afin de garantir l'employabilité des boursiers au ''péyi''. La marque employeur CNES/CSG ne peut à elle seule la garantir. Les lauréats encore en études répondent dans leur très grande majorité que l'attribution de leur bourse n'est pas soumise à un projet d'études en lien avec le CNES/CSG mais plus largement avec la Guyane. Ils savent que bon nombre d'entre eux « n'auront pas d'emploi au CNES/CSG[18] et ne reviendront pas ». Il s'agit d'une vraie modification de perception du dispositif entre le groupe des anciens boursiers déjà en emploi et ceux qui sont encore en études. Cette discussion de la soutenabilité d'une forme de marque employeur territoriale, l'employeurabilité du territoire et l'employabilité des talents en Guyane sera davantage questionnée dans nos futures recherches. La littérature gestionnaire qui traite des questions de GRH territoriale la définie comme « des pratiques de GRH organisées (mutualisation des emplois et de la formation, mobilité régionale, GPEC territorialisée, etc.) à l'extérieur de la firme dans le but de renforcer la compétitivité d'un territoire géographique local » (Fauvy et Arnaud, 2012). Elle regroupe de très nombreux dispositifs nationaux et locaux notamment en Guyane. La question de la fidélisation peut donc se poser plus largement sans oublier de limiter le risque d'un effet boomerang négatif (risque émergeant) car la sœur d'un de nos répondants nous a indiqué que ce qu'elle perçoit « c'est encore un moyen d'éloigner les jeunes de leur pays ». Les deux catégories se distinguent avec un glissement net du sentiment d'être redevable au départ au CNES/CSG ou d'une obligation de revenir travailler au CNES/CSG vers un sentiment d'émancipation des boursiers. Ils ne sentent pas particulièrement redevables et trouvent cette démarche contributive « normale ». Ce sentiment est renforcé par leur entourage notamment familial.

L'analyse en composante multiple menée lors de notre dépouillement laisse transparaitre de faibles disparités entre les répondants bousiers (c'est-à-dire étudiants) d'une part et les anciens boursiers (c'est-à-dire employés) d'autre part.

Chez les lauréats encore en études, il convient de souligner des modalités d'opposition très forte sur le sujet de l'utilisation de la bourse pour s'équiper en ordinateur et/ou tablette, acheter des livres ou des manuels d'études et se payer des loisirs. Pour chacun de ces items, il y des antagonismes forts sur l'utilité de la bourse en la matière. Certains considèrent que la bourse est faite pour ces items et d'autres pas du tout. Cet antagonisme vient principalement du fait que parmi les choix d'attribution de la bourse, les responsables du CNES veillent à ce que la bourse d'excellence ne soit pas l'unique ressource du lauréat et d'ailleurs, notre étude montre que la bourse du CNES est cumulative avec les autres dispositifs d'aides aux études supérieures ou encore les APL. Ainsi, la bourse d'excellences est clairement identifiée comme un « plus » pour faire face aux aléas du quotidien ou pour se faire plaisir selon les cas. Cet état de fait, vient compléter notre première analyse en termes de qualité perçue de la marque CNES, puisque la bourse permet de répondre aux attentes de ses lauréats.

Chez les anciens boursiers, les disparités sont un peu plus marquantes et proviennent également des modalités d'utilisation de la bourse. Nous pouvons y identifier 3 groupes principaux :

- Logement et hébergement ;
- La vie et les charges quotidiennes ;
- Les frais en lien direct avec les études.

En effet, au cours de nos échanges, il est apparu que le CNES/CSG a fortement fait évoluer ses critères d'attribution et sa communication en termes d'utilisation de la bourse. Contrairement à ce qui se pratique actuellement, la bourse était un moyen important de subsistance des boursiers ce qui conduisait à un nombre important d'échecs car les étudiants avaient de trop faibles ressources pour mener leurs études dans de bonnes conditions. En termes de marque employeur, nous pouvons donc confirmer l'adhésion des bousiers aux valeurs émises par le CNES/CSG dans l'utilisation de la bourse.

3.3. *L'identité du CNES à l'épreuve du contexte socioéconomique de la Guyane*

Concernant le défaut de fidélité relevé dans notre étude exploratoire celui-ci nous invite à revenir sur les éléments constitutifs du capital-marque auprès de la population guyanaise et non pas seulement auprès des lauréats de la bourse d'excellence.

Pour ce qui est de la notoriété, qu'il s'agisse de la population des lauréats ou de celle de la Guyane, la marque CNES reste définitivement *top of mind*. Le port spatial de l'Europe implanté à Kourou reste un acteur majeur de l'économie du territoire guyanais. Quant à son activité de plus d'un demi-siècle de lancements de satellites, elle est difficile à ignorer tant les vols d'Ariane, Soyuz ou Vega sont médiatisés et peuvent être observés au plus près, depuis la salle Jupiter II située au CSG, ou depuis les plages guyanaises en particulier celles de Kourou.

Pour ce qui est de la qualité de marque perçue, pour mémoire cette opinion peut être formulée sans expérience directe et s'apparente à la notion de réputation (Aaker et Lendrevie, 1994). Pour ce qui est de cette opinion au niveau de la population guyanaise, c'est là que le bât blesse. Selon Didier Faivre, directeur du CSG (du 1/10/2016 au 1/10/2019), « *les blessures initiales sont relativement atténuées, mais on ressent toujours une ambiguïté entre le sentiment de fierté d'être un territoire d'avenir et de projets - l'espace fait rêver - et la frustration du fait que le Centre n'apporte pas tout ce que la population en attendait. Or, si les besoins sont réels, le CNES ne peut pas se substituer à l'État*. » Dans ces conditions, les mouvements sociaux de mars 2017 ont grondé jusqu'à Paris. « *Le fossé entre les besoins du territoire et le niveau technologique du spatial est clair. Cette crise devait arriver car la Guyane ne décolle pas, avec une démographie toujours*

[18] Rappel : Sur les 62 boursiers qui ont achevé leurs études et qui sont devenus ingénieurs, 40% travaillent actuellement sur la base spatiale ou sur le territoire guyanais (reportage Guyane 1ère diffusé le 22 juillet 2017).

grandissante. Une partie de la population se sent délaissée. Le spatial n'en est certes pas la cause, mais il a été pris pour cible symbolique afin d'attirer l'attention de l'État », poursuit Didier Faivre. L'image de marque du CNES est particulièrement ternie par le fait qu'en 1964 l'implantation du champ de tir des lanceurs s'est accompagnée d'une vague d'expropriations. Et même si le mot d'ordre du président de la Collectivité Territoriale de Guyane (CTG) est de ne plus vivre à l'heure de la repentance et du regret liés au sentiment de spoliation du territoire de Malmanoury, où se trouve le CSG, ce clivage est encore persistant et ressenti par les guyanais lors des évènements sociaux de mars et avril 2017. Ils ont encore démontré que l'opinion négative à l'encontre de la marque CNES est toujours d'actualité.

Pour ce qui est de l'image de marque celle-ci est également négative car la qualité perçue l'est et qu'Aaker et Lendrevie (1994) on souligné que la réputation peut inférer sur l'image de marque, ce qui est à l'évidence le cas ici.

Sur un plan pratique, l'identité et l'attractivité vont de paire, car les entreprises qui souhaitent généralement attirer les talents vont développer une image d'employeur attrayante tout en veillant à ce que cette image soit cohérente avec la vision de l'identité de l'organisation telles que perçue par les employés et les candidats potentiels (Lievens et al., 2007) donc tout le monde. D'autre part, Dutton et al. (1994) distinguent l'image liée à la perception que les membres salariés ont de leur propre organisation de celle liée à l'appréciation par ces mêmes salariés de la perception de l'image de l'organisation qu'en ont les autres, ceux qui ne font pas partie de l'entreprise. Ainsi, l'image externe reflète la mesure dans laquelle les salariés constatent que leur organisation est perçue comme positive ou négative par des tiers. Et alors que la qualité perçue en interne est positive car les avantages à travailler pour le CNES/CSG sont évidents lorsqu'on y travaille, on a, à l'inverse, une image de marque externe qui persiste à être négative depuis 1964 et vient de fait créer une identité organisationnelle ambivalente. Comme indiqué précédemment, par le biais des propose de M. Faivre « *le Centre n'apporte pas tout ce que la population en attendait* » donc la qualité perçue par les « non consommateurs » de la marque CNES/CSG est puissamment négative.

Dutton et al. (1994) distinguent l'image interne, qui a trait à ce que les salariés considèrent comme les attributs distinctifs, centraux et durables de leur organisation et lieu de travail, de l'image interprétée de l'évaluation externe de leur organisation par les autres. En procédant de la sorte, les auteurs ont établi que l'identité organisationnelle perçue par les salariés était étroitement liée à l'identification organisationnelle des employés. L'identification organisationnelle étant une forme spécifique d'identification sociale dans laquelle les personnes se définissent en fonction de leur appartenance à une organisation particulière. L'identification organisationnelle est définie comme la perception cognitive des individus d'unité ou d'appartenance à une organisation (Ashforth et Mael, 1989). Par conséquent, l'organisation d'un individu peut fournir une réponse partielle à la question « Qui suis-je ? » (Lievens et al., 2007).

Ce qui nous amène au dernier point, la fidélité à la marque. Car à la question de ce « Qui suis-je ? » lorsque je travaille pour le CNES/CSG, la réponse reste ambiguë pour certains natifs guyanais. Nous avons précédemment relevé que la fidélité à la marque CNES ne semblait pas infaillible pour les lauréats de la bourse dans la mesure où ceux-ci sont plus de 59% à ne pas être revenus travailler au ''péyi'' au terme de leurs études. Ce défaut de fidélité à la marque CNES/CSG a également été observé chez les salariés guyanais au moment du conflit social de 2017. En effet, au moment du blocage du site du CSG en avril 2017, nombre de ses salariés ont rejoint la foule qui défiait le port spatial européen et certains ont même nié travailler pour le CNES ou au CSG lorsqu'ils étaient questionnés à ce sujet par les autres manifestants. C'est ici que ressurgit tout l'intérêt du travail sur la marque-employeur pour le CNES/CSG, puisque celle-ci a été clairement identifiée comme outil de fidélisation organisationnelle entre autre par Charbonnier-Voirin et Lissillour (2018).

4. CONCLUSION ET VOIES DE RECHERCHES

Alors que Pélissier (2017) souligne que la définition usuelle de la marque employeur se veut par nature « multifacette » et qu'elle a « été fondée sur des méthodes scientifiquement discutables et des conclusions trop universelles pour décrire une réalité complexe », notre recherche participe à décrire plus avant cette complexité sur la base d'une évidente contextualisation permettant d'affiner l'analyse des effets de la marque employeur déjà tant discutées dans la littérature.

En conclusion, cette recherche nous permet d'avancer dans la compréhension de l'influence de la marque employeur sur la fidélité des collaborateurs et nous incite à poursuivre nos recherches dans ce sens en termes d'impact effectif sur la fidélité des salariés ou encore quant à son poids réel face à une image de marque négative. De même, nos premiers éléments de recherches sur le terrain questionnent la force de la marque employeur face au capital marque du territoire sur lequel l'entreprise est implantée. En effet, nous avons relevé que plus de 59% des lauréats diplômés ne sont pas revenus au ''péyi''. Ce chiffre est peut-être à analyser au regard des 40% de boursiers qui travaillent actuellement sur la base spatiale. Il y a là une possible voie de recherche concernant l'attrait limité de revenir travailler au ''péyi'' dans les cas où on ne peut pas le faire au CNES ou chez l'un de ses sous-traitants. Le contexte socioéconomique et le coût de la vie en Guyane sont tels que dans l'esprit des lauréats peut-être que seul un emploi bien rémunéré au CNES permet d'y faire face ?

5. REMERCIEMENTS

Les chercheurs remercient tous les acteurs qui participent à leur démarche de recherche : la direction du CNES/CSG, les chargés RH du CNES/CSG, l'école doctorale de l'Université de Guyane, la direction de l'IUT de Kourou, la direction de l'IUT de Thionville, l'ensemble des personnes qui ont répondu et qui continueront de répondre à nos questions.

6. REFERENCES

1. Aaker D.A. (1992a), « The Value of Brand Equity », *Journal of Business Strategy*, 13(4) : 27-32.
2. Aaker D.A. (1992b), « Managing the Most Important Asset : Brand Equity », *Planning Review*, 20 (5) : 56-58.
3. Aaker D.A. et Lendrevie J. (1994), *Le management du capital-marque. Analyse, développer et exploiter la valeur des marques*, Collection Dalloz Gestion.

4. Andrea (2005), *La marque, une puissance fragile*, Vuibert.
5. Ashforth, B.E. et Mael F. (1989), « Social identity theory and organisation », *Academy of Management Review*, 14 : 20-39.
6. Berthon P., Ewing M. et Hah L.L. (2005), « Captivating company: dimensions of attractiveness in employer branding », *International Journal of Advertising*, 24(2) :151-172.
7. Chardin T. (2018), « Marque employeur : ne confondons pas marketing et communication ! », *rhinfo.com*
8. Charbonnier-Voirin A., Marret L. et Paulo C. (2017), « Les perceptions de la marque employeur au cours du processus de candidature », *Management & Avenir*, n°94(4) : 33-55.
9. Charbonnier-Voirin A et Vignolles A. (2014), « L'influence des écarts de perception de la marque employeur avant et après le recrutement sur l'implication affective des salariés et leur intention de quitter l'organisation », *Revue de gestion des ressources humaines*, N°93(3) : 3-17
10. Charbonnier-Voirin A. et Lissillour M. (2018), « La marque employeur comme outil de fidélisation organisationnelle », *Recherches en Sciences de Gestion* 125(2) : 97-119.
11. Charbonnier-Voirin A. et Vignolles A. (2015), « Marque employeur interne et externe », *Revue Française de Gestion* 246(1) : 63-82.
12. Charbonnier-Voirin A. et Vignolles A. (2016), « Enjeux et outils de gestion de la marque employeur : point de vue d'experts », *Recherches en Sciences de Gestion* 112 : 153-172.
13. Combier E. (2017), « Comprendre la crise sociale en Guyane, en trois questions », *Journal les Echos* du 27/03/2017.
14. Dutton, J.E., Dukerich J.M. and Harquail C.V. (1994), « Organisational images and member identification », *Administrative Science Quarterly*, 39 : 239-263.
15. Fauvy S. et Arnaud N. (2012), « Un outil de GTEC : la mise en place d'une charte de l'emploi saisonnier dans le secteur du végétal spécialisé. Le cas des rosiéristes du Douessin », *Management & Avenir*, 6 : 54-74.
16. Guillot-Soulez et Soulez (2015), « Travailler pour une banque qui appartient à ses clients sociétaires : ça change quoi ? Analyse de l'identité de marque employeur des banques coopératives », @GRH n°15(2) : 59-77.
17. Hair J.F., Black W.C., Babin B.J., Anderson R.E. et Tatham R.L. (2009) *Multivariate data analysis* (7th ed) Upper Saddle River, Pearson Education.
18. Hirschman A.-O. (1995), *A Propensity to Self-Subversion*, Cambridge, Harvard University Press. Trad. française, *Un certain penchant à l'autosubversion*, Paris, Fayard.
19. Insee Analyses Guyane n°29 - Avril 2018.
20. Keller K.L. (1993), « Conceptualizing, measurind, and managing custormer-based brand equity », *Journal of Marketing*, n°1(57) : 1-22.
21. Lievens F, Van Hoye G, Anseel F. (2007), « Organizational identity and employer image: towards a unifying framework », *British Journal of Management* 18 : 45-59.
22. Loufrani-Fedida S. et Saint-Germes E. (2015), « L'engagement durable des parties prenantes dans une démarche de GRH territoriale : le cas de la GTEC de Sophia Antipolis », *Revue de gestion des ressources humaines*, 98 : 45-57
23. Maclouf E. et Belvaux B. (2015), « Contribution de la marque employeur à l'attractivité : les limites des approches cognitives analytiques », *Revue de Gestion des Ressources Humaines*, n° 98(4) : 45-57.
24. Pélissier D. (2017), « Quelles sont les origines du concept de marque employeur ? », *Présence numérique des organisations*, 31/05/2017.
25. Pettigrew, A. (1985), « Contextualist Research: a Natural Way to Link Theory and Practice », in Pettigrew, A.M., Whipp, R. (1991), *Managing Change for Competitive Success*, Oxford, Blackwell Publishers Ltd
26. Pettigrew, A. (1990), « Longitudinal Field Research on Change: Theory and Practice », *Organisation Science*, n° 3(1) : 267-292.
27. Viot C. et Benraiss-Noailles L. (2014), « Employeurs démarquez-vous ! La marque employeur, un gisement de valeur inexploité ? », *Management International*, 18 (3) : 60-81.
28. Wuhl S. (2007), « Indéterminations et limites de la discrimination positive française, in Wuhl S. », *Discrimination positive et justice sociale*, Paris, PUF, 19-35.
29. Wuhl S. (2008), « La « discrimination positive » à la française. Les contradictions des politiques publiques », *Informations Sociales* 148(4) : 84-93.
30. Yao N. (2013), « Communication de recrutement et/ou marque employeur ? », *Communication & Management* 10(2) : 73-85.
31. Zeithaml V.A. (1988), « Consumer perception of price, quality and value : A means-end model and synthesis of evidence », *Journal of Marketing Science*, 28, 2 : 195-211.

Evaluations et réactions face au risque nucléaire

Muriel RAMBOUR
Maître de conférences en droit public à l'IUT de Colmar
Membre du Centre Européen de recherche sur le Risque, le Droit des Accidents Collectifs et des Catastrophes

THEMATIQUE – Economie - Gestion - Droit (section CNU 02)

RESUME - **Si le dispositif français de gestion de crise a principalement été pensé en lien avec les aléas naturels et technologiques, le risque nucléaire prend désormais la forme d'une menace émergente du fait de la possibilité de voir des terroristes se doter de matières nucléaires et radioactives. L'analyse de ce risque revient à mettre en exergue la dimension intentionnelle dans un scénario d'intervention en milieu dégradé. Sur quels dispositifs juridiques les forces de sécurité civile s'appuient-elles pour évaluer les menaces et y réagir ? Comment conjuguent-elles leurs méthodes et moyens d'action avec les intervenants rattachés aux opérateurs de production d'énergie nucléaire ?**

Mots-clés* - *Accident radiologique, terrorisme nucléaire, sécurité civile, acceptabilité du risque.

1. INTRODUCTION

Le nucléaire engendre des risques majeurs bien connus en matière d'exploitation énergétique civile en raison de la présence sur le territoire français de 58 réacteurs. Les hypothèses d'intervention ont été pensées pour faire face aux aléas naturels et technologiques. Mais le risque nucléaire prend désormais la forme d'une menace plus émergente. Les experts en sécurité ont longtemps estimé que la probabilité était faible pour les terroristes d'avoir recours à des matières radiologiques. Désormais, cette éventualité n'est plus à exclure. Les sociétés urbaines sont aujourd'hui particulièrement exposées à l'explosion dans un lieu public d'une bombe élaborée à partir de matières radiologiques ou encore à l'offensive contre une installation d'intérêt vital [1].

Il s'agit par conséquent de s'interroger sur la manière dont le risque et la menace nucléaires peuvent être définis en termes d'acceptabilité. Plusieurs plans gouvernementaux et circulaires existent. Mais outre ce cadre normatif, il importe de clarifier l'articulation des moyens d'action des forces de sécurité civile avec l'intervention des exploitants.

2. LE RISQUE NUCLEAIRE EST-IL ACCEPTABLE ?

Les pays ayant recours à l'énergie nucléaire justifient la prise en compte du risque généré par des critères de rationalité scientifique. Toute activité doit en effet être exercée dans des conditions de protection des travailleurs et du public sur la base d'une exposition au niveau le plus faible raisonnablement possible (*as low as reasonably achievable*). La définition de ce qui est « raisonnablement » atteignable est cependant loin d'être évidente, alors même que le périmètre du risque nucléaire est graduel et que de nouvelles menaces se font jour.

2.1. Le périmètre du risque nucléaire

Après l'accident de Tchernobyl, pour permettre au grand public de mieux percevoir la gravité d'un incident ou accident survenant dans les centrales, l'Agence pour l'énergie nucléaire et l'AIEA ont mis au point une Echelle internationale des événements nucléaires qui comporte sept niveaux de gravité croissante, de la simple anomalie technique (stade 1) à l'accident majeur (stade 7, atteint par les accidents de Tchernobyl et Fukushima). Trois critères de classement sont mobilisés : les conséquences de l'événement hors du site (émissions radioactives impactant l'environnement et la population générale) ; les conséquences à l'intérieur du site (affectant l'installation elle-même et le personnel) ; la dégradation des lignes de défense de l'installation (les procédures, systèmes de sûreté, contrôles, activés au cœur du site pour limiter la portée de l'accident et confiner la radioactivité).

En France, la sûreté nucléaire désigne les mesures techniques et organisationnelles prises par l'exploitant, sous la supervision de l'Autorité de Sûreté Nucléaire, pour prévenir les accidents et limiter leurs conséquences. La sécurité nucléaire renvoie, quant à elle, aux activités de prévention visant à protéger les populations face aux négligences et actes de malveillance concernant les substances nucléaires et les installations qui les exploitent, ainsi qu'aux actions de sécurité civile en cas d'accident [2]. Or, sur ce point, les installations nucléaires ne sont pas épargnées : projection d'un avion de ligne, survol par des drones, cyber-attaque ou intrusion d'éléments hostiles. Une attaque terrestre contre un site nucléaire peut mobiliser plusieurs modes opératoires : entrée d'un commando armé ; explosion d'un véhicule piégé dans ou à proximité de la centrale... Le personnel est également un point de faiblesse : communication d'informations confidentielles, trafic de substances sensibles, participation – active ou passive – à des actions de sabotage [3].

2.2. *L'acceptabilité du risque nucléaire*

Le risque peut être défini comme la confrontation d'un aléa (un événement résultant de facteurs échappant au moins partiellement au contrôle humain) à des enjeux, c'est-à-dire des personnes ou des biens pouvant subir les conséquences du phénomène. Un risque majeur se caractérise par deux composantes : une faible probabilité d'occurrence (ce qui peut conduire les populations à ignorer un risque du fait de la rareté de sa fréquence) et une forte gravité (nombreuses victimes, importants dommages aux biens et à l'environnement, désorganisation des moyens locaux conduisant à une situation critique). La vulnérabilité permet de mesurer ces conséquences dommageables. En fonction de la fréquence et de la gravité, le risque est individuel, inhérent à la vie quotidienne, ou collectif et plus rare. Un risque est jugé acceptable si la gravité du préjudice potentiellement encouru se trouve compensée par une faible probabilité de réalisation ou de dysfonctionnement du système, ou si, à l'inverse, l'occurrence est fréquente pour un préjudice jugé mineur. Cette mise en balance permet de déterminer une zone d'acceptabilité du risque [4].

Du point de vue des sciences humaines, la théorie sociale ou psychométrique du risque met en œuvre des éléments d'évaluation de la qualité du risque, comme sa familiarité (par les connaissances scientifiques), la probabilité d'occurrence, le degré d'exposition volontaire ou non de l'individu ou du groupe, le potentiel catastrophique et la médiatisation, le cadre législatif et règlementaire destiné à y répondre [5]. La perception subjective du risque dépend de plusieurs facteurs, individuels, collectifs ou liés à la nature même du risque. Le risque reste donc principalement une construction sociale.

S'agissant de la perception et de l'acceptabilité du risque nucléaire, l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire publie chaque année un baromètre sur la perception des risques et de la sécurité par les Français [6]. A la question posée depuis 2002 sur les activités industrielles ou technologiques susceptibles de provoquer un accident grave ou une catastrophe en France, les centrales nucléaires sont mentionnées par près du quart des répondants, une proportion stable à l'exception de l'augmentation de deux points après l'événement de Fukushima. Les conséquences potentielles d'un accident restent perçues avec inquiétude. La prévention doit donc tenir une place importante, près de 90% des répondants estimant que les responsables des sites nucléaires doivent protéger leurs installations de tous les risques, même les plus improbables. Les accidents (tels que ceux survenus à Tchernobyl et Fukushima) restent l'argument le plus fort contre le nucléaire, devant les déchets radioactifs et la vulnérabilité des installations.

3. LES MOYENS DE REACTION FACE AU RISQUE NUCLEAIRE

En matière nucléaire, la catastrophe de Fukushima a amorcé une révision du dispositif gouvernemental français de gestion de crise dans le sens de l'identification la plus complète possible des situations susceptibles de se produire et d'une anticipation de leurs dommages potentiels sur les populations et l'environnement. La prévention et la réaction en matière de sécurité nucléaire relèvent d'une responsabilité partagée entre l'Etat et les exploitants.

3.1. *Les instruments de prévention et d'intervention de l'Etat*

Les Schémas départementaux d'analyse et de couverture des risques (SDACR) réalisent la mise en adéquation des risques courants et particuliers identifiés pour les personnes et les biens sur le territoire concerné avec les moyens opérationnels (personnels, équipements, matériels, véhicules…) des services d'incendie et de secours. En matière de gestion des accidents nucléaires, la plupart des SDACR des zones comportant des installations nucléaires prévoit d'assurer en vingt minutes la mobilisation de groupes de lutte contre les incendies, d'équipes de reconnaissance des risques radiologiques et de groupes d'alimentation ; en cas d'attaques terroristes, un groupe de décontamination d'urgence de masse est également sollicité.

Les Contrats territoriaux de réponse aux risques et aux effets potentiels des menaces (CoTRRiM) complètent ces SDACR pour anticiper la survenance d'une crise en simplifiant le travail de planification. Ils sont établis sous l'autorité des préfets de zones de défense et de sécurité et des préfets de départements, en concertation avec les ministères et les acteurs concernés (collectivités, structures privées, opérateurs…). Ils consistent en un bilan global des capacités humaines et matérielles dans une logique de mutualisation des moyens et d'identification des éventuels renforts nécessaires [7].

Le nucléaire peut être à l'origine d'accidents entrant dans la catégorie des risques technologiques. Désormais, les menaces peuvent relever du terrorisme dans ses formes conventionnelles mais aussi dans ses déclinaisons NRBC (nucléaire, radiologiques, biologiques et chimiques).

La circulaire n°007/SGDN/PSE/PPS du 8 octobre 2009 relative au dispositif interministériel d'intervention face à la menace ou à l'exécution d'actes de terrorisme NRBC, identifie deux phases auxquelles correspondent deux dispositifs opérationnels d'intervention. D'une part, le dispositif d'intervention préventive vise à empêcher la survenance d'effets directs d'une attaque terroriste sur les personnes, les biens ou l'environnement, dès lors que la menace est imminente, qu'un événement majeur en accentue le risque ou que sont découverts des engins improvisés probablement de nature NRBC. D'autre part, le dispositif d'intervention post-attentat mobilise ensuite les services de secours, de police, de gendarmerie, de santé et les opérateurs afin de porter assistance aux victimes, protéger les biens et l'environnement, assurer le maintien de l'ordre et réaliser les enquêtes nécessaires.

La circulaire interministérielle n°800/SGDSN/PSE/PPS du 18 février 2011 définit la doctrine nationale d'emploi des moyens de secours et de soins face à une action terroriste impliquant des matières radioactives. Elle indique la méthodologie à mettre en œuvre face à un scénario de dispersion d'un agent radiologique ciblant une population urbaine. Le dispositif post-attentat s'organise en plusieurs échelons (départemental, zonal, national) en tenant compte des délais d'intervention et des missions à accomplir. L'intervention relève de l'attribution des services d'incendie et de secours, d'aide médicale d'urgence, de police et de gendarmerie, appuyés par leurs moyens NRBC (cellules mobiles d'intervention chimique et radiologique, chaînes de décontamination, tenues de protection et antidotes…). Peuvent être mobilisés en renfort les personnels des armées ainsi que les équipes des opérateurs aptes à intervenir en situation NRBC [8].

Le plan gouvernemental NRBC n°10135/SGDSN/ PSE/PPS 30 du 16 septembre 2010 – dans sa version modifiée du 23 décembre 2016 – est un document classifié complétant les dispositifs de secours applicables en situation conventionnelle (plans ORSEC, ORSAN, *Vigipirate*). Décliné au niveau départemental et sur site, il identifie plusieurs contextes possibles en fonction de leur gravité et les réponses capacitaires dédiées ainsi que les délais prévisibles d'intervention permettant de prendre en charge les victimes et limiter la dispersion des matières NRBC.

3.2. Les outils d'intervention des opérateurs

Pour conduire les opérations de retour à un état maîtrisé d'une situation radiologique dégradée, les exploitants nucléaires disposent également d'équipes dédiées.

Le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) s'appuie ainsi sur les Formations locales de sécurité (FLS), composées d'anciens policiers, gendarmes et sapeurs-pompiers salariés de l'opérateur d'affectation, soit environ 1.000 agents. Ils assurent la protection physique des sites, la prévention et la protection incendie, les premiers secours en cas d'accident. De plus, l'existence de la Force d'action rapide nucléaire du CEA est récente, composée de personnels et de moyens des FLS, des services de santé au travail, des services de radioprotection, techniques et logistiques ; elle vise à faire face à des accidents conventionnels ou des actes de malveillance survenant en France comme à l'étranger.

Cette force s'inspire de la Force d'action rapide nucléaire (FARN) d'EDF, mise en place trois ans après Fukushima pour renforcer le dispositif de sûreté du parc électronucléaire français et gérer une crise dans un environnement dégradé où les dispositifs classiques de secours ne sont plus totalement opérationnels. La FARN comporte un état-major central et une base nationale pour le matériel de long terme, qui bénéficient de l'appui des moyens techniques disponibles (véhicules 4x4, poids lourds, grues, barges, hélicoptères) et d'un effectif de 300 personnes, salariées d'EDF, sur les bases régionales de Dampierre, Paluel, du Bugey et Civaux. Chaque base régionale comporte cinq équipes de quatorze personnes. Ces volontaires, qui connaissent les installations, sont capables de se projeter sur un site accidenté pour acheminer les sources extérieures d'approvisionnement en eau (pompes, filtres, tuyaux…) et en électricité (groupes électrogènes, moteurs diesel, lignes d'alimentation externe…), éviter ainsi une fusion du cœur du réacteur et d'éventuels rejets radioactifs. En 24 heures, la FARN doit avoir apporté les compétences humaines venant épauler ou relever l'équipe de pilotage de la centrale, connecté et mis en service les moyens matériels complémentaires [9].

4. CONCLUSIONS

La gestion d'une crise se décompose en trois temps : la prévention en amont, l'intervention et la phase post-crise avec le retour d'expérience. Le cadre réglementaire intervient pour établir les procédures d'anticipation puis de gestion du risque. L'acceptabilité de celui-ci relève, quant à elle, de l'initiative politique qui contribue à sensibiliser les populations aux enjeux.

En matière nucléaire, le risque prend l'aspect de l'accident affectant une installation mais aussi désormais celui de la menace terroriste employant le matériau radiologique comme une arme ou ciblant un centre de production nucléaire. Cette hypothèse a conduit les protagonistes du secours aux populations à s'adapter, comme en témoigne la création de la FARN d'EDF qui complète les forces classiques d'intervention.

Si la concertation des autorités publiques, privées et des forces d'intervention semble logique en cas de crise, elle n'en demeure pas moins une phase délicate, ainsi que l'ont démontré les exercices nucléaires d'urgence menés au lendemain de Fukushima, qui soulignaient certaines difficultés de communication. En dépit de ces imperfections, les réflexions actuellement engagées en termes de sûreté et de sécurité nucléaires démontrent que l'improbable est devenu envisageable.

5. REFERENCES

[1] Muriel Rambour, « Le nucléaire et le terrorisme », *Risques Etudes et Observations*, n° 2, 2015, p. 82-106.

[2] Muriel Rambour, « Le démantèlement des installations nucléaires civiles. Enjeux juridiques, économiques et questions de sécurité(s) », *Risques Etudes et Observations*, n° 1, 2014, p. 12-15.

[3] Muriel Rambour, « La sécurité nucléaire en France. Un état des dispositifs de lutte contre les intrusions terrestres et les nouvelles menaces aériennes », *Cahiers de la sécurité et de la justice*, n° 35-36, 2016, p. 206-213.

[4] Baruch Fischhoff, Sarah Lichtenstein, Paul Slovic, *Acceptable Risk*, Cambridge University Press, 1981.

[5] Christine Noiville, *Du bon gouvernement des risques. Le droit et la question du « risque acceptable »*, Paris, PUF, 2003.

[6] Baromètre IRSN, *La perception des risques et de la sécurité par les Français. Résultats d'ensemble*, 2017.

[7] Ministère de l'Intérieur / Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises, *Guide méthodologique d'aide à la mise en place du Contrat Territorial de Réponse aux Risques et aux effets potentiels des Menaces (CoTRRiM)*, 2016.

[8] Eric Florensan, Anaël Bouchot, *Doctrine d'action des secours en situation d'urgence radiologique, impliquant la population. Intérêts et apports des textes internationaux de référence*, ENSOSP, RAD4-2015.

[9] Muriel Rambour, « Force d'action rapide nucléaire d'EDF et acteurs de la sécurité civile. Attributions et responsabilités », in Bertrand Pauvert, Olivier Gohin (dir.), *Le Droit de la Sécurité et de la Défense en 2014*. Aix-Marseille, PUAM, 2015, p. 237-252.

Une ville logistiquement durable : explorer l'intermédiation grossiste

Stéphane SIRJEAN et Christian MOREL
Jonction Consulting, Aix-en-Provence
Gilles PACHÉ
CRET-LOG, Aix-Marseille Université (IUT), Aix-en-Provence

THÉMATIQUE - Économie - Gestion - Droit

RÉSUMÉ - ***L'intermédiation grossiste reste encore peu étudiée dans les recherches relatives au développement durable et à la transition énergétique. Pourtant, elle occupe une place de plus en plus significative dans les économies modernes, spécialement pour la livraison des marchandises en ville. L'objectif de l'article est de présenter les principaux enjeux de la transition énergétique et les défis qu'ils représentent pour l'intermédiation grossiste. L'accent est notamment mis sur les contraintes provenant des collectivités locales, qui expliquent les évolutions rapides en cours. L'une des plus importantes est la mise en œuvre de zones à faibles émissions (ZFE), dont l'impact est majeur en matière de logistique urbaine.***

Mots-clés - ***Grossiste, Intermédiation, Logistique urbaine durable, Transition énergétique.***

1. INTRODUCTION

Les défis associés à la transition énergétique sont désormais largement abordés dans la littérature académique, notamment en sciences de gestion. La transition énergétique désigne la transformation des systèmes de production, de distribution et de consommation d'énergie sur un territoire spécifique afin de le rendre plus « écologique ». Dans le contexte de transition énergétique, un certain nombre de questions se posent aux industriels et aux distributeurs conduisant une stratégie RSE, entendue comme une démarche volontariste initiant un ensemble de pratiques dans le but de respecter les principes du développement durable au triple plan sociétal, environnemental et économique [1]. La transition énergétique ne se résume pas simplement à construire des éoliennes et des panneaux solaires ; elle est liée à des questions économiques et managériales aussi diverses que l'accès à l'énergie, l'adéquation entre production et consommation, ou encore le juste prix et le coût de la production énergétique.

Une attention particulière est habituellement accordée aux grands industriels, qui doivent repenser leur organisation et leur stratégie afin de relever les défis de la transition énergétique. Dans le même temps, peu de travaux académiques traitent des grossistes, même s'ils sont au cœur de la dynamique des économies modernes. En effet, les grossistes sont acteurs des transformations profondes que connaissent les chaînes logistiques : ils se présentent comme des organisations vertueuses dans leur utilisation parcimonieuse de l'espace et dans la gestion des tournées de livraison en tenant compte des contraintes environnementales. L'objectif du présent article est de clarifier les enjeux liés à la transition énergétique et de mettre en avant l'une des évolutions majeures en cours dans le contexte de la logistique urbaine durable, à savoir la création de zones à faibles émissions (ZFE).

2. TRANSITION ENERGETIQUE ET PLACE DES GROSSISTES

Selon O'Connor [2], la transition énergétique peut être définie comme un ensemble particulièrement important de changements dans les habitudes de consommation d'énergie au sein d'une Société, susceptibles d'affecter les pratiques des entreprises. La finalité est de fortement diminuer l'impact environnemental d'un système énergétique, mais aussi du système économique auquel il est associé, en termes d'approvisionnement, de production et de distribution physique. La transition énergétique est alors indissociable du développement durable au sein d'une démarche RSE cohérente et contribue à la lutte contre le réchauffement climatique à travers la mise en œuvre de changements fondés sur le champ des possibles (progrès technologiques), mais aussi les orientations politiques associant différentes parties prenantes. Ces changements s'articulent principalement autour du remplacement des énergies fossiles ou nucléaires par des sources d'énergie propres, ainsi que par une réduction de la consommation d'énergie, quelle que soit son origine, à travers une modification des pratiques et des usages.

En France, la Loi n° 2015-992 relative à la transition énergétique pour la croissance verte fixe les principaux objectifs à atteindre et un calendrier cible. Parmi ces différents objectifs, tous intéressent de près ou de loin le grand public, mais certains vont avoir des effets particuliers (et significatifs) pour les entreprises dans la mesure où ils impactent leurs modèles d'organisation. Les principaux objectifs de la Loi s'organisent de fait autour de deux thématiques centrales : (1) des objectifs de *résultats*, comme la réduction des émissions de gaz à effet de serre (les diviser par quatre d'ici 2050 par rapport aux niveaux de 1990), ou la réduction de la consommation énergétique (la diviser par deux d'ici 2050 par rapport aux niveaux de 2012) ; et (2) des objectifs de *ressources*, comme la réduction de la consommation primaire d'énergies fossiles (-30% d'ici 2030 par rapport aux niveaux de 2012) et l'augmentation corrélative de la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique nationale (jusqu'à 32% en 2030).

Très concrètement, les défis relatifs à la transition énergétique vont ici se traduire pour les entreprises, et tout spécialement les grossistes, par une réflexion approfondie portant à la fois : (1) sur la manière d'organiser au mieux leurs transports (compte tenu de leurs effets connus sur l'environnement) ; et (2) sur une réduction drastique des gaspillages, avec une optimisation de l'utilisation des énergies existantes, dans un premier temps, et sur une recherche de sources d'énergie alternatives économiquement viables, dans un second temps. Si les perspectives d'optimisation déployées en matière de logistique et de transport de marchandises sont aujourd'hui éclairées par un regard nouveau, à travers leur contribution à la transition énergétique, et plus largement à une démarche de RSE, elles se fondent sur une idée ancienne, et diffusée dans la littérature académique : la recherche de l'efficience logistique par une réduction drastique des gaspillages et redondances dans le pilotage des flux [3].

Encore faut-il tenir compte des ressources et compétences mobilisées par chacun des acteurs. L'étude approfondie des pratiques logistiques urbaines en matière d'intermédiation grossiste, conduite en 2017 par Sirjean et Boudouin [4], souligne ainsi que le compte propre constitue un trait caractéristique de l'organisation logistique des grossistes, telle que représentée dans la Figure 1. Bien qu'une abondante recherche mette en avant l'excellence – voire la supériorité métier – des prestataires de services logistiques (PSL) et des transporteurs, et que la puissance publique tende à sous-estimer, pour ne pas dire oublier, le poids du compte propre, les pratiques transport des grossistes concernent un nombre important d'entreprises (et d'emplois). Elles sont donc dignes d'intérêt, et ce d'autant que le transport tient une place essentielle dans le processus de transition énergétique.

Fig. 1. Le grossiste, élément clé de la chaîne logistique

3. LE TRANSPORT DANS LE PROCESSUS DE TRANSITION ENERGETIQUE

La consultation de nombreux travaux académiques, et l'examen des différentes approches du problème retenues par les collectivités locales [5], permettent d'identifier les principaux enjeux environnementaux associés au transport routier de marchandises, et l'effort devant par conséquent être conduit par les grossistes pour participer activement au processus de transition énergétique. Ces travaux soulignent massivement la présence d'externalités négatives, mais le transport routier reste malgré tout un soutien majeur aux activités économiques (industrielles et commerciales), et il participe à la création de valeur pour les entreprises en facilitant les échanges marchands. Sans échanges, il ne peut exister d'économie de marché compétitive, et s'il convient de réfléchir à l'articulation entre transition énergétique et activités de transport, ceci doit se faire en référence à un cadre rigoureux. Parmi les enjeux identifiés, deux d'entre eux sont directement en lien avec la transition énergétique.

3.1. Congestion du trafic

Le premier enjeu est associé à la congestion du trafic. Il est entendu que la congestion du trafic dans les espaces urbains pèse uniquement sur les usagers du transport routier, à l'inverse du bruit, par exemple, qui affecte toute la population avoisinante des embouteillages récurrents. Le coût de la congestion est traditionnellement calculé en utilisant la notion de *valeur du temps*, qui renvoie à la somme que chaque agent concerné est prêt à payer afin de gagner du temps lors de son usage de la route, et la notion de *temps perdu*, qui est fonction de la fluidité du trafic à un moment donné. L'impact de la congestion ne dépend pas de l'énergie, ni de sa consommation, contrairement à d'autres externalités négatives telles que la pollution de l'air, mais du nombre de véhicules en circulation et de leurs encombrements respectifs. Au regard de l'emprise sur les voies et des capacités de manœuvre des véhicules, plus ou moins limitées, on peut ainsi retenir un impact trois fois moins important pour les petits porteurs (< 3.5 tonnes) que pour les gros porteurs (> 3.5 tonnes) [6].

Toutefois, les externalités négatives ressenties ne sont pas toujours des *externalités avérées* et, dès lors que l'on raisonne non plus par véhicule mais par chargement transporté, on observe que le bilan des petits porteurs est moins favorable qu'il n'y paraît par rapport aux gros porteurs. En effet, le transfert de l'activité des gros porteurs vers les petits porteurs entraîne une augmentation de leur nombre, notamment en zone urbaine. Le développement des petits porteurs pour les livraisons urbaines conduit à accorder au transport routier une emprise au sol totale plus importante, ce qui amène à une détérioration progressive des conditions de circulation pour tous les véhicules, voire à une accidentologie accrue : la présence des petits porteurs représente ainsi près de 7 % des accidents répertoriés en milieu urbain [7].

3.2. Nuisances environnementales

Le second enjeu est associé à la réduction des nuisances environnementales, notamment en matière de pollution, lorsque la zone urbaine possède une qualité de l'air jugée mauvaise en référence aux normes locales, nationales ou internationales. Selon les données françaises du Service de l'Observation et des Statistiques (SOeS), les petits porteurs émettent 19 % des émissions de CO_2 du transport routier mais représentent 16,5 % de la circulation routière en 2016. Les émissions de CO_2 ont augmenté au total de 33,1 % depuis 1990, tandis que leur circulation progressait de 60 %. De leur côté, les gros porteurs sont responsables de 21 % des émissions de CO_2 du transport routier alors qu'ils ne représentent que 5,2 % de la circulation routière. La circulation des gros porteurs a baissé de 13 % entre 2007 et 2016, alors que leurs émissions de CO_2 ont diminué plus rapidement (de 19 %).

Dans ces conditions, il n'est pas surprenant que de nombreux travaux portant sur la transition énergétique accordent une forte importance au transport routier de marchandises. Il est vrai que la question est essentielle en référence aux données disponibles sur la ville logistiquement durable. Le transport de marchandises dans les zones urbaines est responsable de 15 % des émissions de monoxyde de carbone, de 41 % des émissions d'oxydes d'azote et de 50 % des émissions de particules fines. Par ailleurs, environ 25 % de la consommation d'énergie fossile et de 50 % des émissions de particules fines sont imputables à la mobilité urbaine [8]. Ces chiffres ne peuvent pas laisser les collectivités locales indifférentes dans la mesure où elles sont confrontées à des populations qui exigent de plus en plus une ville agréable à vivre, et débarrassée d'une pollution qui impacte les résidents

les plus fragiles (enfants, seniors, malades chroniques). Ceci est à l'origine de la création de zones à faibles émissions (ZFE), dont de nombreux grossistes ont déjà pris la juste mesure.

4. Vers la generalisation des zones a faibles emissions (ZFE)

Les zones à faibles émissions (ZFE), en anglais *low emission zones*, sont des territoires singuliers dans lesquels une interdiction d'accès est instaurée, le cas échéant sur des plages horaires déterminées, pour différentes catégories de véhicules qui ne répondent pas à certaines normes d'émissions, et qui ont par conséquent un impact nocif sur la santé des résidents de l'ensemble dudit territoire. Plus ou moins explicitement, l'objectif est ici de combattre les deux problèmes majeurs identifiés ci-dessus : la congestion source de gaspillage énergétique, et les nuisances environnementales. Il s'agit d'un dispositif qui a déjà fait ses preuves dans plusieurs pays [9][10], depuis son introduction en 1996 dans quatre villes suédoises. D'un point de vue opérationnel, les ZFE reposent sur le système des fameuses vignettes Crit'Air, dont plus de 10 millions ont déjà été délivrées en France (voir la Figure 2). Alors que ces zones sont aujourd'hui uniquement déployées à Paris et à Grenoble, la Loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte, précédemment évoquée, a pour ambition de les voir se déployer rapidement dans d'autres villes françaises, en particulier celles dont les seuils de concentration de polluants atmosphériques sont régulièrement dépassés, à l'image de Marseille et Lyon.

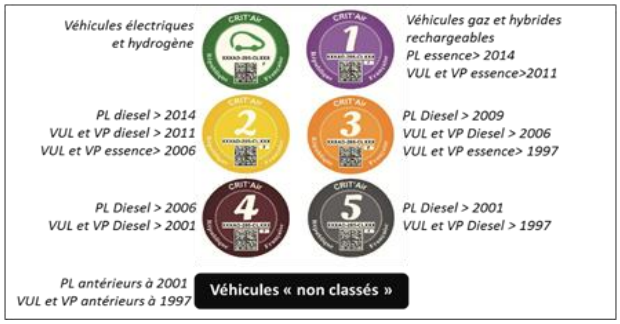


Fig. 2. Les différentes vignettes Crit'Air

La définition d'un projet réglementaire de ZFE fait appel à une combinaison de plusieurs paramètres permettant d'aboutir à différents scénarios, qui impactent directement la gestion de la circulation des marchandises dans la ville, et dont on a souligné que les grossistes sont des parties prenantes de premier plan. Le choix des véhicules concernés en matière de circulation, le périmètre d'application d'une ZFE ainsi que le niveau d'éventuelles restrictions sont les trois principaux paramètres à fixer dans une logique interventionniste. Vient ensuite la triple question des dérogations à accorder et de son corollaire, la temporalité, ainsi que celle de la progressivité de l'implantation (calendrier de mise en œuvre et d'évolution étape par étape) :

- *Objet réglementé*. Les poids lourds concernés sont essentiellement détenus par les professionnels du transport routier de marchandises dont les capacités d'adaptation (renouvellement) sont les plus élevées, relativement aux autres catégories socio-professionnelles.
- *Périmètre*. Plus le périmètre d'application est large, plus l'efficacité environnementale sera élevée pour les populations. Toutefois, certains périmètres relativement attractifs concernent, au-delà des véhicules présents, de nombreux usagers extérieurs.
- *Niveau de restriction*. La réglementation participe à la rupture technologique et au développement des nouvelles motorisations (électrique, hydrogène, gaz). À ce titre, elle constitue un levier puissant d'assainissement du parc au profit des véhicules moins polluants.
- *Progressivité*. Les défis liés au calendrier de mise en œuvre sont de deux ordres : (1) il permet d'instaurer une réglementation évolutive en cohérence avec l'évolution naturelle du parc ; (2) il permet de donner de la visibilité aux différents usagers de la route, qui pourront mieux planifier leur renouvellement de véhicule et anticiper le coût induit.
- *Dérogations*. Temporaires ou permanentes, les dérogations permettent d'exclure de la règle certaines catégories de véhicules pour des raisons diverses parmi lesquelles le faible kilométrage qu'ils parcourent relativement à leur coût d'achat.
- *Temporalité*. La temporalité est à rapprocher du régime dérogatoire car elle permet d'éviter que la ZFE soit applicable en tout lieu et en tout temps. Elle laisse à des catégories d'usagers la liberté de se déplacer à certaines heures ou certains jours de la semaine.

Au final, réduire les émissions de gaz à effet de serre, améliorer la qualité de l'air en milieu urbain et faciliter la transition énergétique : tel est le triple enjeu des mutations en cours dans le cadre des ZFE. Ceci ne pourra se faire qu'en la présence massive de véhicules propres mis à la disposition des entreprises, et spécifiquement des intermédiaires grossistes. Pour l'heure, un effort significatif a été conduit pour les véhicules légers. Ainsi, pour l'année 2017, les émissions moyennes de CO_2 des véhicules particuliers neufs vendus en France se sont établies à 111 g CO_2 / km, alors qu'elles étaient encore de 122 g CO_2 / km dans l'Union Européenne en 2014. La diminution des émissions moyennes de CO_2 des véhicules neufs s'explique en grande partie par les évolutions technologiques des véhicules : ceux-ci émettent moins de dioxyde de carbone et ne sont donc plus impactés par le malus écologique. Il reste à mener un effort semblable pour les petits porteurs des grossistes, au cœur des livraisons urbaines, pour accompagner l'actuel renouveau du commerce de centre-ville, après des années de lente déliquescence [11].

5. Conclusion

Sujet majeur de Société qui dépasse largement les frontières de la logistique, la transition énergétique est désormais médiatisée et constitue un défi majeur pour un nombre croissant d'entreprises [12], dont les grossistes. La logistique urbaine durable a pour caractéristique essentielle de porter sur une activité économique, la livraison des marchandises dans la ville, qui s'inscrit à la fois dans l'espace *privé* (pratiques et stratégies des entreprises) et dans l'espace *public* (transport professionnel sur une voirie partagée avec des citoyens). Cette ambivalence existe, certes, pour beaucoup d'autres activités logistiques, mais elle est exacerbée ici car la ville est un espace géographiquement confiné, de plus en plus encombré. La transition énergétique rebat les cartes et conduit les collectivités locales à implémenter un système de contraintes auxquels les entreprises ne peuvent plus échapper. Il ne fait aucun doute que toutes les implications des évolutions en cours, notamment en matière de ZFE, n'ont pas été étudiées et évaluées, ce qui mérite incontestablement d'y porter une attention soutenue dans les prochaines années afin de mieux comprendre la dynamique de la transition énergétique.

6. Remerciements

Les auteurs remercient la Confédération Française du Commerce de Gros et International (CGI), et tout particulièrement son Directeur Général Hugues Pouzin, pour le soutien financier dans la conduite de la recherche.

7. References

[1] McWilliams, A., Siegel, D., Corporate social responsibility: a theory of the firm perspective, *Academy of Management Review*, Vol. 26, n° 1, 2001, pp. 117-127.

[2] O'Connor, P., *Energy transitions*, The Pardee Papers n° 12, The Frederick S. Pardee Center for the Study of the Longer-Range Future, Boston University, 2010.

[3] Christopher, M., *Logistics and supply chain management*, Pearson, Harlow, 5e éd., 2016.

[4] Sirjean, S., Boudouin, D., *Le grossiste, acteur majeur de la logistique urbaine*, Éditions CGI, Paris, 2017.

[5] Gardrat, M., *Impensée mais structurante, refoulée mais exhibée : la mobilité urbaine des marchandises*, Thèse de doctorat en Géographie, Aménagement et Urbanisme, Université de Lyon, septembre 2017.

[6] McKinnon, A., Browne, M., Whiteing, A., Éds., *Green logistics: improving the environmental sustainability of logistics*, Kogan Page, Londres, 2012.

[7] Russo, F., Comi, A., From the analysis of European accident data to safety assessment for planning: the role of good vehicles in urban area, *European Transport Research Review*, Vol. 9, n° 1, 2017, pp. 1-12.

[8] Albergel, A., Ségalou, E., Routhier, J.-L., De Rham, C., *Méthodologie pour un bilan environnemental physique du transport de marchandises en ville*, Éditions Connaître pour Agir, Paris, 2006.

[9] Benjelloun, A., Crainic, T., Bigras, Y., Towards a taxonomy of city logistics projects, *Procedia–Social & Behavioral Sciences*, Vol. 2, n° 3, 2010, pp. 6217-6228.

[10] Browne, M., Rizet, C., Allen, J., A comparative assessment of the light goods vehicle fleet and the scope to reduce its CO_2 emissions in the UK and France, *Procedia–Social & Behavioral Sciences*, Vol. 125, 2014, pp. 334-344.

[11] Yildiz, H., Heitz-Spahn, S., Siadou-Martin, B., Éds., *(R)évolution du commerce de centre-ville : de l'état des lieux à la résilience*, Presses Universitaires de Nancy, Nancy, 2019.

[12] Halldórsson, A., Kovács, G., The sustainable agenda and energy efficiency: logistics solutions and supply chains in times of climate change, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 40, n° 1-2, 2010, pp. 5-13.

L'infirmier qui aimait la logistique, ou l'histoire d'une centralisation des flux dans un bloc opératoire

Virginie André[1] virginie.andre@univ-nantes.fr
Vincent Salaun[1] vincent.salaun@univ-nantes.fr

[1] IUT, Saint-Nazaire
Laboratoire d'Économie et de Management de Nantes Atlantique (LEMNA)
Université de Nantes

Thèmes – *Gestion -*

Résumé – *Dans l'esprit général, la logistique est bien souvent associée aux activités de transport. Si le déplacement de marchandises, par n'importe quel moyen (routier, maritime, ferroviaire, etc.) est certainement la partie émergée de l'iceberg logistique, cette fonction recouvre en réalité un spectre d'activités bien plus vaste lui attribuant la charge du pilotage de l'ensemble des flux des organisations. Dans cette vision, la logistique ne se cantonne donc pas aux simples activités commerciales mais s'étend à la gestion de « tout ce qui bouge ». Dans la lignée de travaux académiques débutés dès les années 1990, cette communication s'attache à explorer le fonctionnement logistique de services de soins dans un contexte hospitalier. En se questionnant sur les enjeux d'une centralisation logistique dans un bloc opératoire, la recherche met en lumière comment une telle démarche peut être source, à la fois d'amélioration de la prise en charge des patients, et de leviers d'actions économiques.*

.

Mots-Clés – *Logistique hospitalière, Centralisation, Optimisation, Etude de cas*

1 Introduction

Le 13 février 2018, Agnès Buzyn, Ministre des Solidarités et de la Santé, signait le Contrat d'Objectifs et de Performance (COP) 2018 / 2022 de Santé Publique France. Dans ce document, la notion d'optimisation est présente à 25 reprises dans la quarantaine de pages que compte le rapport. Comme le rappelle Colin [1], la première mission de la fonction logistique fut, dans les années 60, d'assurer l'optimisation des ressources mises en œuvre au sein des entreprises afin de réduire les coûts de fonctionnement. Ainsi, il paraîtrait logique de retrouver une mobilisation des outils et méthodes logistiques au sein des institutions de santé française pour répondre à l'exigence d'optimisation formulée par le ministère. Or, jamais en 2018, la Ministre des Solidarités et de la Santé n'a prononcé le mot « logistique » dans l'un de ses discours officiels [2]. Si, depuis le début des années 2000 le nombre de travaux académiques consacrés à la logistique hospitalière connaît une croissance permanente, il semble persister une forme de réticence, dans les milieux hospitaliers, à considérer la logistique comme une démarche globale de pilotage de flux allant bien au delà d'une simple « intendance » générale assurée par des soignants « lorsqu'ils ont du temps libre ». L'ambition de la présente communication sera alors d'explorer un cas de centralisation logistique au cœur d'un hôpital, dans ses blocs opératoires, afin de répondre à la question de recherche suivante : comment une démarche de centralisation logistique peut-elle contribuer à la performance globale d'un service de santé ? Pour ce faire, le document se scinde en trois parties abordant tour à tour la définition et le cadrage de la logistique hospitalière au regard des connaissances académiques actuelles (2), l'étude du cas particulier du bloc opératoire du Centre Hospitalier de Saint-Nazaire (CHSN) (3), et la mise en lumière des impacts positifs potentiels que représente une construction des services de santé par les flux (4).

2 Logistique hospitalière : de quoi parle-t-on ?

Dès le début des années 2000, la communauté scientifique a commencé à explorer les services de santé au travers du prisme logistique. Ce mouvement s'est notamment initié en réponse à l'utilisation de plus en plus courante, par des praticiens hospitaliers, de méthodes et d'outils issus de la logistique industrielle à l'image de la Gestion Partagée des Approvisionnements (GPA) ou de l'Efficient Customer Response (ECR) [3]. Si la logistique au sens large peut être entendue comme le pilotage de flux physiques par l'intermédiaire de flux d'informations associés en vue de satisfaire une demande d'un client [1], la logistique hospitalière semble jouir de spécificité qui lui confère un caractère unique. En effet, Landry et Beaulieu [4] considèrent que « *la logistique hospitalière se définit comme un ensemble d'activités de conception, de planification et d'exécution permettant l'achat, la gestion des stocks et le réapprovisionnement des biens et des services entourant la prestation de services médicaux aux patients* ». La place centrale que donnent ces auteurs aux patients au sein de la logistique hospitalière trouve un écho particulier au regard des propos de Feniès *et al.*[5] qui précisent que *« l'hôpital actuel, compte tenu de sa complexité grandissante, est plus proche d'une immense chaîne logistique dont les agents visent à satisfaire le patient* ». Au-delà d'une vision purement consumériste qui vise à mettre à la disposition d'un client l'objet de ses envies, la logistique hospitalière revêt un enjeu de santé publique et de survie des patients en assurant la mise à disposition des personnels soignants l'ensemble des moyens nécessaires à une prise en charge sanitaire complète. De ce point de vue, un accroissement des performances logistiques des services de santé pourrait se traduire par une meilleure prise en charge des patients.

En outre, comme le note André [6], en 2011 en France, la charge financière que représentent les activités logistiques peuvent osciller entre 31 et 34 % du budget global d'un centre hospitalier. Avec l'application, depuis 2005, de l'ordonnance 2005-406 relative à la Tarification A l'Activité (communément appelée T2A), les centres hospitaliers français sont engagés dans une course à la rationalisation des budgets à double tranchant : augmenter le nombre d'actes réalisés pour obtenir de meilleurs remboursements de l'Assurance-maladie (accroissement des recettes), restreindre et optimiser les charges (réduction des dépenses). Dans ce contexte, les outils de la logistique semblent pouvoir répondre au double objectif existant à ce jour dans les centres hospitaliers : améliorer la prise en charge des patients par la mise à disposition des soignants de l'ensemble des matériels en temps, en heure et en qualité, mais aussi ouvrir la voie à la rationalisation (pilotage des stocks, etc.) des dépenses logistiques qui occupent le tiers des budgets.

3 Logistique de bloc ou bloc logistique ?

Partant du constat théorique dressé jusqu'à présent, il semblerait*, a priori*, évident de retrouver des responsables logistiques, parfaitement formés aux méthodes et outils du pilotage des flux, dans tous les hôpitaux. Le constat que dressent Sampieri-Teissier et Livolsi [7] en est tout autre. En effet, ces auteurs ont récemment mis en lumière le manque de formalisme et le morcellement entre de multiples acteurs de la fonction logistique dans le secteur hospitalier. Une raison de ce morcellement peut se trouver dans le manque de « champion » portant l'idée d'une logistique centrale dans les systèmes de santé. Comme le précise Fabbe-Costes [8] : « *le développement d'une fonction logistique, son affirmation, et son maintien, se sont toujours faits sous l'impulsion et le leadership d'un charisme qui a su convaincre et mobiliser* ». A la lumière de cet élément, il paraît légitime de s'interroger sur les conséquences logistiques de la présence d'un « porte étendard de la logistique » dans un service de santé. Afin d'explorer cette possibilité, une étude du fonctionnement des blocs opératoires du CHSN a été réalisée. La particularité de ce service est de disposer d'un coordonnateur logistique central (ancien infirmier de bloc (IBODE) ayant obtenu un Diplôme Universitaire (DU) en logistique hospitalière spécialisée dans les blocs

opératoires) en charge du pilotage de l'ensemble des flux entrants et sortants des blocs, à l'exclusion du flux de patients. Cette étude a été renforcée par la comparaison avec un service équivalent (mêmes spécialités chirurgicales) d'un autre centre hospitalier (appelé ici CHAlpha par souci d'anonymat) ne disposant pas d'un centralisateur logistique mais confiant la gestion des flux à différents acteurs (six IBODE non spécialisés en logistique se relayant sur la mission). Un premier constat quantitatif peut être dressé à l'issu de la comparaison entre le CHSN et le CHAlpha : le nombre d'opérations par an et par salle de bloc. Pour le CHSN ce chiffre s'élève à 1 403 opérations par salle, alors que le CHAlpha ne réalise « que » 1 207 opérations par salle (soit une différence de 14%), alors même que la population de l'agglomération nazairienne compte 127 000 habitants quand la communauté urbaine du CHAlpha compte 205 000 résidents (soit 61,42 % de plus). Le fait qu'il existe dans les deux cas étudiés une seule polyclinique en « concurrence » ne permet pas d'expliquer l'importante différence d'actes réalisés et, à notre connaissance, seule la présence d'un coordonnateur logistique central peut expliquer, *a minima* en partie, les 14% d'opérations par salle en plus au CHSN.

D'un point de vue plus qualitatif, les entretiens réalisés avec les personnels des blocs opératoires du CHSN mettent en évidence une reconnaissance importante du travail du coordonnateur logistique par ses collaborateurs et « clients » internes. À titre illustratif, l'un des chirurgiens précise que grâce à la centralisation logistique « *on se focalise uniquement sur nos actes techniques*», quand la pharmacienne note « *une ambiance de travail moins stressante* ». Dans le même sens, une autre pharmacienne ainsi que l'une des secrétaires du service pharmacie précisent que ce poste favorise « *une continuité du circuit*» et « *un suivi complet avec une traçabilité*». Il peut aussi être noté que le même type de commentaires provient également des autres services du CHSN ou des partenaires à l'image des propos du service achats qui déclare que le poste permet « *un langage commun*», ou d'un prestataire extérieur qui considère que le coordonnateur logistique représente « *un interlocuteur unique indispensable*».

4 Conclusion

Au terme de ces quelques mots, il n'est pas possible de fournir des éléments définitifs mettant en évidence les contributions positives d'un poste de coordonnateur logistique central dans un service de chirurgie. De plus, il paraît possible de modérer le propos en rapportant le fait que le poste est considéré comme trop coûteux par la direction du CHSN. Cependant, le faisceau d'indices concluant à une contribution non négligeable de ce type de poste semble assez important pour émettre l'hypothèse qu'une centralisation logistique conduit à un accroissement important de la performance, tant financière que médicale, dans la prise en charge des patients. Cette conclusion est renforcée par le fait que le coût des matériels perdus ou cassés a été réduit de 178 000€ au CHSN depuis l'arrivée d'un coordonnateur logistique et que sur l'année 2018 aucune intervention n'a dû être annulée faute de matériels ou de moyens disponibles.

A travers les éléments présentés dans cette communication, nous faisons apparaître que la gestion logistique centralisée des flux permet également d'améliorer les conditions de travail des soignants et donc, par glissement, une meilleure prise en charge des patients. Dans cette perspective, une fonction logistique centrale dans un service hospitalier joue un double rôle d'optimisateur technique et de médiateur interpersonnel. Ces deux fonctions agissent, non pas indépendamment l'une de l'autre, mais réellement de concert, comme l'ont mis en lumière Hanset *et al.* [9] qui ont développés un modèle d'optimisation de planification allant jusqu'à prendre en considération les affinités personnelles dans les plannings d'interventions chirurgicales. Dans cette perspective, centraliser sa logistique apparait pour les services de soins comme une opportunité non négligeable d'accroissement de la qualité de soin tout en préservant les ressources économiques mobilisées.

Références

[1] Colin, J. (2005), *Le supply Chain Management existe-t-il réellement ?*, Revue Française de Gestion, Vol. 3, N°. 156, pp. 135-149.

[2] Discours de Madame la Ministre des Solidarités et de la Santé, consultables sur : https://solidarites-sante.gouv.fr/. Dernière consultation le 23/02/19.

[3] Sampieri-Teissier, N. (2002), *Proposition d'une typologie des pratiques logistiques des hôpitaux publics français - Enseignements à partir d'une etude empirique*, Logistique & Management, Vol. 10, N°. 1, pp. 85-95 .

[4] Beaulieu, M. et Landry, S. (2002), *Comment gérer la logistique hospitalière? Deux pays, deux réalités*, Gestion, Vol. 27, N°. 3, pp. 91-98.

[5] Fénies, P., Gourgand, M., & Tchernev, N. (2004), *Une contribution à la mesure de la performance de la Supply chain hospitalière : l'exemple du processus opératoire*, Actes de la 2econférence francophone en Gestion et Ingénierie de Systèmes Hospitaliers (GISEH), Mons, Belgique.

[6] André, V. (2011), *Problème de livraison - collecte dans un environnement hospitalier : méthodes d'optimisation, modèle de simulation et couplages*, Thèse de Doctorat en Sciences pour l'Ingénieur, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, Décembre.

[7] Sampieri-Teissier, N. et Livolsi, L. (2018), *Du Directeur Logistique au Directeur des Opérations hospitalier, simple changement de nom ou signal d'une (r)évolution en marche ?*, Actes des Rencontres Internationales de la Recherche en Logistique et Supply Chain Management (RIRL18), Paris.

[8] Fabbe-Costes, N. (1997), *L'intervention de la logistique dans la formulation / mise en acte de la stratégie en milieu complexe*» *in* Avenier M.J. La stratégie « chemin faisant », Economica, Paris.

[9] Hanset, A., Meskens, N., Roux, O. et Duvivier, D. (2011), *Conception d'un modèle modulaire d'ordonnancement du bloc opératoire avec prise en compte des contraintes liées aux ressources humaines et matérielles*, Logistique & Management, Vol. 19, N°2, pp 29-42.

Les jeunes travailleurs et les formations par alternance

Nathalie DEDESSUS-LE-MOUSTIER
Université de Bretagne Sud, Lab-LEX (EA7480)
IUT de Lorient / Département HSE

THEMATIQUE : Droit – section n°01

RESUME :

Le droit du travail accorde une attention particulière aux jeunes, en raison de leur vulnérabilité physique, mentale ainsi qu'économique, en vue de compenser ces fragilités et de faciliter leur intégration dans le monde du travail. Dans cette perspective, les règles ont deux finalités, de protection de la santé et d'insertion professionnelle du jeune, s'inscrivant dans un dessein global d'accompagnement vers le statut de salarié adulte. Les formations par alternance peuvent permettre d'aider le jeune travailleur à conquérir progressivement son autonomie et à le responsabiliser. Elles se réalisent dans le cadre de contrats de travail de type particulier, comme le contrat d'apprentissage ou de professionnalisation. L'analyse des dispositions d'origines légale, réglementaire et conventionnelle ainsi que de la jurisprudence vise à comprendre quel rôle le droit du travail accorde aux formations en alternance dans le processus d'intégration du jeune dans le monde du travail.

Mots-clés : jeunes – formations en alternance - apprentissage – santé au travail – insertion professionnelle.

1. INTRODUCTION

Cette contribution s'inscrit dans une recherche plus large menée dans le cadre du projet "Jeunesse et droit "(JEUVUL) conduite par des chercheurs du Lab-LEX. Ce projet questionne l'existence, le sens et l'utilisation de la notion de jeunesse par les différentes branches du droit et les confronte à d'autres disciplines comme la sociologie ou la gestion. La contribution, objet de cette soumission au CRNIUT, s'intéresse au jeune travailleur. Historiquement, le droit du travail est né de la réglementation du travail des enfants. La définition de règles relatives aux jeunes travailleurs est fondée sur le postulat de leur vulnérabilité et de leur moindre capacité au travail. Cette fragilité est confirmée par des données récentes. Ainsi, les statistiques révèlent que les 18-24 ans sont davantage susceptibles d'être victimes d'un accident du travail que des salariés adultes. Les chiffres confirment également qu'il y a un réel problème de l'accès à l'emploi des jeunes et donc du chômage de cette catégorie de salariés. Elle justifie des mesures particulières d'accompagnement dans le travail. Les formations en alternance qui associent période en centre de formation et période en entreprise peuvent contribuer à cet objectif. Cependant, l'adoption de mesures spécifiques tenant compte de la vulnérabilité des jeunes et dérogatoires au droit commun du travail pose un certain nombre de difficultés également examinées par cette étude.

2. ROLE DES FORMATIONS EN ALTERNANCE DANS L'ACCOMPAGNEMENT DU JEUNE TRAVAILLEUR

La nécessité d'accompagner les jeunes travailleurs en raison de leur vulnérabilité conduit à se pencher sur le rôle des formations en alternance pour l'accompagnement des jeunes travailleurs. Les formations en alternance associent des enseignements dans des organismes de formation, à l'acquisition d'un savoir-faire par l'exercice en entreprise d'une activité professionnelle en relation avec la qualification recherchée. Les contrats de travail de type particulier qui en découlent n'ont pas tant pour objet la fourniture d'un travail que la contribution à la formation du jeune. Dans le cas de l'apprentissage, l'employeur est tenu d'assurer la formation pratique de l'apprenti en lui confiant des tâches ou en le plaçant à des postes permettant l'exécution de travaux conformes à la progression pédagogique. Il est à noter que le développement des formules d'alternance est le signe d'une porosité entre les temps et lieux d'apprentissage. En droit du travail, l'entreprise est désormais considérée comme un lieu de formation à part entière. L'expérience du travail participe à la formation, tandis qu'à l'inverse un droit à la formation s'est affirmé dans l'exécution même du contrat de travail.

L'accompagnement du jeune travailleur en formation se traduit par la présence à ses côtés d'un salarié expérimenté, chargé de le conseiller dans son parcours d'intégration, le tuteur ou le maître d'apprentissage. Le maître d'apprentissage est la personne « directement responsable de la formation de l'apprenti » dont la fonction est de faciliter le passage vers le statut de salarié adulte. Depuis les années 1980, l'accompagnement par un tuteur, en raison de son efficacité, n'est plus réservé à l'apprentissage et est devenu un instrument au service des politiques de l'emploi, tant dans le cadre des contrats de formation que d'insertion, et pas seulement au bénéfice des jeunes travailleurs.

S'agissant des travailleurs mineurs, considérés comme les plus fragiles, l'accompagnement prend en outre la forme d'une adaptation des règles normalement applicables. Accompagner, c'est aussi permettre au jeune d'aller à son rythme, de mener un travail à sa mesure, à sa portée. Ces aménagements concernent principalement la question des conditions de travail et par conséquent celle de la santé au travail. Ainsi, les mineurs ne peuvent pas être employés à un travail effectif excédant 8 heures par jour et 35 heures par semaine, contre des maximales de 10 heures par jour et de 48 heures par semaine pour les autres salariés. Quant au travail de nuit, il est interdit entre 20h et 6h pour les jeunes de moins de 16 ans, et entre 22h et 6h pour les 16-18 ans.

3. Limites des dispositifs d'accompagnement des jeunes travailleurs

Si la nécessité d'accompagner les jeunes travailleurs en raison de leur fragilité est peu discutée, les choix qui sont faits par les pouvoirs publics depuis de nombreuses années en lien avec l'objectif d'accompagnement suscitent plus de critiques. La première critique formulée à l'encontre des décisions en matière d'accompagnement est très générale. Elle vise le manque de stabilité des dispositifs liés à l'insertion professionnelle. Il en est ainsi en matière de définition des seuils d'âge. Le jeune travailleur est généralement âgé de 16 à 25 ans. Les seuils haut et bas sont parfois repoussés. L'élargissement du seuil peut être lié à un cumul de fragilités comme le handicap. Les autres raisons qui justifient ce choix sont plus discutables. Certains dispositifs ayant fait la preuve de leur efficacité pour la catégorie de jeunes travailleurs, les pouvoirs publics décident d'en faire bénéficier d'autres catégories de salariés par l'élargissement des seuils d'âge, comme en matière d'apprentissage.

Un autre reproche adressé aux dispositifs d'accompagnement du jeune travailleur est lié au fait qu'il est réservé à une catégorie de salariés fragiles. Or, il apparaît que, fréquemment, les bénéfices qu'une catégorie vulnérable tire d'un dispositif se réalisent au détriment d'autres catégories de travailleurs fragiles non concernés. Cet effet négatif est particulièrement vérifiable en ce qui concerne les aides publiques à l'embauche. En général, il l'est moins en ce qui concerne les formations en alternance. Par exemple, lorsque la formation des jeunes s'accompagnement de mesures de transmissions des savoirs par les salariés âgés, autre catégorie de travailleurs dite fragile.

Enfin, une limite s'attache aux conséquences de l'adoption de dispositions spécifiques applicables aux jeunes travailleurs. Le cas des règles relatives aux contrats de travail en alternance illustre l'idée d'une adaptation nécessaire du droit, au nom des politiques de l'emploi, afin d'assurer l'objectif d'accompagnement. Si la formation est de l'essence du contrat et justifie à elle seule les dérogations qui y sont apportées, il est permis de s'interroger sur le raisonnement selon lequel les politiques d'emploi en faveur des jeunes devraient systématiquement impliquer des réductions des droits de ces jeunes travailleurs. Des atteintes sont ainsi portés aux principes d'égalité et de non-discrimination, privant les jeunes de certains droits accordés aux autres salariés. La jurisprudence, française ou européenne, admet en général la justification de différences de traitement fondées sur l'âge au nom de la politique de l'emploi. Encore faut-il se demander si ces dispositifs sont efficaces.

4. Conclusion

Il apparaît que, malgré certaines difficultés et critiques les formations en alternance constituent le moyen le plus efficace pour qu'un jeune, salarié en devenir, soit réellement accompagné vers le statut de salarié adulte et s'intègre avec succès sur le marché de l'emploi. La réforme en cours de l'alternance partageant ce constat vise à améliorer l'attractivité de l'ensemble du dispositif.

CNRIUT 2019

Fusion et regroupement de collectivités : retour d'expériences et analyse

Jérémy Aldrin

Maitre de conférences

Université de Lorraine

CEREFIGE (EA 3942)

F-57000 COSNES et ROMAIN FRANCE

jeremy.aldrin@univ-lorraine.fr

Denis Choffel

Maître de Conférences

Université de Lorraine

CEREFIGE (EA 3942)

F-54400 COSNES et ROMAIN FRANCE

denis.choffel@univ-lorraine.fr

La notion de performance dans les organisations publiques (Hood, 1995 ; Bouckaert et Pollitt, 2004) est devenue centrale malgré des appréciations encore différentes sur l'émergence et la diffusion d'une réelle culture du résultat dans les administrations publiques (Gibert, 2000 ; Chatelain 1998 ; Busson-Villa 1999 ; Maurel 2006).

S'agissant des collectivités territoriales, les récentes évolutions législatives à travers la loi NOTRe[1] et loi MAPTAM[2] ainsi que les baisses de dotations de l'Etat envers les collectivités placent ces dernières devant la nécessité de repenser totalement leur modèle de gestion et de faire apparaître une démarche globale de la performance.

Pour autant, le constat fait jusqu'à ce jour sur la fonction de contrôleur de gestion territorial est que son rôle n'est pas tant de contrôler la gestion des collectivités mais d'inciter les responsables opérationnels à le faire (Löning et al., 1998 ; Bollecker, 2001). Ce que Guenon (2009), à travers l'exemple d'une intercommunalité, résume ainsi : « *la logique globale de performance (…) vise à limiter l'accroissement des dépenses plus qu'à les réduire* ».

La réduction des dépenses et l'optimisation de leur gestion apparaissent malgré tout indispensables pour les collectivités locales soumises ces dernières années à une baisse de leurs dotations.

Que ce soient les dispositifs législatifs de 2010 sur la réforme des collectivités territoriales ou les lois Maptam[3] (2014) ou Notre (2015)[4], tous ont en commun la volonté de renforcer les compétences des intercommunalités, d'affirmer leur prééminence dans l'organisation territoriale française et de refondre leurs périmètres pour apporter plus de rationalité. Dès lors, l'application de ces nouvelles règles se traduisit par de nombreux regroupements ou fusions d'intercommunalités.

Parallèlement, dans un contexte de réduction des moyens budgétaires pour les collectivités territoriales, le législateur français a fortement inciter ces dernières années les communes à se

[1] Loi portant sur la Nouvelle Organisation territoriale de la République

[2] Loi du 27 janvier 2014 de Modernisation de l'Action Publique Territoriale et d'Affirmation des Métropoles.

[3] Loi du 27 janvier 2014 de Modernisation de l'Action Publique Territoriale et d'Affirmation des Métropoles.

[4] Projet de loi portant sur la Nouvelle Organisation territoriale de la République

regrouper[5] pour mutualiser leurs moyens et continuer à proposer une qualité de services à leurs administrés. De nombreuses communes ont ainsi fait le choix délibéré de se regrouper dans des ensembles plus importants. Près de 620 fusions de communes ont été actées en France, engageant un mouvement important de mutation territoriale.

Nous positionnons notre recherche dans le courant constructiviste. Les données que nous avons recueillies proviennent des deux composantes du bloc communal: la commune et l'intercommunalité. Dans les deux cas, grâce à une convention de recherche, nous avons pu être associés aux démarches de fusions dans chacune des collectivités en participant notamment aux comités de pilotage en amont de ces fusions. Par ailleurs, nous avons réalisé sur ces deux terrains divers entretiens qui nous ont permis d'accéder aux discours et aux positionnements des différents acteurs de ces deux organisations. Lors de notre immersion au sein de ces collectivités, nous avons placé au cœur de notre travail l'analyse de du processus de fusion et la problématique de la performance dans ces organisations remodelées.

S'agissant de la commune, notre étude porte sur la création d'une commune nouvelle suite au regroupement de trois villes de taille réduite.

Au niveau de l'intercommunalité, l'étude porte sur l'analyse de l'intégration de plusieurs communes au sein d'une intercommunalité dont le périmètre a été élargi.

Nos différents entretiens ont pu être complétés par divers documents collectés permettant de mieux comprendre le fonctionnement de ces organisations (organigramme, documents budgétaires, plaquettes d'informations,…)

Les résultats obtenus sur ces deux terrains ont fait apparaitre de fortes similitudes. Nous avons donc souhaité les formaliser en reprenant nos données de terrain puis en les confrontant pour pouvoir ensuite apporter des éléments de réflexion à notre problématique générale de recherche. Ce qui renvoie aux études de types exploratoires et descriptives selon Martinet (1990).

[5] Loi Notre de 2015

Bibliographie indicative de la communication

Bollecker M., (2001), « Systèmes d'information différencies et contrôle des services opérationnels : une analyse empirique des mécanismes organisationnels de contrôle ».

Bouckaert G. et Pollitt C. (2004), «Evaluating public management reforms: a comparative analysis », ed. Oxford: Oxford University Press.

Busson-Villa F. (1999), « L'émergence d'une logique évaluative dans la gestion publique : le cas des organisations communales », Finance Contrôle Stratégie – Volume 2, N° 1, p. 5 - 25.

Carassus, D. et Favoreu, C. (2005), « De la performance nationale à la performance locale : étude de l'application de la LOLF aux collectivités locales », communication au Wokshop du RECEMAP : La performance publique locale : composants et mesures, 14 décembre, Paris.

Carassus D. (2003), « Les contrôles externes légaux des collectivités locales : les voies d'évolution », Revue Française de Comptabilité.

Emery Y. (2005), « La gestion par les résultats dans les organisations publiques ; de l'idée aux défis de la réalisation », Télescope.

Guenoun M., (2009), « Le management de la performance publique locale. Etude de l'utilisation des outils de gestion dans deux organisations intercommunales », Thèse de Doctorat, Université Paul Cézanne-Aix-Marseille III.

Gueranger, D. (2004), « L'impensé de la réforme intercommunale. La mise en place des administrations des communautés d'agglomération », Revue Française d'Administration Publique, n°111, pp. 461-472.

Hood C. (1995), « The 'New Public Management' in the 1980s: Variations on a Theme », *Accounting Organizations and Society,* vol. 20.

Löning H., Pesqueux Y. et coll. (1998), *Le contrôle de gestion,* Dunod.

Maurel C. (2003), « Approches et perceptions du contrôle de gestion dans les conseils généraux », Thèse de Doctorat en Sciences de Gestion, Université de Rennes 1.

Maurel C. (2006), « Etude d'un changement organisationnel dans de grandes collectivités territoriales : l'évolution de la fonction contrôle de gestion », Finance Contrôle Stratégie – Volume 9, n° 3, p. 105 – 134.

Mazouz B. et J. Leclerc (2008). « La gestion intégrée par résultats », Sainte-Foy, Presses de l'Université du Québec.

Meyssonnier F. (1996), « Nature et outils du management public », in « Le Maire-Entrepreneur ? », Publié à l'occasion des premières rencontres « Ville-Management » à Biarritz, sous la direction de Jean-Jacques RIGAL et Robert LE DUFF, Presses Universitaires de Pau.

Pallez F., Fixari D., Delannoy, J. (2004), « L'intercommunalité : une réforme qui cherche ses objectifs », Politiques et Management Public, Vol. 22, pp. 75-94.

Turc E. et Guenoun M. (2009), « Gestion intercommunale des services publics locaux : indicateurs de performance, outils de pilotage et émergence des comparaisons intercommunales », Revue gestion et management publics.

Travail sous commande numérique et aliénation dans le processus d'industrialisation logistique : la préparation des expéditions sous commande vocale

Alain Arnaud, Aix Marseille Univ, CRET-LOG, Aix-en-Provence, France, IUT Aix-Marseille Université

THEMATIQUE : Economie-Gestion-Droit

Résumé

Le thème de mon intervention porte sur l'évolution des conditions de travail au sein des entrepôts et sur les effets aliénants, l'impact sur la santé et l'équilibre des personnels que recèle le modèle de préparation des expéditions sous commandes vocales. Plutôt que de considérer le problème comme simple dérive du productivisme managérial ou de l'aliénation technicienne, nous souhaitons le resituer vis-à-vis de deux logiques qui s'épaulent. L'une concerne la montée en puissance partout du « paradigme de la chaîne de valeur en flux tirés » qui est beaucoup plus qu'une simple organisation productive ou commerciale. Dans ce modèle en effet, les formes disciplinaires de flexibilité et de mobilisation du travail (légitimées naguère de manière interne à l'entreprise dans le rapport capital/travail) sont objectivées et banalisées par l'intégration de l'activité dans un réseau, par l'extériorité des exigences clients en matière de délai et d'adaptation. La pression s'exerce alors sur les éléments les plus tendus du dispositif et donc sur les activités opérationnelles dont les acteurs ne semblent plus en mesure de maîtriser les conditions. Le deuxième processus s'inscrit dans celui plus global d'une soumission des activités d'un service -la logistique- à la logique d'un modèle industrialiste et capitalistique de plus en plus connecté. Celui-ci ne pouvait qu'aboutir à la rationalisation particulière (fonctionnelle et sociale) d'un procès de travail industriel et usinier (OST, automatisation, aliénation, dépossession des savoir-faire et des autonomies) « qui fait de l'ouvrier, selon Marx, cet ouvrier estropié et parcellaire » et, du manutentionnaire sous guidage informatique vocal, un appendice hétéronome de « l'intelligence » machine.

Mots-clés : Logistique, économie du travail, économie industrielle, chaine de valeur

Le secteur logistique est devenu de nos jours un secteur économique puissant et créateur d'emplois ouvriers (plus de 800 000 emplois). Dans les entrepôts et plateformes qui nous intéressent ici, la majeure partie des salariés (70 %) sont des préparateurs de commandes. Le travail de ces manutentionnaires consiste à constituer une unité d'expédition (en général une palette) à partir d'une liste de produits à prélever sur des adresses d'emplacements de stock au fil d'un circuit de préparation. Au terme de cette activité, la palette est recouverte d'un film plastique, étiquetée et mise à quai pour expédition. C'est un travail manuel pénible, répétitif et très exposé aux troubles musculosquelettiques et aux accidents professionnels.

En une quinzaine d'année une innovation technologique, la commande vocale, a modifié un peu partout le quotidien du préparateur et son mode d'organisation du travail. Traditionnellement le préparateur organisait son circuit de manière relativement autonome à partir d'une liste papier ou d'un écran sur terminal portatif. Dans le nouveau système de guidage, l'opérateur, équipé d'un casque, d'un micro et d'un système de communication wi-fi, dialogue avec un serveur qui indique les lots à prélever et leurs adresses tout au long de sa préparation. La machine surveille aussi les choix que le préparateur valide par des réponses standards notamment sur les codes détrompeurs des produits. Le but recherché à l'origine est en effet l'élimination des erreurs en préparations, sources de manquants, de ruptures en magasins et de coûteux retours de lots vers l'entrepôt. Du point de vue des objectifs de ses initiateurs, l'adoption de « la vocale » fut un succès : elle divise par 8 les erreurs, produit une meilleure ergonomie par effet « mains libres » et « vue libre » et accroit la productivité (10 à 15 %). Elle concerne aujourd'hui 90 % des préparations de la grande distribution.

Envisagé du point de vue du bien-être au travail, son bilan social est cependant plus sombre. En recentrant l'activité sur un nombre réduit de gestes répétitifs elle intensifie le travail et ses risques associés. Elle inverse également le rapport homme/machine. D'une situation où la machine représentait un organe exosomatique prolongeant la décision cérébrale du travailleur on passe à une situation où le travailleur lui-même ne vaut que par ses aptitudes somatiques, où le corps n'est plus qu'un appendice en quelque sorte « exomachinique » soumis à

une intelligence artificielle. Il s'ensuit un processus d'aliénation potentiellement pathogène mais dont la résolution locale n'est pas simple tant elle implique une compréhension systémique des foyers d'aliénation présents dans les nouveaux modèles logistiques.

Intensification et souffrance des corps

Diverses recherches analysent depuis une dizaine d'années les implications particulières du guidage vocal sur les conditions de travail. Les unes concernent les approches sur la santé, la sécurité et le bien-être au travail (Govaere V. 2009, Davezies P. 2008, 2016) les autres relèvent de la sociologie du travail (Gaborieau D., 2012). Selon ces études :

- Le guidage vocal accroît la pénibilité physique de la préparation : il élève le nombre de prises et donc le tonnage journalier transporté par l'opérateur (qui peut approcher les 8 tonnes par jour !). L'enchainement implacable des injonctions vocales crée un stress accélérateur et productiviste souvent constaté. Pour V. Goavaere, il y a « amélioration des gestes et postures des préparateurs » mais accentuation des « contraintes physiques en termes de rythme, de cadence et de poids global soulevé dans une journée de travail »

- Le guidage vocal accentue les risques de troubles de santé : en dépit d'une ergonomie meilleure, le guidage vocal « ne montre pas d'amélioration en termes de survenue de lombalgie ou de lumbago » (V Govaere, P. 10). L'effet main libre a été largement annulé par l'effet rebond de « l'accroissement de la part de manutention dans l'activité et le nombre de colis manipulés par heure » (P Davezies, 2016, p. 29). Il en résulte des troubles très divers : lombalgie, arthroses précoces, pathologies du bras et de la main. De 2007 à 2011, la Carsat Sud-est (2014, p.5) constatait un doublement des maladies professionnelles en logistique. Les plus fréquentes sont les TMS (Troubles musculo-squelettiques) liés aux charges et à l'intensification. Elles font grimper les licenciements pour inaptitudes qui, selon Gaborieau, sont anormalement élevés dans ces métiers. Pour Garrigou (2017) cette intensification et ses conséquences TMS durables agissent alors comme une redoutable « machine à produire des chômeurs de longue durée ». Davezies souligne d'autres types de troubles de santé liés à la commande vocale : risques cardio-vasculaires de l'intensification aggravés par des pratiques tayloriennes (Karasek R. ; Theorell T. 1990) et risques auditifs avérés avec des niveaux sonores du casque trop poussés (N. Trompette, 2018, p. 79).

- La vocale affecte la sécurité : l'univers d'un entrepôt est dangereux et la logistique frôle les tristes records du BTP en matière d'accident du travail avec arrêt (8,28 % selon la CARSAT Rhône Alpes, 8,53% selon la CARSAT Sud-Est). L'exigence de vigilance cadre mal avec l'effet constaté d'enfermement de l'attention dans la bulle de concentration du casque audio. Or, ces facteurs de risques accidentogènes s'aggravent si on considère que 34% des instructions interviennent lors des temps de conduite des charriots (une pratique pourtant interdite aux automobilistes pour ces mêmes raisons).

Un foyer de risques psychosociaux

Ces risques se manifestent lorsque des éléments de son environnement de travail portent atteinte à l'intégrité physique ou à l'équilibre mental du salarié. Il n'est sans doute pas anodin de répondre plusieurs milliers de fois par jour « ok » ou « répétez » à une machine. Les salariés constatent que ce type de locution ressurgit comme un tic de langage dans une communication avec des proches et parfois hantent le sommeil. De même la communication conviviale entre collègues de travail est gênée et réduite par le micro ou par le casque et les rappels de la machine. La plupart des enquêtes font état de troubles psychiques constatés quelques mois après l'intervention de la commande vocale. Ils sont liés à la dépendance à la machine et la déshumanisation du travail, aux pertes de repères à l'effort, à la réduction des relations et des communications de travail, à l'appauvrissement des tâches. Ils se manifestent par un sentiment de robotisation de soi, une dévalorisation de son activité, une saturation et des prolongements de troubles dans la vie extra-professionnelle (difficultés de récupération, troubles du sommeil, irritabilité) (V. Govaere, 2009, Davezies, 2016). Les conclusions de l'INRS sont inquiétantes : « En contribuant à l'intensification du travail et à la réduction des marges de manœuvre dont disposent les opérateurs, le développement du guidage vocal peut favoriser le développement de risques d'atteinte à la santé psychique » (INRS, 2017).

Sous la pression des représentants du personnel (syndicats, CHSCT) et des alertes lancées par les organismes de prévention et de santé au travail (INRS, CARSAT, etc.) un nouvel état d'esprit préventif anime les directions et leurs clients notamment sur la réputation accidentogène du secteur. Dans ce milieu opérationnel, où une bonne partie du management se fait à proximité des opérateurs, tout accident ou affection en plus du drame humain immédiat, a un impact sur le climat humain et social, sur les difficultés de mobilisation des équipes et également sur les coûts. Des préconisations de bonnes pratiques de prévention ont été proposées et souvent mises en œuvre (filmeuse automatique, chariots ergonomiques, rehausses pour mise à niveau, dépileur de palettes, etc.). En général, il s'agit d'améliorer l'ergonomie par la technologie sans remettre en question le procès de travail lui-même dont les performances recueillent la satisfaction du client. L'accent est mis sur la prévention des accidents et des TMS sans réelle prise en compte des risques psycho-sociaux et de leur traçabilité perdue dans le turn-over et l'intérim.

Or, de nouvelles approches critiques éclairent par la sociologie du travail le développement de ce type de risques. Elles sont surtout représentées par les travaux importants de D. Gaborieau consacrés aux salariés des entrepôts. La démarche s'appuie sur des méthodologies d'enquêtes, de recueil des paroles des acteurs salariés voire des témoignages relevant d'observations participantes (Gaborieau D., Malet J. C). Elle concerne l'analyse sociologique des préparateurs et les modalités de consentement à un processus de travail passablement

déshumanisé mais aussi les formes paradoxales de résistance des acteurs dans des stratégies où ils sollicitent dangereusement leurs corps comme ressource et comme rempart à la perte de sens du travail.

L'entrée dans les métiers pénibles et peu valorisés de la préparation se fait souvent faute de mieux, par des itinéraires personnels souvent chargés, marqués par des origines modestes et par l'échec scolaire. Dans un contexte de faible employabilité, et de salaire de base proche du SMIC la dépendance à la prime (qui peut atteindre 30 % de la rémunération) est un élément qui joue nettement sur le consentement à la commande vocale et sur sa pérennité actuelle.

Cependant, le prix payé par les préparateurs dans le passage à la nouvelle organisation est considérable. Il se manifeste d'abord par une réduction d'autonomie et une difficulté subjective à tirer fierté et reconnaissance de son travail au sein du collectif. Gaborieau rappelle de quelle manière dans l'ancien système de préparation, les salariés récupéraient quelques marges d'autonomie disponibles (choix du circuit, économie de geste, expérience et virtuosité) pour se construire des savoir-faire et des valeurs identitaires de métiers qui s'exprimaient dans « la belle palette », construite intelligemment, qui ne s'écrasait pas et facilitait les transferts vers l'expédition. Frustrés de cette construction de sens par le guidage vocal, les préparateurs développent alors diverses stratégies de contournements pour reconstruire des expressions de savoir-faire personnels. L'une d'entre elles est l'autoaccélération, elle est assez proche du principe « d'acharnement » que la théorie du faire face met en évidence lorsque le stress au travail est intense (Coté L. 2014). Les préparateurs semblent réinventer des formes décisionnelles d'autonomie pour échapper au sentiment d'assujettissement et se projeter en avant. Ils poussent alors à fond la vitesse d'élocution de l'ordinateur dans une course où ils se mesurent dangereusement avec la machine bien au-delà des seuils de productivité demandés pour la prime. Cette auto-accélération choisie et non plus subie (souvent contenue par les directions pour leurs risques d'accident), est une forme d'aliénation productiviste maintes fois notée. Elle conduit à une « défense par identification, à la fuite en avant et au déni » (E. Renault, 2006, p. 104). Parfois, les préparateurs recherchent par évitement des consignes à requalifier leur tâche et restaurer l'anticipation cérébrale refusée par la vocale. Ils apprennent par cœur les codes détrompeurs et affirment leurs capacités personnelles à maîtriser des compétences anticipatives. Peine perdue : les directions s'inquiètent des taux d'erreurs possibles préjudiciables à la qualité et changent régulièrement les codes.

Une nouvelle aliénation

Ces diverses manifestations trahissent indiscutablement un sentiment de perte de maîtrise et de perte de sens d'une réalisation dans le travail. Cette idée d'une dépossession dans le travail et par le travail, combinée au sentiment d'altérité malheureuse du sujet lui-même évoque ce que le jeune Marx (1844) et d'autres après lui (Gorz, 1973) ont désigné sous le concept d'aliénation. La problématique de l'aliénation du travailleur fait référence à une double réalité : celle d'abord « de la perte ou du devenir étranger de quelque chose d'essentiel » (Haber S., 2015, p.2) à son autonomie créative. Mais l'aliénation est effective lorsque ce qui est séparé, semble accéder à une logique propre pour se retourner contre le travailleur dans une forme d'empêchement de son essence productive et aussi de la construction de soi. Il en résulte une subjectivité diminuée. La problématique de l'aliénation ne s'impose pas seulement aux travailleurs de base soumis aux rapports de production mais à ceux qui les encadrent également. Elle peut alors troubler la cohérence de lecture du sens même de l'activité. La qualité de l'activité, par exemple, pour le préparateur c'est d'abord la belle palette, ce qui exige une certaine autonomie dans l'anticipation, tandis que pour la direction c'est le taux d'erreur par palette, ce qui suppose une certaine réduction de l'autonomie par contrôle permanent. Avec la vocale, les jeux de contournements des uns sont donc systématiquement contrés comme menaçant pour les objectifs des autres. Plus généralement, J. P. Durand (2006, p. 107) pense qu'en dépit des débats qu'il inspire encore, l'aliénation est le concept à réhabiliter si l'on veut rendre compte de l'enfermement des salariés (cadres compris) dans leur activité de travail, au sein du modèle productif après fordien de la « chaîne invisible ».

Les origines et les manifestations de cette nouvelle aliénation potentiellement pathogène doivent être resituées dans une vision plus large qui intègre les processus en cause et la position du travailleur et de son organisation dans ce processus (Govaere, V., Wioland L. 2018). Concernant l'activité du préparateur divers foyers de pression semblent se conjuguer.

L'un concerne **l'inversion des flux logistiques**. Du flux poussé, caractéristique de l'univers fordiste où l'amont décide de la quantité produite que la force de vente devra écouler, la chaîne de valeur est passée aux flux tirés par l'aval où ce qui est produit (ou approvisionné) est prévalidé par une demande manifeste. Or, la montée en puissance partout, notamment dans les services et la grande distribution, du paradigme de la chaîne en flux tirés représente bien plus qu'une simple stratégie d'approvisionnement (Durand J. P., 2004). Dans ce modèle, en effet, les formes d'intériorisations disciplinaires de flexibilité et d'implication intensive au travail (obtenues naguère par un rapport salarial et managérial interne à l'entreprise) sont banalisées et légitimées par l'intégration de l'activité dans un réseau, par l'extériorité des exigences clients en matière de délai et d'adaptation. La fragilité intrinsèque du flux tirés (la réduction des stocks) confère paradoxalement toute sa puissance au modèle d'implication puisqu'elle impose fonctionnellement une maîtrise et une surveillance de tous les acteurs en tout instant. Un double foyer d'aliénation productive se manifeste alors verticalement (injonction managériale) et horizontalement (injonction du flux et du client) sur les éléments les plus tendus du dispositif et donc sur les activités opérationnelles dont les acteurs ne

semblent plus en mesure de maîtriser localement les conditions.

Un autre processus d'aliénation s'inscrit dans **la soumission d'une activité de services -la logistique- à la logique d'un modèle industrialiste et capitalistique de plus en plus connecté**. L'externalisation des activités logistiques et la recherche de diversifications des services par des transporteurs soumis aux déréglementations a fait naître un puissant secteur de prestation marqué par la course à la taille. Désormais au cœur des nouvelles combinatoires productives, le secteur logistique a été sommé par ses grands donneurs d'ordre de se professionnaliser tout en changeant de taille, de périmètre et de technicité. Le procès de travail traditionnel a donc été profondément remanié dans un sens plus industriel et usinier. Cela aboutit à la division et la rationalisation des tâches sous les méthodes et les standards classiques du taylorisme mais aussi de ceux du lean management pour en garantir une régularité de qualité et des améliorations continues. Le processus d'aliénation s'accomplit alors sous les formes classiques de la réorganisation du travail à travers la perte d'autonomie sur les process et les méthodes, la dépossession des savoir-faire et la dévalorisation des tâches opérationnelles. Parallèlement la logistique a constitué un terrain privilégié et souvent pionnier d'introduction des potentialités promises par les NTIC : EDI, traçabilité (lecture optique, RFID, GPS), progiciels de gestion d'entrepôts ou d'optimisation de transport. La principale raison est que l'optimisation, la coordination et la synchronisation des chaînes de plus en plus complexes en entreprise étendue requiert l'usage optimal des flux et des systèmes d'information. La seconde raison obéit à une logique du contrôle. La puissance des algorithmes aidant, il devient possible pour le processus d'être partiellement régulé et assisté par des automatismes issus des systèmes d'information. Cela suppose en particulier un mode de connexion directe de l'intelligence machine au pilotage et à la surveillance des activités élémentaires de l'opérateur. Aujourd'hui, avec la commande vocale où le salarié ne fait que suivre pas à pas les indications de la machine, l'injonction de la « chaine invisible » s'immisce au creux de l'oreille du préparateur, achevant une désappropriation du sens de son travail à des niveaux inédits d'aliénation de ses dispositions cérébrales.

Cependant, si ces divers foyers d'aliénation se sont banalisés tout au long des chaînes d'approvisionnements cela ne signifie pas que leur intensité soit également répartie sur les différents acteurs et les différents segments. La robustesse d'une chaîne se mesurant à la résistance de son maillon le plus faible, elle dépend de celui qui dans le procès de travail est le plus soumis à la rupture. De ce point de vue, la position et l'activité de l'entrepôt dans les schémas d'approvisionnement est aussi des plus risquées. La disparition des réserves en magasins dans la grande distribution et les stratégies complexes de flux tendus et d'optimisation des stocks ont conduit l'entrepôt à jouer des rôles multiples et parfois contradictoires : relais de dégroupage et de regroupage des flux, zone de stockage proactive des opérations promotionnelles, base tampon adaptative pour prévenir les ruptures en amont et en aval, zone de transit pour préparations alloties, espace de gestion flexible des flux en multicanal ou en multi-clients…

L'entrepôt condense ainsi toutes les tensions : celles de l'incertitude sur la charge quotidienne, sur l'horizon temporel d'activité (contrat de prestations court), sur la pérennité de l'emploi (CDD, intérim), celles des pressions du cadencement, de la réactivité exigée, de la flexibilité, de la surveillance (cameras, contrôle de sécurité) du contrôle des performances (avec souvent la présence sur site du client) et aussi celles des risques de ruptures, de retards et d'accidents (croisements de flux et d'engins dangereux, de personnels inégalement formés issus d'entreprises différentes). Cette combinaison de stress et de contraintes fait naître alors pour les salariés de base comme pour les middle managers des charges mentales et des aliénations d'une autre nature issue cette fois d'une difficulté à saisir les hiérarchisations d'objectifs et à résoudre des injonctions paradoxales entre qualité de service et turn-over de l'intérim, entre régularité de maîtrise et rythmes fractionnés, entre respect de la sécurité et pression de la productivité.

Le recours aux contrôle permanent, au plus près des activités élémentaires du travailleur que symbolise la commande vocale apparaît ainsi comme une tentative de dépasser localement par la technologie les contradictions fonctionnelles et sociales du processus de la chaine et de la situation de l'entrepôt dans celles-ci. Mais elle ne fait que transférer sans l'abolir un contexte global aliénant vers de nouvelles formes d'aliénation et de troubles psychosociaux.

Sortir le travail vivant de ce contexte pathologique n'est pas facile tant l'aliénation du procès de travail fait système avec le cadre paradigmatique de l'ordre productif et consommatoire qui continue de le façonner. Mais cette rationalisation des tâches atteint désormais ses limites. La première limite est humaine et sociale, elle introduit un malaise au travail qui est manifeste et que la faiblesse des rémunérations ne peut compenser par une promesse consommatoire. La seconde est organisationnelle : les gains de productivité ne sont plus envisageables quand on a fini de traquer les infimes fractions encore disponibles des temps non générateurs de valeurs. Cela préfigure une crise du procès de travail dans certains segments d'activités logistiques dont l'automatisation complète pourrait être une issue probable.

Aujourd'hui des secteurs importants de la préparation de commandes connaissent cette évolution qui déplace passablement le problème du surtravail local vers les problèmes à venir du sous-emploi territorial là où la logistique a massivement mobilisé. Amazon souhaite ainsi dupliquer à Bretigny sur Orge le modèle déjà expérimenté d'un entrepôt très automatisé où les préparateurs sont postés et des norias de robots pilotés par un système d'information intelligent s'agitent autour d'eux pour stocker et rapprocher les points de picking et les points d'adressage pour l'expédition. La manutention restera

néanmoins de mise dans de vastes secteurs logistique. Mais plutôt que d'émanciper le travail et le corps des cadences et des contraintes, on leur prescrit déjà un encapsulage technologique qui ne trouble pas la productivité. Ainsi en différentes entreprises sont déjà expérimentées et partiellement déployées des solutions d'exosquelettes décupleurs de force pour le préparateur. Un homme « augmenté » en quelque sorte pour ses dimensions physiques économiquement exploitables mais aliéné sous un casque audio par une intelligence artificielle.

Bibliographie

CARSAT Sud_Est, (2014), **Prévention des TMS dans les plateformes logistiques**, https://www.carsat-sudest.fr/images/entreprise/pdf/DT_53_web.pdf

Côté L. (2014), « Affronter le stress au travail », **Sciences humaines, Les grands Dossiers**, n° 36, sept., oct., nov., 22-25

Davezies P. (2016), « Une palette de troubles de Santé », **Santé et Travail**, n° 94, Avril 2016, 29-31

Davezies P. (2008), **Enjeux de santé liés à l'utilisation de la commande vocale sur les plates-formes logistiques**, Institut Universitaire de Médecine et de Santé au Travail, Univ. C. Bernard, Lyon 1, 1-47

Durand J. P., « Les outils contemporains de l'aliénation au travail », **Actuel Marx**, 2006/1 n° 39, 107-122

Durand J. P. (2004**), La chaîne invisible, Travailler aujourd'hui : flux tendu et servitude volontaire**, Le Seuil, Paris.

Gaborieau D. (2012), « Le nez dans le micro », répercussions du travail sous commande vocale dans les entrepôts de la grande distribution alimentaire », **La nouvelle Revue du Travail**, n° 1, 1-16

Gaborieau D. (2016), « Les nouveaux ouvriers à la chaîne des entrepôts **», Santé et Travail**, n° 94, Avril, 26-28

Garrigou A. (2017), Interview dans l'émission D'Elise Lucet, « Travail ton univers impitoyable », **Cash Investigation**, 26 Sept 2017.

Gorz, A. (1973), **Critique de la division du travail**, Seuil, Paris.

Govaere, V. (2009), « La préparation de commandes en logistique. Mutations technologiques et évolution des risques professionnels », **Hygiène et sécurité du travail**, 1er T, 214. 3-13

Govaere, V., Wioland L. (2018), « Démarche de prévention pour les entreprises organisées e réseau : le cas du transport et de la logistique », **Références en santé au travail**, n° 155, Sept., 39-49

Haber S., (2015), « Philosophie, aliénation et néocapitalisme : entretien avec Stéphane Haber », http://**revueperiode.net**/philosophie-alienation-et-neocapitalisme-entretien-avec-stephane-haber/

INRS, 2017, « logistique : organiser le travail pour le rendre plus sûr » http://www.inrs.fr/metiers/logistique.html

Karasek, R., Theorell, T. (1990). **Healthy Work. Stress, productivity, and the reconstruction of workinglife**. Basic Books, Library of Congress, USA.

Malet J. B. (2013), **En Amazonie, infiltré dans « le meilleur des mondes »**, Paris Fayard, 2013.

Renault E, (2006), « Du fordisme au post fordisme : dépassement ou retour de l'aliénation ? », **Actuel Marx**, n° 39, 1.

Trompette N. (2018), « Systèmes de commande vocale (voice-picking) en logistique : évolution de l'exposition au bruit et solutions de prévention », **Hygiène et sécurité du travail**, n° 253, déc, 76-80

La nature des contrats liant les transports particuliers de personnes à leur clientèle

Stéphane CARRÉ
IUT de Saint-Nazaire, UMR CNRS 6297

Thèmes - *Droit - Transport*

Résumé - *La réglementation propre aux taxis et aux voitures de transport avec chauffeur souffre d'une ambiguïté. De longue date, exploitants de taxis et exploitants de voitures de remise sont présentés comme étant des loueurs de véhicules avec chauffeur. Mais en réalité, la nature du contrat conclu entre ces exploitants et leur clientèle semble bien être celle d'un contrat de transport, du moins dans la plupart des cas, y compris pour les actuels « voitures de transport avec chauffeur ».*

Mots-clés -*Taxi, Voiture de transport avec chauffeur, Profession, Contrat, Qualification*

1. INTRODUCTION

Les transports publics particuliers de personnes comprennent aujourd'hui les taxis, les moto-taxis et « *voitures de transport avec chauffeur* » (VTC). C'est au travers de l'ordonnance n° 2010-1307 du 28 octobre 2010 que cette catégorie juridique apparaît. Mais ces transports spécifiques comprenaient auparavant trois professions : les exploitants de taxi, les voituriers de petite remise et ceux de grande remise (voitures de luxe). Le décret n° 85-891 du 16 août 1985 relatif aux transports de personnes indiquait que ces catégories de transporteurs faisaient l'objet d'une réglementation spécifique. Mais l'existence respective des taxis et des voitures de remise est intimement liée car la place faite aux taxis sur la voirie a scellé le sort de ceux qui ne pouvaient être hélés par le piéton : à défaut de maraude, il n'y avait que l'alternative de la remise de la voiture au garage. Cette position est celle aujourd'hui des moto-taxis et des VTC.

L'activité de taxi implique donc le droit accordé au chauffeur de prendre spontanément en charge toute personne qui viendrait à le héler sur la voie publique, ce que la réglementation française appelle « *l'autorisation de stationnement* ». Mais ce monopole accordé aux taxis aboutit-il à faire de l'activité de VTC une entreprise de nature distincte de celle de taxi ? En effet, le droit de stationner sur la voirie accordé aux taxis n'interdit pas celui de contacter cet entrepreneur à son domicile ou par voie télématique, ainsi que cela devait se faire pour l'entrepreneur de remise ou aujourd'hui pour le voiturier de transport avec conducteur. Cependant, on pourrait penser que la prestation de service, et donc la nature du contrat, générée par l'une et l'autre des activités est fondamentalement différente, justifiant aussi la distinction entre les deux professions.

Le droit en matière de transport particulier de personnes est évasif concernant la nature des contrats passés entre les exploitants et leur clientèle. La réglementation pose des règles contradictoires (2.) et seule l'observation des faits permet en réalité de rétablir l'exacte qualification des contrats conclus entre ces voituriers et leurs passagers (3.).

2. UNE REGLEMENTATION CONTRADICTOIRE

Les exploitants de VTC sont ceux « *qui mettent à la disposition de leur clientèle une ou plusieurs voitures de transport avec chauffeur* » (C. transp., art. L. 3122-1). Nous serions donc en face d'un loueur de véhicule avec chauffeur. Malheureusement, cette position du législateur sur le métier d'exploitant de VTC ne peut définitivement pas préjuger de la nature des contrats en réalité conclus. Le Code civil distingue ceux qui louent des choses de ceux qui louent leur ouvrage (*i. e.* leur activité) et place les transporteurs parmi les loueurs d'ouvrage (C. civ., art. 1708 et 1779). Concernant les taxis, le Code des transports semble également faire de ses derniers des loueurs de véhicule avec chauffeurs. Incidemment, il dispose que des accords peuvent intervenir entre des représentants de la profession et les pouvoirs publics concernant notamment « *le tarif de location des voitures par la clientèle* » (C. transp., art. L. 3121-7). Pour les moto-taxis, les termes de la loi sont plutôt ceux des VTC. L'art. L. 3123-1 affirme qu'il y a mise à disposition d'un véhicule motorisé à deux ou trois roues.

Ces caractéristiques remontent à loin. La loi du 13 mars 1937 ayant pour objet l'organisation de l'industrie du taxi saisit les « *syndicats de loueurs de voitures publiques* » (art. 1). La terminologie est la même pour les arrêtés du 31 déc. 1938 (JO 1/1/39) et du 28 août 1954 (JO 8/9/54) sur l'organisation des taxis à Paris. Le décret n° 55-561 du 15 juillet 1955, qui établit la profession d'exploitant de voiture de grande remise, fait de cet exploitant un loueur de véhicule avec chauffeur. La même solution prévaut au décret n° 73-225 du 2 mars 1973 (art. 1), visant tout à la fois les taxis et les voitures de remise (en réalité les seules voitures de petite remise), quoique ces loueurs aient pour activité d'effectuer « *le transport particulier des personnes* ».

Pour aucune de ces professions la nature du contrat n'est donc clairement définie, bien qu'elles soient présentées par la réglementation comme une activité de louage de chose. Les transports publics particuliers engloberaient tous ceux qui effectuent des « *prestations de transport routier de personnes*

effectuées à titre onéreux avec des véhicules de moins de dix places » (C. transp., art. L. 3120-1). L'article R. 3120-1 précise qu'il s'agit de « *prestations de transport public routier de personnes* » : du transport pour autrui certes, mais sans que l'on sache exactement s'il existe un contrat de transport. De même, l'exploitant de taxi est celui qui, titulaire d'une autorisation de stationnement, effectuera « *le transport particulier des personnes et de leurs bagages* » (C. transp., art. L. 3121-1). Veut-on désigner ici une opération matérielle ou la nature juridique du contrat ?

Cependant, concernant les taxis, la loi indique par ailleurs qu'il y a « *prise en charge* » du passager (C. transp., art. L. 3121-11), ce qui renvoie clairement au contrat de transport. Pour tous, l'article L. 3120-2 dispose qu'il y a à la fois location de véhicule et prise en charge d'une clientèle. Par ailleurs, l'actuelle législation dispose que l'intermédiaire du transport public routier de voyageurs (telle la plateforme télématique *Uber*) est responsable de la bonne exécution des « *contrats de transport* » des prestataires auxquels il fait appel (C. transp., art. L. 3142-3).

3. La qualification de l'accord passe entre le passager et le voiturier

Le contrat passé entre l'exploitant de taxi ou de VTC est-il en définitive un contrat de transport ou un contrat de louage de véhicule avec une prestation de conduite (notion d'*affrètement*) ?

En droit, mise à disposition du véhicule et contrat de transport sont des obligations distinctes car, pour une même opération, l'idée d'une simple mise à disposition du véhicule est impossible s'il y a une prise en charge du voyageur, c'est à dire dès lors que le transporteur s'engage à véhiculer le passager d'un point à un autre en garantissant ponctualité et totale sécurité. Il faut alors au transporteur la complète maîtrise commerciale et technique de l'outil de transport et il n'y a donc aucune mise à disposition du véhicule entre les mains du client. La mise à disposition du véhicule n'a de sens que si le prestataire ne s'engage ni sur la ponctualité ni sur la sécurité de la personne transportée, mais seulement sur la qualité de la conduite quand cette prestation est associée à la location du véhicule. Par ailleurs, en présence d'un affrètement, le conducteur est à la discrétion du client. Il ne s'engage pas à mener ce dernier en un point donné mais à le véhiculer pendant un certain temps en fonction de souhaits arbitraires et changeants.

Par contre, les deux opérations sont complémentaires quand le transporteur sous-traite la seule opération matérielle de déplacement. Dans le transport routier de marchandises, la location de véhicule avec chauffeur ne pose pas de difficulté : ce n'est pas le chargeur que l'on déplace mais sa marchandise. Il n'y a pas de confusion possible entre les parties au contrat (chargeur, prestataire) et l'objet du contrat (une marchandise, que le transporteur prend en charge ou que le loueur véhicule). S'il n'y a qu'un affrètement, c'est que le chargeur souhaite garder la maîtrise du transport de la marchandise. Pour un transport de voyageurs, le donneur d'ordre est aussi généralement l'objet de la prestation : entend-il ne pas être pris en charge, soit ne pas être véhiculé en toute sécurité, combien même il souhaite avoir un véhicule et un conducteur à sa complète disposition ? En dehors des cas où un prestataire s'est engagé à transporter des passagers en toute sécurité, mais le fait faire matériellement par un sous-traitant qui ne s'engage qu'au prêt d'un outil de transport et d'un équipage (ex. : affrètement d'aéronef par un transporteur aérien), l'existence d'un accord avec le voyageur pour une simple mise à disposition d'un véhicule et d'un chauffeur, sans engagement sur la sécurité, semble délicat à prouver.

Aussi, dans la plupart des situations concrètes, l'accord de volonté sur une simple mise à disposition n'existe pas, sauf, peut-être, pour des prestations très particulières où le professionnel s'engage pour un temps à répondre à toutes les demandes du client en matière de déplacement et d'accommodements liés au transport, ainsi que pouvaient le proposer les exploitants de véhicules de grande remise et aujourd'hui encore les entreprises de VTC offrant des prestations de luxe à l'aide de « *limousines* » ou de voitures de collection (mariage, shopping…). C'est bien un déplacement précis, que maîtrise totalement le conducteur, qui fait l'objet du contrat : le passager se laisse transporter. Aussi, tant pour les exploitants de taxi que pour les VTC, la prestation est en général celle d'un contrat de transport, entraînant une obligation de résultat de l'exploitant à l'égard du client, tant pour la sécurité que la ponctualité, dès l'instant où le passager monte dans la voiture jusqu'au moment où il en descend. C'est du moins le point de vue de la jurisprudence, ainsi qu'il a été jugé pour les taxis (Com., 4 déc. 1968, D. 1969, 200 ; CA Montpellier, 12 janv. 2011, n° 09/08960, *Rev. dr. transp.*, sept. 2011, somm. 128, obs. Paulin). C'est aussi l'opinion dominante de la doctrine. Il y a déjà fort longtemps, G. Levasseur abondait en ce sens (« Les transports en taxi ou autre voiture de place », *Annales de droit et des sciences sociales*, Sirey, 1933, p. 99 et s.). De façon générale, R. Rodière et B. Mercadal font du contrat de taxi un contrat de transport (*Droit des transports terrestres et aériens*, éd. Dalloz, 1990).

*

Mais alors, pour quelle raison dit-on que les professionnels des voitures de place ou de remise sont des loueurs de véhicule quand en réalité ils prennent en charge une clientèle pour un transport ? Le poids de l'histoire d'abord, car cette terminologie est fort ancienne et la réglementation, dans ses différentes formes et évolutions, tend aussi à se reproduire. Mais cette explication reste courte. Fondamentalement, pour les taxis, voitures de remise et VTC, le fait de ne transporter qu'une seule personne, ou un petit groupe ayant exactement la même demande, dans un même véhicule fait apparaître le transport particulier comme une mise à disposition du conducteur et de son véhicule au service entier de ce client.

http://cnriut2018.sciencesconf.org/

Energie / Environnement

Valorisation de sédiments marins de dragage en briques de terre cuite : comportement des éléments Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn.

Fabienne Baraud[1,2], Fatiha Oudghiri[1,2], Lydia Leleyter[2]
[1] IUT de Caen, Dpt HSE, Rue des Noës Davy, 14500 Vire Normandie
[2] ABTE UR 4651, Université de Caen Normandie, Bd du Mal Juin, 14032 Caen

THEMATIQUE – Energie – Environnement

RESUME :

L'étude présentée s'inscrit dans le cadre du projet SEDIBRIC, dont l'objectif est la mise en œuvre d'une filière de valorisation de sédiments de dragage en produits de construction de terre cuite (briques notamment). Nos travaux portent plus spécifiquement sur l'estimation de l'impact environnemental des matériaux valorisés. L'évaluation de la disponibilité d'éléments traces métalliques, initialement présents dans les sédiments dragués et potentiellement polluants, est réalisée via des procédures d'extractions chimiques simples et séquentielles, appliquées aux matériaux bruts et aux produits finis. L'influence des températures de cuisson est également explorée.

Mots-clés— sédiment ; dragage ; métaux ; valorisation ; disponibilité environnementale.

1. INTRODUCTION

Des dragages significatifs sont constamment requis pour élargir et maintenir les accès aux ports à des profondeurs suffisantes. La gestion des sédiments ainsi dragués (potentiellement contaminés) est devenue une préoccupation majeure des collectivités, autorités portuaires et industriels, en raison de la raréfaction des surfaces de dépôts à terre et des contraintes réglementaires de plus en plus strictes vis-à-vis des possibilités d'immersion en mer [1]. Leur utilisation dans l'industrie des terres cuites, comme matière première de substitution aux matières premières traditionnelles (considérées comme non renouvelables) est une des voies possibles de valorisation, constituant une solution alternative prometteuse à l'immersion ou au stockage à terre.

Le projet SEDIBRIC vise à mettre en œuvre une méthodologie de valorisation de sédiments de dragages des grands ports de la région Normandie, dans la filière des produits de construction en terre cuite (briques, tuiles…). Il propose une évaluation globale de la filière, de l'évolution du stockage à terre jusqu'à la caractérisation des matériaux élaborés, via les impacts environnementaux, économiques et sociétaux. Déposé dans le cadre de l'Appel à Manifestation d'Intérêt « Transition énergétique et valorisation économique » 2015-2020 du Contrat de Plan Interrégional Etat-Régions Vallée de la Seine (CPIER VdS), le projet (d'une durée totale de 2 ans) a débuté le 1er mars 2018 et réunit 6 partenaires industriels et universitaires (Fig1).

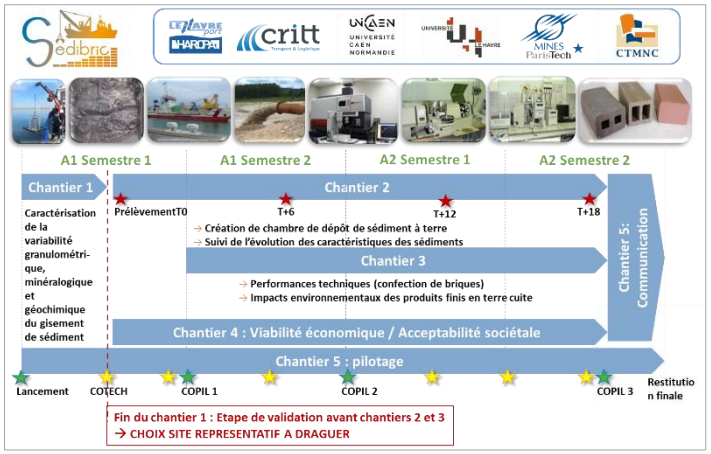


Fig.1 Les différentes étapes et partenaires du projet SEDIBRIC

Dans ce cadre, nos travaux concernent plus particulièrement le volet environnemental, via l'étude de la disponibilité d'éventuels polluants métalliques présents dans les sédiments, d'une part, et de leur stabilité dans les produits finis d'autre part.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Echantillonage

7 sites de prélèvements ont été initialement sélectionnés dans le Grand Port Maritime du Havre (GPMH) (Fig2). Les échantillons prélevés ont été séchés à température ambiante, broyés puis conservés à 4°C avant analyses.

Fig.2 Les différents sites de prélèvements (Source : GPMH)

2.2. *Teneurs totales en éléments traces métalliques*

Des minéralisations acides (eau régale) assistées par micro-ondes (Berghof speedwave MWS-2) sont réalisées à partir de 0,2 g d'échantillons secs et broyés. Les minéralisâts obtenus sont analysés par spectrométrie d'émission atomique (ICP-AES ou MP-AES), afin de déterminer les teneurs élémentaires totales des métaux étudiés (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) présents dans les différents échantillons.

2.3. *Disponibilité des éléments : extractions chimiques*

La disponibilité des éléments chimiques est estimée grâce à la mise en œuvre d'extractions chimiques simples. Pour cela, 1g d'échantillon sec et broyé est mis au contact de 10 mL de réactif (eau ultrapure ou HCl 1 $mol.L^{-1}$ ou EDTA 0,005 $mol.L^{-1}$) à température ambiante, sur table d'agitation pendant 1h avant d'être filtré (0,45 µm). L'ensemble des filtrâts est analysé par ICP-AES ou MP-AES.

3. RÉSULTATS

3.1. *Teneurs totales initiales*

Le tableau 1 rapporte les teneurs totales mesurées lors de la phase 1 du projet, pour les échantillons issus des 7 sites de dragage. Les teneurs sont comparées aux valeurs seuils réglementaires pour l'immersion en mer des sédiments de dragage (niveaux N1 et N2, [2]). Les concentrations observées sont comparables aux valeurs rapportées pour des sédiments de la Manche [3].

Tableau 1. Teneurs totales élémentaires ($mg.kg^{-1}$)*

échantillon	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
3	1,7 *(0,0)*	49,1 *(1,2)*	14,8 *(0,2)*	16,2 *(0,2)*	29,9 *(0,2)*	88,9 *(2,7)*
P2	1,7 *(0,1)*	41,3 *(1,8)*	32,2 *(0,9)*	15,9 *(0,4)*	26,7 *(0,5)*	92,8 *(4,2)*
P4	2,0 *(0,0)*	48,0 *(2,4)*	28,1 *(0,2)*	18,9 *(0,7)*	37, 9 *(0,3)*	114,7 *(2,9)*
14	2,2 *(0,0)*	69,4 *(2,5)*	32,5 *(0,6)*	24,6 *(0,3)*	42,1 *(1,0)*	143,4 *(3,3)*
18	2,0 *(0,0)*	54,1 *(4,0)*	28,1 *(0,3)*	20,3 *(0,7)*	36,8 *(0,1)*	111,3 *(1,3)*
G2	1,8 *(0,1)*	50,9 *(6,5)*	55,7 *(2,9)*	48,6 *(2,1)*	44,3 *(1,8)*	183,7 *(6,7)*
T4	1,3 *(0,0)*	28,4 *(1,0)*	11,9 *(0,5)*	9,9 *(0,5)*	19,1 *(0,2)*	74,5 *(0,7)*
Seuil N1	***1,2***	***90***	***45***	***37***	***100***	***276***
Seuil N2	***50***	***180***	***90***	***74***	***200***	***552***
B0	2,1 *(0,2)*	70,5 *(6,8)*	56,0 *(7,3)*	30,3 *(1,2)*	27,8 *(0,4)*	133,8 *(2,7)*
B1	2,7 *(0,1)*	138,0 *(2,1)*	89,3 *(0,8)*	49,8 *(2,4)*	21,2 *(0,5)*	175,6 *(0,4)*
B2	2,1 *(0,1)*	146,4 *(1,6)*	30,1 *(0,8)*	50,1 *(0,7)*	3,9 *(0,3)*	105,5 *(2,1)*

*valeurs moyennes (3 répliques)
() valeurs des écarts types (3 répliques)

Aucun dépassement du niveau N2 n'est relevé, quel que soit l'échantillon ou l'élément. Pour les 7 sédiments analysés, la teneur en Cd excède le seuil N1, tandis qu'elle reste globalement inférieure au seuil N1 pour les autres éléments et échantillons.

3.2. *Disponibilité initiale des éléments dans les sédiments*

Les quantités extraites par l'eau ultrapure sont négligeables dans tous les cas. En revanche, par exemple, l'extraction acide (HCl 1M) mobilise assez fortement Cu (34% à 73%), Pb (67% à 77%) et Zn (45% à 74%) (Fig 3). Les autres éléments sont plus fortement retenus.

L'ensemble des résultats observés sont globalement en accord avec les données obtenues pour divers sédiments de la Manche notamment pour Cr, Cu, Ni et Zn [2].

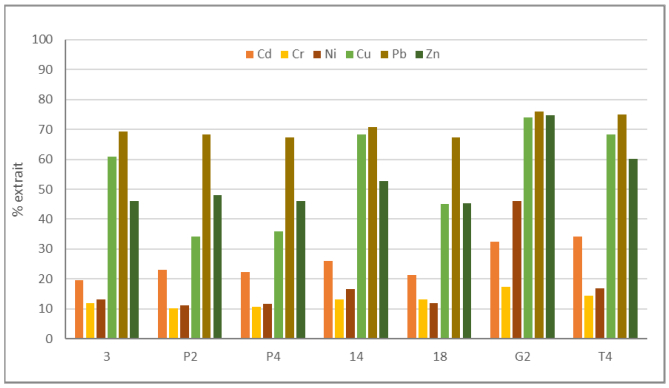


Fig.3 Pourcentages d'éléments métalliques extraits par HCl 1M dans les sédimenst bruts.

3.3. *Influence de la température de cuisson*

Afin d'estimer l'influence de la cuisson sur la teneur totale et la disponibilité potentielle des éléments dans les produits élaborés, des tests préliminaires ont été réalisés sur des prototypes de briques (désignées B0, B1, B2)obtenues par le CTMNC (partenaire du projet, Fig1.) à différentes températures (pas de cuisson (B0), 850°C (B1) et 1100°C (B2)). Des tests sur les sédiments bruts, portés à différentes températures, sont aussi menés en parallèle.

La figure 4 donne un aperçu des résultats obtenus pour les 3 prototypes de briques testées, au regard de la disponibilité des éléments par l'extraction acide. Par ailleurs, pour chaque échantillon de brique, les teneurs totales élémentaires (après minéralisation acide et analyse par ICP-AES) sont reportées dans le tableau 1.

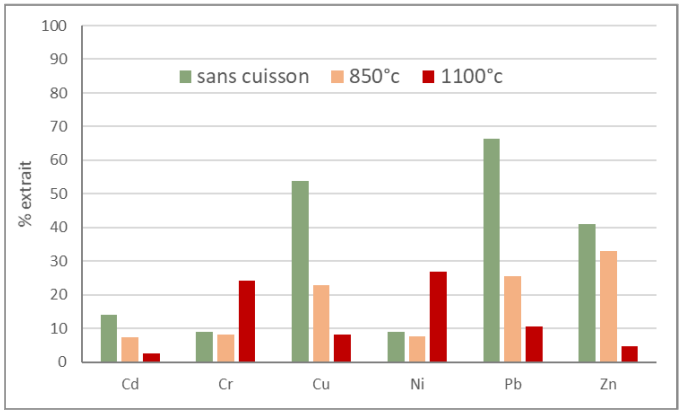


Fig.4 Pourcentages d'éléments métalliques extraits par HCl 1M dans les 3 prototypes de briques.

On note que la cuisson induit une réduction de l'extractibilité HCl pour Cd, Cu, Pb et Zn d'autant plus marquée que la température est élevée. Cependant, pour Cr et Ni, cette stabilisation ne semble s'opérer qu'à 850°C, puisque les % extraits par HCl sont plus importants à 1100°C qu'en absence de cuisson. Ces résultats restent à confirmer et à confronter aux modifications physiques et minéralogiques induites lors de la cuisson.

4. CONCLUSIONS

La caractérisation des sédiments bruts échantillonnés dans l'ensemble de la zone portuaire a montré une certaine homogénéité vis-à-vis des teneurs totales en éléments traces métalliques (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) et de leur disponibilité

environnementale. Le choix du site de prélèvement retenu pour la suite du projet, et l'élaboration des briques, s'est basé sur d'autres caractéristiques (géotechniques notamment).

L'étude de l'influence de la température de cuisson (volatilisation pour certains éléments et stabilisation dans le matériau cuit pour d'autres) doit être poursuivie et confirmée, en particulier avec les briques qui incorporeront les sédiments du port retenus pour l'étude.

5. Remerciements

Les auteurs remercient la Région Normandie et l'ADEME pour leur soutien et le financement du projet, ainsi que l'ensemble des partenaires du projet.

6. References

[1] L. Saussaye, H. Hamdoun, L. Leleyter, E. van Veen, J. Coggan, G. Rollinson, W. Maherzi, M. Boutouil, F. Baraud, « Trace element mobility in a polluted marine sediment after stabilisation with hydraulic binders», *Marine Pollution Bulletin*, 110, 401-408, 2016.

[2] Arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 4.1.3.0 et 3.2.1.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement.

[3] H. Hamdoun, E. Van-Veen, B. Basset, M. Lemoine, J. Coggan, L. Leleyter, F. Baraud. « Characterization of harbor sediments from the English Channel: assessment of heavy metal enrichment, biological effect and mobility », *Marine Pollution Bulletin*, 90, 273-280, 2015.

Mise au point d'un microcosme de sol permettant d'évaluer la biosorption d'éléments métalliques par du mycélium fongique.

Ilham BENJELLOUN , Lydia LELEYTER , Quentin ALBERT , David GARON , Fabienne BARAUD
Normandie Université, UNICAEN, ABTE, 14000 Caen, France

THEMATIQUE

Energie - Environnement section 31/21

RESUME

La mycoremédiation est une technique de bioremédiation des sols basée sur l'usage d'espèces de champignons ayant la capacité de biosorber et d'accumuler des polluants organiques et inorganiques, afin de décontaminer des sites pollués [1]. L'objectif de nos travaux est de mieux comprendre les mécanismes impliqués dans l'ad/absorption d'éléments métalliques potentiellement polluants par le mycélium fongique. Pour cela, nous développons et testons différents types de microcosmes de sol permettant d'isoler au mieux le mycélium fongique, afin d'affiner l'étude des interactions sol-champignon, en particulier l'influence du champignon sur la disponibilité des métaux dans le sol.

Mots-clés—sols pollués, mycoremédiation, mycélium fongique, éléments métalliques.

1. INTRODUCTION

Certaines pratiques industrielles ont engendré la contamination des sols en contaminants organiques, et inorganiques (en particulier les métaux) [2]. La contamination des sols altère la qualité de l'environnement, perturbe les écosystèmes, et induit des risques sanitaires liés à une exposition par inhalation, ingestion ou contact direct avec le sol contaminé [3]. Pour pallier aux risques environnementaux et sanitaires liés à la contamination des sols, des techniques de remédiation se sont développées. Parmi elles, on retrouve la bioremédiation qui utilise des organismes vivants (bactéries, plantes, champignons) pour la dégradation, l'extraction ou la transformation des contaminants en des formes moins toxiques ou moins mobiles (stabilisation) [4]. Le processus de bioremédiation des sols contaminés en éléments métalliques implique en particulier le développement ou la recherche d'organismes résistants capables d'accumuler ces éléments pour diminuer leur disponibilité environnementale [5]. Afin de mieux comprendre les processus et interactions impliqués, une mise au point d'essais en microcosmes de sols est réalisée avec la souche fongique *Absidia cylindrospora* (Mucoromyceta), souche sélectionnée lors de travaux préalables au laboratoire [6]. Pour cette nouvelle étude, nous cherchons à optimiser la conception du microcosme afin de mieux isoler le mycélium du sol (microcosme « en couches ») et permettre des analyses précises des différents milieux concernés (sol, mycélium), pour une meilleure compréhension des modes de transferts impliqués.

2. REALISATION DES MICRCOSMES DE SOL

2.1. Microcosme en cristallisoir

Les premiers essais développés au laboratoire ont consisté en microcosmes dit « en mélange » contenant le broyat fongique, un milieu de culture minimum, de la sciure et du sol [6]. Dans un second temps, des microcosmes dit « en couches » sont développés selon le protocole suivant :la souche *Absidia cylindrospora* est mise en culture à 25°C sur milieu Malt Extract Agar (MEA) dans des boîtes de Petri (figure1A). Après 10 jours de culture, le mycélium est gratté avec un scalpel stérile, puis broyé à l'Ultraturrax en présence de 15 mL de milieu de Galzy et Slonimski (GS) (figure 1B). Le broyat est ensuite incorporé à 3 g de sciure (copeaux de bois de hêtre) dans un cristallisoir stérile (figure 1C). L'ensemble est incubé 3 jours à 25°C (couvert avec du film stérile) jusqu'au développement d'une couche de mycélium à la surface de la sciure (figure 1D). Une masse de 60 g de sol est alors ajoutée sur les deux couches (sciure + mycélium) et humidifié par 30 mL d'eau stérile. Le microcosme « en couches » ainsi constitué (figure 1E) est incubé 20 jours à 25°C, puis subit un séchage à 37°C pendant 20 jours. Les microcosmes secs sont séparés en 3 couches (sciure, mycélium, sol) qui sont ensuite analysées (teneurs totales en éléments métalliques et étude de la disponibilité environnementale).

Fig.1 Protocole de réalisation du microcosme en cristallisoir

A) Boîte de Petri (milieu MEA) contenant le mycélium d'*Absidia cylindrospora* âgé de 10 jours.
B) Mycélium gratté et mis en suspension dans le milieu GS.
C) Suspension fongique incorporée à la sciure.
D) Formation d'une couche de mycélium à la surface de la sciure.
E) Microcosme final en 3 couches : sciure, mycélium et sol.

2.2. *Microcosme en boîte de Petri*

Dans un troisième temps, des microcosmes sont élaborés dans des boîtes de Petri. Un ensemencement central de la souche *Absidia cylindrospora* sur gélose MEA est d'abord effectué. Le mycélium se développe sur le milieu pendant 14 jours, formant un tapis (figure 2A), sur lequel est ajouté 30 g de sol (figure 2B). Ce microcosme (dit « en couches ») est ensuite incubé pour une durée de 20 jours à 25°C (figure 2C).

Fig.2 Protocole de réalisation du microcosme en boîte de Petri

3. ISOLEMENT DU MYCELIUM A PARTIR DES MICROCOSMES

3.1. *Microcosme en cristallisoir*

Pour l'essai de microcosmes « en couches », réalisé en cristallisoir, la séparation des trois couches (sciure, mycélium, sol) n'a pas été réalisée avec succès. Le mycélium obtenu reste intimement mélangé à de la sciure et du sol. L'analyse des teneurs en éléments métalliques dans le mycélium n'est donc pas fiable.

3.2. *Microcosme en boîte de Petri*

Les essais en boîte de Petri permettent une meilleure séparation et récupération du mycélium. Pour cela, le microcosme de sol, après la période d'incubation de 20 jours, subit des carottages à l'aide d'un emporte-pièce (figure 3A). Des cylindres constitués des différentes couches du microcosme sont ainsi récupérés et centrifugés trois fois à 1000G avec 20 mL d'eau stérile. Cette étape permet, pour chaque carottage, de récupérer un culot contenant le sol, un disque de gélose nettoyé, et des filaments de mycélium en suspension. Ces derniers sont ensuite récupérés à l'aide d'une pince stérile, et mis à sécher à une température de 30°C durant 4 jours afin de déterminer un poids sec de mycélium. Chaque milieu (gélose, mycélium, sol) peut ensuite être analysé pour ses teneurs en éléments métalliques (figure 3B, 3C et 3D).

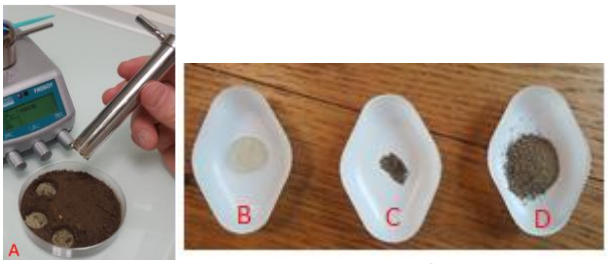


Fig.3 Carottages et couches du microcosme en boîte de Petri.

A) Carottage du microcosme

B) Couche de gélose

C) Couche de mycélium

D) Couche de sol

4. CONCLUSIONS

La réalisation de microcosmes « en couches » selon deux techniques différentes a permis de montrer que pour la méthode des cristallisoirs, la séparation n'était pas efficace, tandis que la méthode en boîte de Petri a permis d'isoler et de récupérer le mycélium, exempt de particules de sols. Ce nouveau protocole permettra une analyse plus juste des concentrations de métaux dans les différentes matrices, en particulier au niveau du mycélium.

5. REMERCIEMENTS

Mes remerciements s'adressent au MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE qui finance cette thèse (allocation doctorale d'établissement).

Références

[1] A. Amjad, D. Guo, A. Mahar, P. Wang, F. Shen, R. Li, et Z. Zhang. «Mycoremediation of Potentially Toxic Trace Elements—a Biological Tool for Soil Cleanup: A Review » Pedosphere 27 (2): 205‑ 22. 2017.

[2] D. Damodaran, K. Vidya Shetty, B. Raj Mohan. «Uptake of certain heavy metals from contaminated soil by mushroom—*Galerina vittiformis* ». Ecotoxicology and Environmental Safety 104 (juin): 414-22. 2014.

[3] F. Costa, T. Tavares « Bioremoval of Ni and Cd in the presence of diethylketone by fungi and by bacteria – A comparative study ». International Biodeterioration & Biodegradation 120 (mai) 2017.

[4] A. Dzionek, D. Wojcieszyńska, U. Guzik. « Natural Carriers in Bioremediation: A Review ». Electronic Journal of Biotechnology 23 (septembre): 28-360. 2016.

[5] I. Ahmad, M. Imran, MI. Ansari, A. Malik, J. Pichtel. « Metal Tolerance and Biosorption Potential of Soil Fungi: Applications for a Green and Clean Water Treatment Technology ». In Microbes and Microbial Technology, 321‑ 61. New York, NY: Springer New York. 2011.

[6] Q. Albert, L. Leleyter, M. Lemoine, N. Heutte, JP. Rioult, L. Sage, F. Baraud, D. Garon. «Comparison of tolerance and biosorption of three Trace Metals (Cd, Cu, Pb) by the soil fungus *Absidia cylindrospora*» . Chemosphere 196: 386-392. 2017.

Etude expérimentale par Tomographie Laser de l'évolution d'un écoulement généré par un jet impactant pour le renouvellement d'air dans l'habitat

Kamel ABED-MERAÏM[1,2], Jana HAMDI[2], Hassan ASSOUM[3], Anas SAKOUT[2]

[1] Institut Universitaire de Technologie de La Rochelle - Département de Génie Civil et Construction Durable

[2] Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement : LaSIE UMR - 7356 CNRS - Université de La Rochelle

[3] Beirut Arab University - Tripoli Campus, Corniche El Meena, Tripoli, Lebanon

THEMATIQUE : Energie – Environnement

RESUME : **Dans les dispositifs terminaux des systèmes de ventilation et de climatisation, se trouvent des jets impactant des surfaces fendues. En tentant d'améliorer le confort aéraulique par l'insertion de grilles de soufflage, qui améliorent le brassage et réduisent les sensations de courant d'air, il arrive parfois qu'on détériore le confort acoustique en favorisant l'apparition de nuisances sonores avec les sons auto-entretenus qu'ils génèrent. Ces boucles de rétroaction naissent lorsque les transferts d'énergie entre la dynamique de l'écoulement et le champ acoustique sont optimales. Ainsi, pour visualiser et étudier ces structures tourbillonnaires, de Kelvin Helmholtz, présentes dans ces écoulements, nous avons développé une plateforme expérimentale utilisant de la Tomographie Laser et une métrologie quantitative 3D, résolue en temps. Cette installation expérimentale, ainsi que quelques résultats seront présentés dans cette communication.**

Mots-clés : Jet Impactant, PIV Tomographique

1. INTRODUCTION

Les systèmes de climatisation et de ventilation sont souvent composés de configurations type jets impactant, sur leur partie terminale. Ainsi, les flux d'air soufflés viennent impacter des grilles munis de fentes, de différentes formes, afin d'améliorer le mélange. Les conditions de confinement et de soufflage provoquent parfois des sifflements et génèrent ainsi de l'inconfort au niveau acoustique. Les nuisances sonores ainsi générées sont dues à un phénomène de boucles de rétroaction se traduisant par l'apparition des sons auto-entretenus. La production de sons par des écoulements fluides en champ libre ou en interaction avec une structure a fait l'objet de nombreuses études. Dans le cas d'un champ acoustique et pour un écoulement à faible nombre de Mach la résolution du corolaire énergétique de Howe permet d'évaluer la puissance acoustique générée ou absorbée par les interactions entre le champ acoustique et l'écoulement. Le calcul de cette puissance nécessite la connaissance de trois paramètres : la vorticité, le champ cinématique de l'écoulement et la vitesse acoustique. Et la résolution se fait par des méthodes analytiques ou en utilisant des données expérimentales. Expérimentalement, la mesure du champ cinématique, pour en déduire la vorticité, nécessite une technique tridimensionnelle. Ainsi, une plateforme expérimentale utilisant de la vélocimétrie Laser a été développée et équipée de métrologies spécifiques, afin de générer les écoulements étudiés et appréhender les champs cinématiques.

2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

La plateforme expérimentale utilisée pour cette étude a été équipée pour pouvoir représenter différents configurations d'un jet plan confiné impactant une surface fendue. Cette plateforme a été développée et installée dans une salle isolée comme le montre la Figure 1. La plateforme dans sa globalité est divisée en trois parties séparées. La première partie est destinée à la création de l'écoulement, à étudier, et au réglage du régime souhaité. La deuxième partie est destinée au conditionnement de l'écoulement et à la métrologie à mettre en œuvre. Et dans la dernière, on gère le pilotage et le contrôle des expérimentations ainsi que le traitement des données obtenues. Ainsi, à l'aide d'un compresseur placé à l'extérieur du bâtiment, et d'un hacheur de fréquences, on règle le régime d'écoulement souhaite : représenté par le nombre de Reynolds Re. Afin de contrôler le taux de turbulence à la sortie du jet, des grilles et nids d'abeilles ont été incorporés dans les conduits, avant de faire passer les flux d'air par un convergent d'ordre 5.

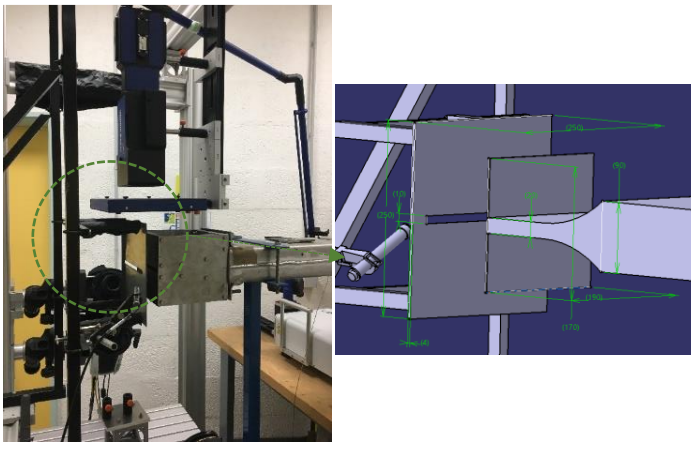


Fig.1 Dispositif expérimental

2.1. *Métrologie utilisée*

Cette plateforme expérimentale peut être équipée de différents moyens métrologiques en fonction des besoins. Pour les travaux présentés ici, c'est la vélocimétrie par images des particules (PIV) qui a été utilisée (Figure 2). Le principe de base de cette technique consiste d'abord à ensemencer l'écoulement de particules appropriés, avec de bonnes propriétés de diffusion de la lumière et vérifiant les conditions de mécanique de suspension, afin qu'elles représentent fidèlement les particules fluides dont elles occupent la place. Ensuite, de rendre visibles ces particules en matérialisant le plan étudié par une nappe laser (4). Enfin, à l'aides de caméras rapides (1) et de système de synchronisation des ouvertures des caméras et des pulses laser (Figure 3), on réalise les acquisitions des champs appréhendés avec des fréquences cohérentes et en rapport avec l'évolution des phénomènes analysés.

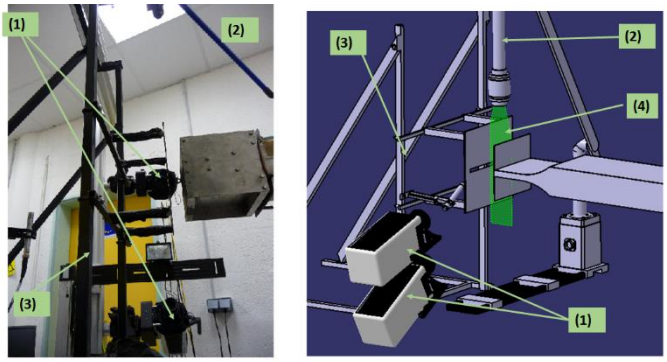


Fig.2 Métrologie utilisée

2.2. *Le Post-traitement*

Pour cette étude nous avons utilisé une TR-PIV (PIV résolue en temps). En effet, avec une fréquence de 2,5 KHz, nous avons fait l'acquisition de 2500 couples d'images par seconde et obtenu ainsi, 2500 champs cinématiques de l'écoulement par seconde. La vélocimétrie par images de particules utilisée consiste à enregistrer les couples d'images obtenus par la diffusion de la lumière diffusée par les particules ensemencées dans l'écoulement à étudier et éclairées par deux pulses lasers séparés d'un intervalle de temps Δt qu'on connait (Figure 3).

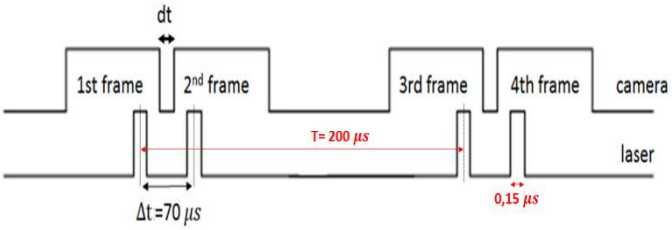


Fig.3 Synchronisation des pulses du laser et des ouvertures des caméras

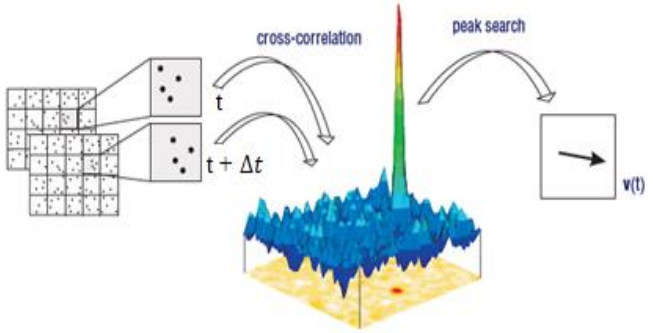


Fig.4 Principe d'analyse des fenêtres d'interrogation

L'exploitation de deux images successives du champ de particules est illustrée sur la Figure 4. Chaque image est divisée en un certain nombre de fenêtres d'interrogation. Et pour chacune d'elles le vecteur local de déplacement des particules est déterminé à l'aide des techniques de corrélations.

3. RÉSULTATS

Un exemple des images particulaires obtenues par cette métrologie est présenté sur la Figure 5.

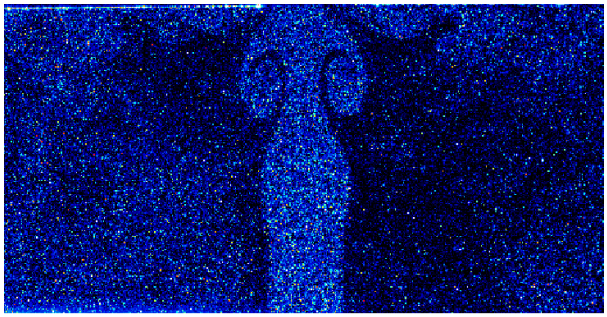


Fig.5 Champ particulaire brut

Les calculs PIV basés sur l'inter corrélation entre les deux frames des champs particulaires instantanés nous donnent les champs cinématiques instantanés Figure 6.

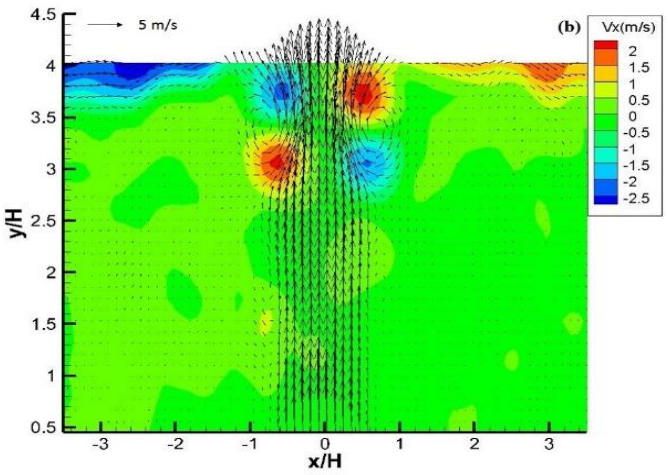


Fig.6 Superposition du champ de vitesse instantanée et de la composante de vitesse transversale (en couleurs) à t = 0,2 ms

3.1. *Exploitation des champs cinématiques*

Les champs cinématiques ainsi obtenus, permettent d'une part, le calcul des différentes grandeurs liées à l'écoulement : profils de vitesses (exemple sur la Figure 7), de vorticité, de turbulence, … Et d'autre part, le suivi des structures tourbillonnaires et l'analyse des corrélations avec l'apparition de sons auto-entretenus ou la génération de nuisances sonores.

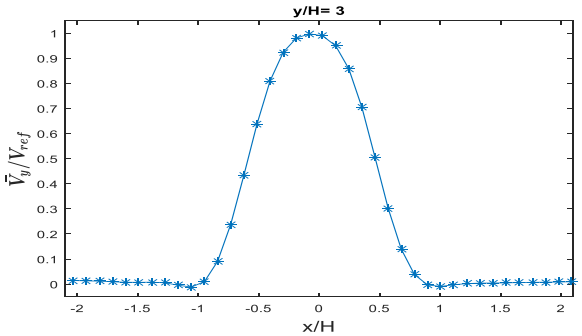


Fig.7 Profil transversal de la vitesse longitudinale moyenne

Afin de détecter les structures de Kelvin Helmholtz et de suivre leurs évolutions, nous avons utilisé le critère λ_2. Ainsi, nous pouvons suivre leurs trajectoires comme sur la Figure 8.

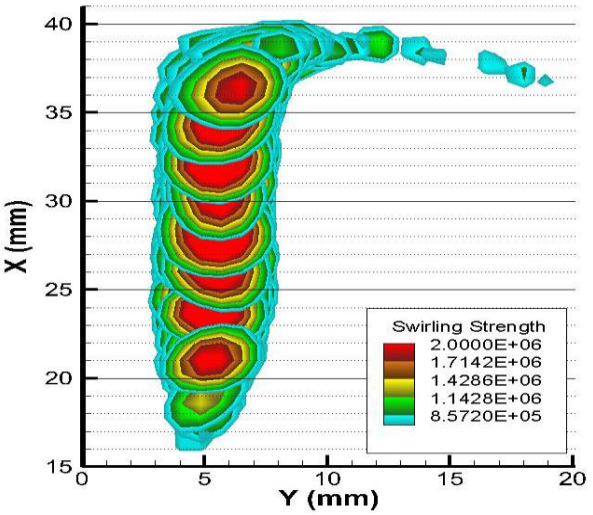


Fig.8 Champs de λ_2 montrant les trajectoires des tourbillons sur la moitié du jet (Y>0) pour Re = 4415 et L/H = 4

3.2. Exploitation des mesures de Tomo-PIV

Nous avons réalisé, également, des mesures tridimensionnelles des écoulements étudiés. Ainsi, nous avons utilisé de la Tomo-PIV (3D-3C), avec un laser pulsé de 30 mJ par impulsion, des caméras rapides Phantom V-711, et un équipement de LaVision. Nous avons pu ainsi, suivre les évolutions temporelles des différentes grandeurs sur le volume de mesure (120 x 40 x 20 mm^3). On peut voir, par exemple les champs cinématiques sur la Figure 9, ou l'évolution des grosses structures tourbillonnaires sur la Figure 10.

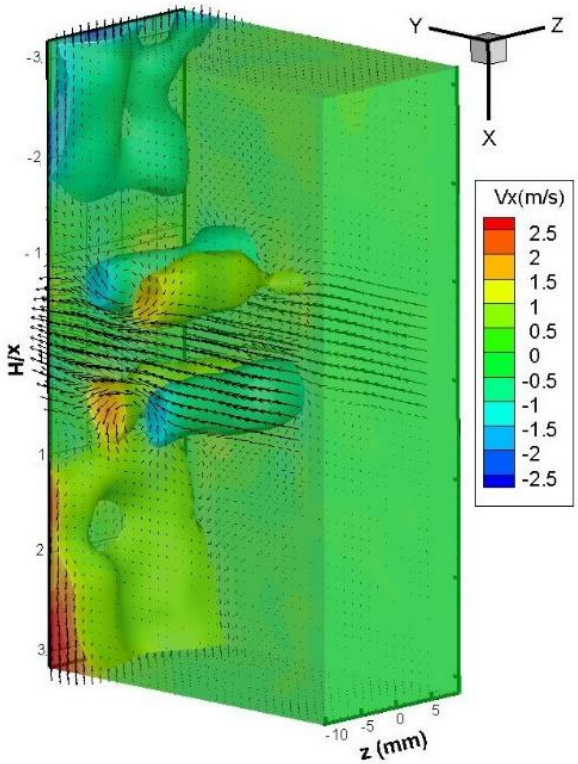


Fig.9 Champs vectoriels cinématiques et vitesses transversales en couleur, obtenus par Tomo-PIV

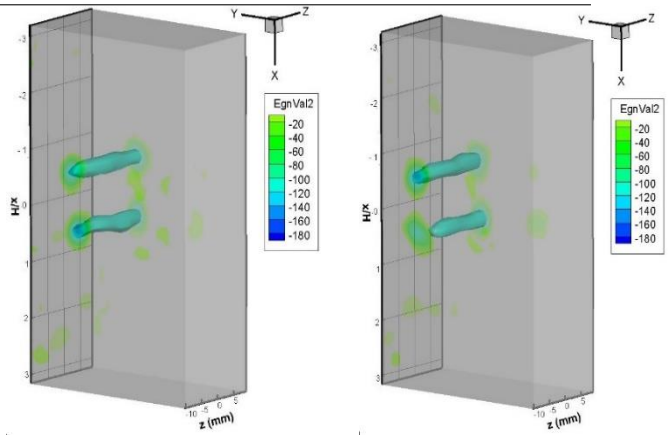


Fig.10 Contours de λ_2 pour deux pas de temps consécutifs

4. CONCLUSIONS

Cette étude expérimentale a mis en évidence des corrélations claires entre le passage, dans les fentes des grilles de brassage, des grosses structures tourbillonnaires, et l'apparition de certaines fréquences dans les sons d'écoulements. Les mesures Tomo-PIV ont également permis de valider les modèles de reconstruction volumique mis en place pour baisser le coût des compagnes expérimentales, et les décompositions en modes POD visant l'allègement des données et l'optimisation du contrôle de ces écoulements.

5. REFERENCES

[1] H. Assoum, M. El Hassan, K. Abed-Meraïm, R. Martinuzzi, A. Sakout, « Experimental analysis of the aero-acoustic coupling in a plane impinging jet on a slotted plate », Fluid Dynamics Research 45 (4), 045503, 2013

[2] J. Hamdi, H. Assoum, K. Abed-Meraïm, A. Sakout, «Volume Reconstruction of an Impinging Jet Obtained from Stereoscopic-PIV Data Using POD », European Journal of Mechanics - B/Fluids, Volume 67, pp 433-445, 2018

[3] H. Assoum, M. El Hassan, K. Abed-Meraim, A. Sakout, « The vortex dynamics and the self sustained tones in a plane jet impinging on a slotted plate », European Journal of Mechanics B/Fluids, Volume 48, pp. 231-235, 2014

[4] H. Assoum, J. Hamdi, K. Abed-Meraïm, M. El Hassan, M. Ali, A. Sakout, « Correlation between the acoustic field and the transverse velocity in a plane impinging jet in the presence of self-sustaining tones », Energy Procedia, Vol 139, pp 391-397, 2017

[5] M. El Hassan, H. Assoum, R. Martinuzzi, V. Sobolik, K. Abed-Meraim, A. Sakout, « Experimental investigation of the wall shear stress in a circular impinging jet », Physics of Fluids 25, 077101, 2013

[6] J. Hamdi, K. Abed-Meraïm, H. Assoum, A. Sakout, M. Al-Kheir, T. Mrach, L. Rambault, S. Cauet, E. Etien, « Tomographic and Time-Resolved PIV measurement of an Impinging Jet on a Slotted Plate », MATEC Web of Conferences 261, 03004, 2019

[7] T. Mrach, J. Hamdi, K. Abed-Meraïm, M. Alkheir, H. Assoum, A. Sakout, « Experimental analysis of the influence of the impinged plate by an impinging jet on the vortex dynamics using PIV », MATEC Web of Conferences 261, 03005, 2019

[8] M. El Hassan, H. Assoum, V. Sobolik, J. Vetel, K. Abed-Meraim, A. Garon, A. Sakout, « Experimental investigation of the wall shear stress and the vortex dynamics in a circular impinging jet », Experiments in Fluids, Volume 52, Issue 6, pp.1475-1489, 2012

Etude du Tompon Hydrique (MBV) d'un matériau biosourcé

Nawal CHENNOUF[1, 2, 3], Tarek ALIOUA[1, 2], Aderrahim BOUDENNE[1], Boudjemaa AGOUDJIL[2]
[1]*CERTES, Université Paris Est Créteil Val de Marne, 61 Av. Du Général de Gaulle, 94010 Créteil Cedex, France ;*
[2]*LPEA, Université Batna 1, Les Allées 19 Mai Route de Biskra Batna, Algérie;*
[3]*Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued, PO Box 789 El-Oued, Algérie;*

- **THEMATIQUE–**Energie - Environnement

RESUME. Ce travail s'articule autour de la caractérisation du comportement et l'efficacité hygrothermique d'un nouveau matériau à base du béton renforcé par des fibres de bois de palmier dattier (DPC). L'aspect visé dans ce travail est l'étude de la capacité du tampon hydrique et l'effet de la température sur la capacité de régulation d'humidité de ce matériau. Cette étude repose sur l'utilisation de la méthode définie dans le protocole Nordtest sous différentes conditions de température. Les résultats ont montré que le béton de bois de palmier dattier possède un excellent pouvoir tampon hydrique avec une bonne capacité de régulation hygrthermique, grâce à son coefficient de diffusivité hydrique.

Mots-clés—Transfert d'humidité, tompan hydrique, béton de palmier dattier (DPC)

INTRODUCTION

Le contexte environnemental de cette étude est lié à l'épuisement des ressources minières ainsi qu'à l'impact environnemental dû à la croissance progressive des émissions de gaz à effet de serre. Cela suscite une mobilisation à l'échelle nationale et mondiale, et particulièrement dans le secteur du bâtiment avec l'ambition de passer d'une approche énergétique à une approche environnementale. De ce fait, l'introduction des matériaux biosourcés dans le domaine de la construction durable avec une approche d'efficacité énergétique semble être des verrous à mettre en œuvre.

Les fibres de bois de palmier dattier peuvent être utilisées comme renfort dans différents types de matrices tel que les polymères, le gypse et le mortier. En effet, la formulation du béton réalisée (mortier avec 15% fibres de bois de palmier dattier) possède des propriétés qui satisfassent à la fois les exigences thermiques et mécaniques pour des matériaux de construction. De ce fait, ce type de béton biosourcé pourrait être utilisé comme un nouveau matériau de construction à efficacité énergétique dans le bâtiment [1].

Le béton à base de Bois de Palmier Dattier (DPC) est un matériau hygroscopique, c'est-à-dire qu'il peut réguler l'humidité relative de l'air par adsorption et désorption de la vapeur d'eau. Il est le siège de transferts de chaleur et d'humidité (transfert hygrothermique).

Dans ce travail, nous présentons dans un premier temps, la formulation du béton de bois de palmier dattier (DPC) ainsi que le dispositif expérimental utilisé pour la caractérisation des propriétés hygrothermiques sous des conditions dynamiques (NORDTEST). Dans un second temps, les résultats obtenus sont discutés et comparés à d'autres matériaux de construction biosourcés ou classique.

METHODES ET MATERIELS

Mis en œuvre des échantillons

Les échantillons ont été préparés en mélangeant des fibres de palmier dattier, du ciment et du sable dans un mélangeur (40 m/min) pendant 5 min. Un mélange à sec a d'abord été effectué pour homogénéiser les composants et de l'eau a ensuite été ajoutée progressivement. Le mélange a été versé par la suite dans des moules. Les échantillons ont été démoulés une semaine plus tard, puis séchés pendant deux mois dans des conditions de laboratoire standard (45% d'humidité relative et une température constante de 23°C) [1]. Un exemple des échantillons préparés est présenté dans la figure 1.

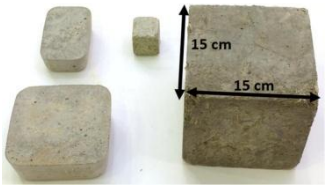


Fig.1 : Exemple des échantillons de béton biosourcés DPC.

Essais et mesures

Capacité du tampon hydrique (MBV)

La valeur du tampon hydrique (en anglais Moisture Buffer Value "MBV") indique la quantité d'eau adsorbée ou désorbée par un matériau hygroscopique par surface ouverte, pendant une durée définie, lorsque le matériau est soumis à des variations d'humidité relative de l'air ambiant. La valeur du tampon hydrique peut avoir plusieurs définitions selon l'échelle d'étude. L'unité de la MBV est [kg / (m^2 % HR)]. Le protocole Nordtest [2] propose une méthodologie d'évaluation de cette capacité pour laquelle les conditions hydriques sont représentatives des variations typiques journalières susceptibles d'être connues par un bâtiment.

Pour évaluer la capacité du DPC à absorber et à désorber (stocker et libérer) l'humidité de l'air ambiant, la méthode définie par le projet Nordtest [2] a été utilisée. Ce protocole consiste à exposer l'échantillon à des variations isothermes cycliques d'humidité relative (HR) entre des niveaux élevés (75% HR) et bas (33% HR) respectivement pendant 8 heures et 16 heures. Ce protocole a été appliqué pour deux températures différentes (23°C et 10°C) afin d'évaluer l'effet de la température sur les performances du DPC en matière de régulations d'humidité. Pour les mesures du MBV, des échantillons avec un volume moyen de (95 × 65 × 60 mm^3) ont été conditionnés dans un premier temps durant plusieurs semaines à 23°C et 50% d'humidité. Puis scellés sur cinq côtés avec des feuilles d'aluminium, afin d'assurer un transfert 1D sur la surface ouverte du côté supérieur de l'échantillon. L'échantillon a ensuite été placé sur une balance de marque « Sartorius » de précision de 0.001 g. L'ensemble de ce dispositif a été installé dans une chambre climatique (Memmert HPP 750 avec une précision de réglage de 0.1 °C pour la température et 0.5% pour l'humidité relative) conditionnée à 23 °C et 50 % d'HR jusqu'à ce que la variation du poids de l'échantillon soit inférieure à 0.1% à 24 h d'intervalle. Une fois cette condition atteinte, la variation cyclique de l'humidité relative a été lancée (cycles de 8 heures à 75% HR suivies de 16 heures à 33% HR) et le test du MBV a été également lancé.

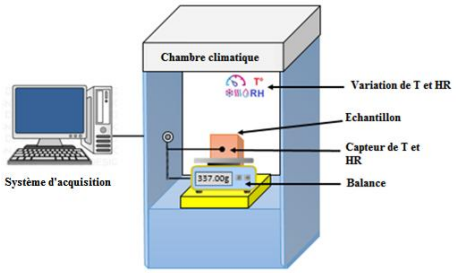


Fig.2 : Dispositif expérimental utilisé pour évaluer le tampon hydrique du DPC.

Cette procédure s'arrête lorsque le changement de poids Δm est inférieur à 5% pour trois cycles consécutifs [2], puis la valeur du MBV est directement calculée à l'état d'équilibre conformément à l'équation 1.

$$MBV = \frac{\Delta m}{A(HR_{haute} - HR_{bas})} \quad (1)$$

Avec, MBV : valeur du tampon hydrique [kg/ (m^2.%HR)], Δm: absorption/libération d'humidité au cours du dernier cycle [kg], A: surface moyenne ouverte de l'échantillon [m^2] (moyenne de trois mesure de la longueur × la moyenne de trois mesures de la largeur), HR_{haute}: niveau élevé d'humidité relative et HR_{bas}: niveau bas d'humidité relative.

La profondeur de pénétration « dp, 1% » a été estimée à l'aide de l'équation (2). Elle correspond à la profondeur où la variation de l'humidité devient inférieure à 1% de l'amplitude de variation à la surface de l'échantillon.

$$d_{p,1\%} = 4.61\sqrt{\frac{D_w . t_p}{\pi}} \quad (2)$$

$$D_w = \frac{\delta_0 . p_{vs}}{\frac{\partial w}{\partial HR}} \quad (3)$$

∂w / ∂HR est la capacité hygrique spécifique [kg / m^3], δ_{vs} est la perméabilité à la vapeur d'eau [kg / (m.s.Pa)],

Cette étape a été suivie par la détermination du MBV idéal déduite par analogie à l'analyse des phénomènes de transfert surfacique de chaleur. La valeur théorique ou idéale de la MBV est donnée par l'équation (4).

$$MBV_{idéale} \approx \frac{G(t)}{\Delta HR} = 0.00568 . p_s . b_m . \sqrt{t_p} \quad (4)$$

b_m : c'est l'effusivité hydrique défini comme suit :

$$b_m = \sqrt{\frac{\delta_0 . \frac{\partial w}{\partial HR}}{p_{vs}}} \quad (5)$$

Où δ_0 [kg / (m·s·Pa)] est la perméabilité à la vapeur d'eau, w [kg / kg] teneur en humidité, HR [-] humidité relative et p_s [Pa] pression de vapeur de saturation.

RESULTATS ET DISCUSSION

Valeur du tampon hydrique

La figure 3 compare la valeur du tampon hydrique notée «MBV» obtenue pour le DPC avec d'autres matériaux de construction biosourcés et classiques. Avant d'analyser les résultats, il est important de noter que de nombreux facteurs (concentration, nature des charges végétales, nature et formulation de la matrice, processus de fabrication,…) peuvent influencer le comportement hygrothermique des matériaux biocomposites. De ce fait, la comparaison des différents matériaux doit être effectuée avec prudence. Néanmoins, nous avons pris l'initiative de faire une telle comparaison entre plusieurs matériaux importants pour les applications de construction illustrées dans la figure 3.

On peut constater que la valeur de MBV la plus élevée a été obtenue pour le DPC [2.97 g / (m^2% HR)], suivie par les autres matériaux biosourcés documentés dans la littérature. Toutefois, les matériaux de construction traditionnels tels que le béton et la brique présentent des valeurs de tampon hydriques les plus faibles. En terme d'isotherme d'adsorption, la diffusivité en humidité du DPC obtenue par Haba *et al.* [3], est de 2.2 × 10^{-9} m^2s^{-1}, liée à sa forte porosité et à son hygroscopicité [3]. Une telle valeur est en accord avec l'excellente valeur du tampon hydrique déterminée précédemment.
Moon *et al.*[4], ainsi que Palumbo *et al.* [5], ont montré que les matériaux avec des valeurs de tampon hydrique élevées réduisaient les problèmes de condensation de l'air intérieur. On peut donc en conclure que le DPC présente une excellente capacité de rétention d'humidité, de plus, il peut être classé comme excellent régulateur de l'humidité selon la classification de Nordtest.

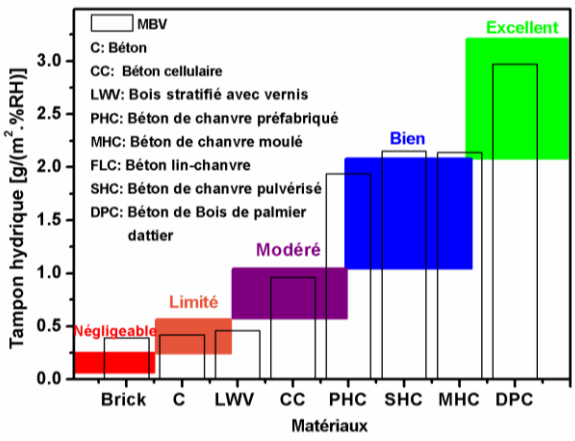


Fig.3 : Comparaison de la valeur du tampon hydrique (MBV) du DPC avec celle de plusieurs matériaux de construction rapportés dans la littérature[2, 6, 7]

En général, les propriétés de transport hydriques sont plus sensibles aux variations de température que les propriétés de stockage hydrique. L'effet de la température sur les phénomènes d'adsorption-désorption dépend du type de matériau étudié. Les variations des valeurs expérimentales de l'humidité relative à la surface et à une profondeur de 35 mm sont représentées dans la figure 4 pour le DPC, à 10 °C et à 23 °C.

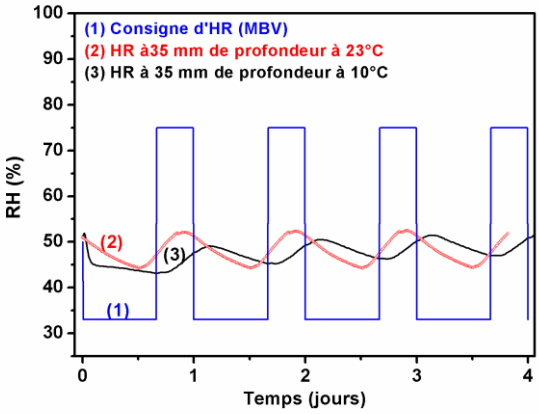


Fig.4 : Humidité relative mesurée à la surface et au milieu de l'échantillon du DPC (35mm de profondeur) lors des tests de MBV à 23 °C et 10 °C.

Il semble qu'à la profondeur de 35 mm, l'échantillon est faiblement affecté par la variation cyclique de l'humidité relative qui se produise dans la chambre climatique. Ce résultat expérimental correspond à la profondeur de pénétration d'environ 35 mm calculée à l'aide du protocole Nordtest.
Cette caractéristique du DPC présente un intérêt majeur pour la régulation de la variation externe d'humidité par rapport aux performances d'autres matériaux biosourcés.
Les résultats obtenus dans ce travail encouragent la poursuite du développement de ce nouveau matériau pour les applications de construction.

CONCLUSION

Ce travail a permis à la fois de mesurer la valeur du MBV ainsi que l'effet de la température sur le processus dynamique de sorption dans un béton biosourcé à base de fibres de palmier dattier. La valeur de MBV obtenue (2.97 [g/ (m^2%HR)]) indique que le DPC est un excellent régulateur d'humidité selon la classification Nordtes. De même, il a été démontré que la température semble avoir un impact important sur le comportement hydrique du béton biosourcé DPC. Enfin, la profondeur de pénétration de l'humidité a été estimée à 35 mm ce qui indique que les échantillons biosoucés DPC sont peu affectés par les variations externes d'humidité relative.

Les résultats obtenus dans cette étude encouragent la poursuite du développement de ce nouveau matériau pour les applications de construction.

RÉFÉRENCE

[1] N. Benmansour, B. Agoudjil, A. Gherabli, A. Kareche, and A. Boudenne, "Thermal and mechanical performance of natural mortar reinforced with date palm fibers for use as insulating materials in building," *Energy and Buildings*, vol. 81, pp. 98-104, 2014.

[2] C. Rode, R. H. Peuhkuri, K. K. Hansen, B. Time, K. Svennberg, J. Arfvidsson, and T. Ojanen, "NORDTEST project on moisture buffer value of materials," presented at AIVC Conference â€˜Energy performance regulation': Ventilation in relation to the energy performance of buildings, 2005.

[3] B. Haba, B. Agoudjil, A. Boudenne, and K. Benzarti, "Hygric properties and thermal conductivity of a new insulation material for building based on date palm concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 154, pp. 963-971, 2017.

[4] H. J. Moon, S. H. Ryu, and J. T. Kim, "The effect of moisture transportation on energy efficiency and IAQ in residential buildings," *Energy and Buildings*, vol. 75, pp. 439-446, 2014.

[5] M. Palumbo, A. Lacasta, N. Holcroft, A. Shea, and P. Walker, "Determination of hygrothermal parameters of experimental and commercial bio-based insulation materials," *Construction and Building Materials*, vol. 124, pp. 269-275, 2016.

[6] J. Chamoin, "Optimisation des propriétés (physiques, mécaniques et hydriques) de bétons de chanvre par la maétrise de la formulation," INSA de Rennes, 2013.

[7] A. Bourdot, G. Promis, A. D. T. Le, O. Douzane, A. Benazzouk, F. d. r. RosquoÃ«t, and T. Langlet, "Hygrothermal properties of blocks based on eco-aggregates: Experimental and numerical study," *Construction and building materials*, vol. 125, pp. 279-289, 2016.

Contrôle optimal de la source hybride basé sur la combinaison entre la PBC et HJB

Amel BENMOUNA[1,2], Mohamed BECHERIF[1,2], Loïc BOULON[3], Daniel DEPERNET[1,2],
[1]*FCLab, FR CNRS 3539, Femto-ST, UMR CNRS 6174, Bourgogne Franche-Comte University/UTBM, Belfort Cedex, France*
[2]*FCLAB, Univ. Bourgogne Franche-Comté, UTBM, CNRS Rue Ernest Thierry Mieg, F-90010 Belfort, France*
[3]*Université du Québec à Trois-Rivières, Hydrogen Research Institute, Trois-Rivières, Canada*

THEMATIQUE - Energie - Environnement

RESUME -De nos jours, la gestion de l'énergie d'un système hybride devient un sujet intéressant et stimulant pour plusieurs chercheurs. Le choix judicieux de la stratégie de gestion de l'énergie permet non seulement la meilleure répartition de l'énergie entre les différentes sources, mais aussi de réduire la consommation du système, d'augmenter la durée de vie des sources utilisées et d'assurer la demande énergétique qui impacte l'autonomie du véhicule électrique. Le but principal de ce travail est le contrôle et la gestion d'énergie utilisant la commande par passivité (PBC) qui est adoptée aux systèmes multisources multiconvertisseurs, en particulier Pile à Combustible/SuperCondensateur (PàC/SC). La PBC est une technique non linéaire très puissante qui utilise des informations importantes du système comme l'énergie totale du système. Le deuxième objectif est de déterminer le courant désiré du SC par la méthode Hamilton Jacobi Bellman (HJB) en fonction de la quantité d'hydrogène restante afin d'assurer le comportement souhaité du système. Des résultats expérimentaux sont obtenus qui prouvent l'efficacité et la faisabilité de l'approche proposée pour un banc de véhicule électrique (VE) réel.

Mots-clés— Véhicule électrique, PàC/SC, Supercondensateur, PBC, HJB.

1. INTRODUCTION

Le véhicule électrique hybride présente une bonne alternative pour remplacer le moteur à combustion interne. Ce système peut offrir une technologie zéro émission [1]. Il existe plusieurs types de véhicules électrifiés, les plus importants d'entre eux sont : Véhicule électrique hybride à PàC, VE à batterie, véhicule électrique PàC/Batterie, véhicule électrique PàC/SC et VE PàC/Batterie/SC [2]. Dans ces technologies, en général, la PàC fournit la puissance en régime permanent avec un minimum de variation de courant et la batterie et les SCs fournissent les courtes impulsions d'énergie [3]. L'utilisation d'un système de stockage avec la PàC est dû au temps de réponse lent des auxiliaires de la PàC à la demande rapide de la charge et à la non réversibilité de la PàC pour la récupération de l'énergie au freinage [4][5]. Cependant, le contrôle de la distribution de l'énergie entre les sources embarquées est une tâche importante pour la performance de ces technologies. Ce travail met l'accent sur le contrôle non linéaire basé sur l'approche Interconnection and Damping Assignment-Passivity Based Control (IDA-PBC) qui est appliqué pour la gestion d'énergie d'un système hybride composé de PàC/SC pour les applications véhiculaires. De plus, les contraintes des sources utilisées sont prises en compte en utilisant la méthode HJB [4].

2. FORMULATION DU PROBLEME

La contribution majeure de ce travail de recherche est de proposer une stratégie de gestion de l'énergie qui répartit la puissance entre différentes sources tout en prenant en compte leurs contraintes. La solution proposée permet de satisfaire les besoins en énergie tout en répondant aux différentes contraintes liées au fonctionnement de la chaîne énergétique.

L'objectif principal de cette étude est le contrôle de la puissance demandée par la charge en contrôlant la tension du bus DC à travers le convertisseur DC/DC de la PàC et le convertisseur DC/DC bidirectionnel en courant du SC. De plus, la tension du SC (donc l'état de charge) est contrôlée à sa valeur désirée V_{SC}^{d}. Dans ce travail, la PàC assure la majorité de la demande en énergie de la charge. Le rôle du SC, en tant que source auxiliaire, est d'alimenter la charge dans les phases transitoires. La production d'énergie excédentaire ou la récupération d'énergie de la phase de freinage peut être stockée dans le SC [6]. Pour atteindre ces objectifs, les auteurs proposent une stratégie efficace de gestion de l'énergie fondée sur le contrôle basé sur la passivité. Dans cette étude, le contrôle non-linéaire IDA-PBC est utilisé avec la structure Port Control Hamiltonien (PCH) qui permet de présenter des propriétés importantes du système comme l'énergie totale du système, l'amortissement et les interconnexions des états [24]. La méthode IDA-PBC est une technique non-linéaire puissante qui utilise des informations importantes du système comme l'énergie totale du système, les interactions entre les variables et l'amortissement et elle est considérée comme un moyen général de stabiliser une grande classe de systèmes physiques [7]. De plus, le courant de référence du SC est généré par la méthode HJB. Ces objectifs sont considérés en tenant compte l'optimisation des sources embarquées

3. STRUCTURE DU SYSTEME HYBRIDE A PAC

Dans ce travail, le système hybride étudié est composé d'une PàC comme source primaire et du SC comme système de stockage. Ces sources sont reliées au bus DC à travers des convertisseurs DC/DC, le convertisseur unidirectionnel est relié à la PàC et le bidirectionnel est relié au SC. La charge est représentée par un circuit RLE. La structure étudiée est la même que celle proposée dans [8].

Le système hybride s'écrit sous forme d'équations d'espace d'état d'ordre 5, en choisissant les variables d'espace d'état comme suit:

$$x = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5]^T = [i_{FC}, V_{DC}, i_{sc}, V_{sc}, i_L]^T$$

i_{FC} courant de la PàC, V_{DC} tension du bus DC, i_{sc} courant du SC, V_{sc} tension du SC, i_L courant de la charge.

Le modèle étudié est un système d'ordre 5 donné par :

$$\begin{aligned}
\dot{x}_1 &= \frac{1}{L_{FC}}[V_{FC} - \mu_1 x_2] \\
\dot{x}_2 &= \frac{1}{C_{DC}}[\mu_1 x_1 - x_5 + \mu_2 x_3] \\
\dot{x}_3 &= \frac{1}{L_{SC}}[x_4 - \mu_2 x_2] \\
\dot{x}_4 &= -\frac{1}{C_{SC}} x_3 \\
\dot{x}_5 &= \frac{1}{L_L}[x_2 - R_L x_5 - E_L]
\end{aligned} \qquad (1)$$

V_{FC}, L_{FC}, μ_1: la tension, l'inductance et la commande de la PàC, respectivement.
μ_2, L_{SC}, C_{SC}: la commande, l'inductance et la capacité du SC.
L_L, R_L, E_L : l'inductance, la résistance et la F.E.M de la charge. (1)

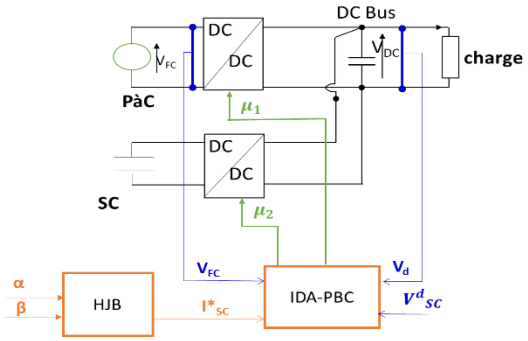


Fig.1 La structure globale du contrôle.

4. METHODOLOGIE D'IDA-PBC ET HJB

Afin d'atteindre les objectifs cités précédemment, les trajectoires d'équilibre sont calculées et données par:

$$\bar{x} = [\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{x}_4, \bar{x}_5]^T = \left[\bar{x}_1, V_d, \bar{x}_3, V_{SC}^d, \frac{V_d - E_L}{R_L}\right]$$

$$\bar{\mu}_1 = \frac{V_{PàC}}{\bar{x}_2} \quad ; \quad \bar{\mu}_2 = \frac{V_{SC}^d}{\bar{x}_2} \qquad (2)$$

$\bar{\mu}_i$ est la valeur de la commande à l'équilibre.

Le courant de référence du SC ($\bar{\imath}_{sc}$) est généré par la méthode HJB, voir le paragraphe ci-dessous :

4.1. la méthode HJB

La minimisation de la consommation d'hydrogène est considérée par la relation suivante :

$$min\ H_2 \Leftrightarrow \min P_{FC} \Leftrightarrow \min P_{FC}^2 \qquad (3)$$

La fonction coût qui permet d'atteindre la solution optimale pour la gestion d'énergie du système hybride est :

$$C = \alpha P_{FC}^2 + \beta P_{SC}^2 \qquad (4)$$

avec $\alpha + \beta = 1$, α, β sont des paramètres positifs à choisir pour donner plus d'importance ou plus d'usage à une source parmi d'autres. Chacun de ces paramètres peut prendre une valeur continue comprise entre 0 et 1. Les équations utilisées dans le contrôle optimal est sont reportées dans le tableau suivant :

Critères d'optimisation	$J = \int_0^t C\ dt = \int_0^t (\alpha P_{FC}^2 + \beta P_{SC}^2)\ dt$
Contraintes	$f = P_{FC} + P_{SC} - P_L = 0$
Hamiltonien	$H = C + \lambda^T f = \alpha P_{FC}^2 + \beta P_{SC}^2 + \lambda(P_{FC} + P_{SC} - P_L)$
Equations canoniques	$\begin{cases} H_{pFC} = 2\alpha P_{FC}^* + \lambda = 0 \\ H_{pSC} = 2\beta P_{SC}^* + \lambda = 0 \\ H_\lambda = P_{FC}^* + P_{SC}^* - P_L = 0 \end{cases}$

A partir de ces équations, la solution optimale est donnée par :

$$\begin{cases} P_{FC}^* = \dfrac{-\lambda}{2\alpha} \\ P_{SC}^* = \dfrac{-\lambda}{2\beta} \\ P_{FC}^* + P_{SC}^* = P_L \end{cases} \Leftrightarrow \lambda = -P_L \frac{2\alpha\beta}{\alpha + \beta} \qquad (5)$$

$$P_{SC}^* = V_{SC}^* \cdot I_{SC}^* \Leftrightarrow I_{SC}^* = \frac{\alpha}{(\alpha + \beta)} \frac{P_L}{V_{SC}} \qquad (6)$$

P_L est la puissance instantanée de la charge, I_{SC}^* est le courant optimal de référence du SC.

4.2. la méthode IDA-PBC

La fonction d'énergie désirée en boucle fermée est donnée par :

$$H_d = \frac{1}{2} \tilde{x}^T Q \tilde{x} \qquad (7)$$

avec $\tilde{x} = x - \bar{x}$ est l'erreur entre la variable et sa valeur à l'équilibre. $Q = [L_{FC}, C_{DC}, L_{SC}, C_{SC}, L_B, L_L]^T$est une matrice diagonale.

Les équations de la dynamique de l'erreur sont exprimées en utilisant le gradient de l'énergie désirée, comme suit :

$$\tilde{x}^{\cdot} = [J - R]\nabla H_d + \xi \qquad (8)$$

$$[J-R] = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-\mu_1}{C_{DC}L_{FC}} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\mu_1}{C_{DC}L_{FC}} & 0 & \frac{\mu_2}{C_{DC}L_{SC}} & 0 & \frac{-1}{C_{DC}L_L} \\ 0 & \frac{-\mu_2}{C_{DC}L_{SC}} & 0 & \frac{1}{C_{DC}L_{SC}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-1}{C_{DC}L_{SC}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{C_{DC}L_L} & 0 & 0 & \frac{-R_L}{L_L^2} \end{bmatrix}; \quad \nabla H_d = \begin{bmatrix} L_{FC}\tilde{x}_1 \\ C_{DC}\tilde{x}_2 \\ L_{SC}\tilde{x}_3 \\ C_{CS}\tilde{x}_4 \\ L_L\tilde{x}_5 \end{bmatrix} \quad \zeta = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_{FC}}(V_{FC} - \mu_1\bar{x}_2) \\ \frac{1}{C_{DC}}(\mu_1\bar{x}_1 - \bar{x}_5 + \mu_2\bar{x}_3) \\ \frac{1}{L_{SC}}(\bar{x}_4 + \mu_2\bar{x}_2) \\ \frac{-1}{C_{SC}}\bar{x}_3 \\ \frac{1}{L_L}(\bar{x}_2 - R_L\bar{x}_5 - E_L) \end{bmatrix}$$

Les lois du contrôle choisis sont :

$$\begin{cases} \mu_1 = \bar{\mu}_1 \\ \mu_2 = \bar{\mu}_2 - r\tilde{x}_3 \end{cases} \quad (9)$$

r est un paramètre positif à définir. Le choix de μ_1 permet le contrôle de la tension du bus malgré la variation de la tension de la PàC et le choix de μ_2 permet le contrôle du courant du SC et sa tension a sa valeur nominale désirée. Pour la stabilité, le lecteur peut se référé à l'étude [8].

5. VALIDATION EXPERIMENTALE EN TEMPS REEL

Sur la base des caractéristiques du banc d'essai du véhicule électrique Nemo de l'Institut de recherche sur l'hydrogène (UQTR Canada) (Fig.2), la validation à l'échelle réduite est proposée sur une plate-forme expérimentale (voir [8]).

Fig. 2 Véhicule électrique Némo

La Fig. 3 reporte la puissance demandée par la charge, la puissance de la PàC et la puissance du SC. On peut voir que la PàC assure la majorité de la demande de la charge. Cependant, le SC fournit et absorbe les pointes de puissance transitoires. Il est également clairement démontré que la puissance de la charge est la somme de la puissance SC et PàC à chaque moment. La Fig.3 montre aussi la charge du SC qui correspond à la puissance négative du SC par exemple à t = 270s ; 400s, dans ce cas la PàC charge le SC. De plus, cette figure montre le rôle complémentaire entre PÀC et SC pour alimenter la charge, ce qui correspond à la période comprise entre 45s et 150s. Cette figure est importante et reflète exactement le scénario proposé et illustre les avantages du contrôle de la puissance entre la PàC, le SC et la charge.

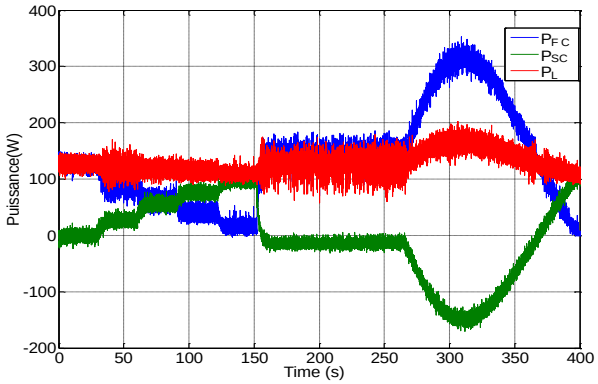


Fig. 3 les puissances obtenues par IDA-PBC + HJB des sources utilisées dans la source PàC/SC et la charge

6. CONCLUSIONS

Dans le cadre de cette étude, le contrôle optimal et la gestion de l'énergie des sources hybrides ont été présentés. La complexité du système due à la non linéarité du système et aux limitations de sources rendent difficile de trouver la commande qui répartit de manière optimale le flux de puissance entre les sources et la charge tout en fournissant la preuve de la stabilité globale. Notre contribution consiste en une nouvelle combinaison de l'approche non linéaire IDA-PBC avec la méthode d'optimisation HJB pour gérer et contrôler un système hybride PàC/SC pour véhicule électrique. L'optimisation HJB est utilisée pour générer les trajectoires de référence optimales souhaitées pour chaque source en tenant compte des contraintes de limitation de la source embarquée. La technique IDA-PBC est utilisée pour contrôler le partage de l'énergie entre les sources et pour assurer le suivi du courant et de la tension des sources auxiliaires vers leurs références. La validation expérimentale tenant compte des limites de la SC et de l'hydrogène a été réalisée et valide l'efficacité de la combinaison proposée en termes de stabilité, de gestion optimale de l'énergie, de bonne performance de suivi et d'application en temps réel.

7. REFERENCES

[1] V. Ramanathan and Y. Feng, "Air pollution, greenhouse gases and climate change: Global and regional perspectives," *Atmos. Environ.*, vol. 43, no. 1, pp. 37–50, 2009.

[2] H. Li, A. Ravey, A. N'Diaye, and A. Djerdir, "A novel equivalent consumption minimization strategy for hybrid electric vehicle powered by fuel cell, battery and supercapacitor," *J. Power Sources*, vol. 395, no. May, pp. 262–270, 2018.

[3] J. P. Stempien and S. H. Chan, "Comparative study of fuel cell , battery and hybrid buses for renewable energy constrained areas," *J. Power Sources*, vol. 340, pp. 347–355, 2017.

[4] A. Benmouna, M. Becherif, D. Depernet, C. Dépature, and L. Boulon, "Nonlinear control and optimization of hybrid electrical vehicle under sources limitation constraints," *Int. J. Hydrogen Energy*, no. In press, 2019.

[5] L. Ming, Y. Ying, L. Liang, L. Yao, and W. Zhou, "Energy Management Strategy of a Plug-in Parallel Hybrid Electric Vehicle Using Fuzzy Control," *Energy Procedia*, vol. 105, pp. 2660–2665, 2017.

[6] A. Benmouna, M. Becherif, D. Depernet, and M. A. Ebrahim, "Novel Energy Management Technique for Hybrid Electric Vehicle via Interconnection and Damping Assignment Passivity Based Control," *Renew. Energy*, vol. 119, 2018.

[7] M. Becherif and E. Mendes, "Stability And Robustness Of Disturbed-Port Controlled Hamiltonian Systems With Dissipation," *IFAC Proc. Vol.*, vol. 38, no. 1, pp. 574–579, Jan. 2005.

[8] A. Benmouna, M. Becherif, C. Dépature, L. Boulon, and D. Depernet, "Experimental study of energy management of FC/SC hybrid system using the Passivity Based Control," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 3, pp. 1–10, 2018.

Détermination des paramètres thermiques de couches minces par thermoréflectance et ajustement numérique multiparamètre

Mathieu Bardoux[1], Élie Badine[1,2], Nadine Abboud[2],
Ziad Herro[2], Abdelhak Hadj Sahraoui[1]
mathieu.bardoux@univ-littoral.fr

[1]Univ. Littoral Côte d'Opale, EA 4476 - UDSMM -
Unité de Dynamique et Structures de Matériaux Moléculaires, F-59140 Dunkerque, France
[2] Laboratoire de Physique Appliquée, Faculté des Sciences,
Université Libanaise, campus Fanar, Liban

Thèmes – *Énergie - Électronique - Matériaux*

Résumé – *Le présent article détaille une méthode de détermination des propriétés thermiques de couches minces isotropes. Cette méthode repose sur une série de mesures par thermoréflectance, couplée à un modèle 3D de propagation de la chaleur. L'ajustement numérique entre le modèle et les mesures permet la détermination des paramètres thermophysiques : diffusivité et conductivité thermique, mais aussi résistances thermiques d'interfaces. La thermoréflectance est un dispositif de mesure pompe-sonde, dans lequel un laser pompe modulé crée une source de chaleur à la surface d'un échantillon. Cette source de chaleur entraîne une modification de la température de surface de l'échantillon, qui entraîne à son tour un changement de réflectivité de la surface. Un laser sonde continu, réfléchi par la surface, permet de déterminer la variation de réflectivité en fonction de la distance à la source. Un modèle permet de relier les variations de température aux propriétés thermophysiques des couches étudiée.*

Mots-clés – *Diffusivité thermique; Conductivité thermique; Thermoréflectance; Films minces*

1 Introduction

Un composant électronique ou optoélectronique en fonctionnement produit généralement de la chaleur. Celle-ci doit être évacuée, sous peine de provoquer une surchauffe entraînant des effets néfastes (modification des propriétés du composant, voire destruction de celui-ci). Et la miniaturisation de plus en plus poussée des composants donne à cette question une criticité accrue. Il importe donc de connaître les propriétés thermiques des matériaux utilisés, afin d'optimiser l'évacuation de chaleur.

Ces propriétés sont souvent bien connues dans le cas d'un matériau, de taille macroscopique. Cependant, les transferts thermiques aux échelles nanométriques sont soumis à des phénomènes particuliers, effets de confinements liés aux nanostructures[1]. La détermination des propriétés thermiques de couches minces constitue donc une nécessité, en même temps qu'un défi métrologique.

En raison de son caractère non destructif et sans contact, joint à une bonne résolution spatiale, la mesure par thermoréflectance constitue un instrument de choix pour ce type d'études. Plusieurs travaux ont permis de produire des résultats, soit à l'aide de méthodes exactes mais coûteuses en temps de calcul , soit au prix de simplifications qui en limitent l'application à certaines configurations[2].

2 Dispositif expérimental

Une variation de température ΔT entraîne une variation de réfléctivité ΔR de l'ordre de $10^{-3} - 10^{-5}\,\mathrm{K}^{-1}$. Afin de mesurer ΔR, puis d'en déduire ΔT, le dispositif représenté sur la figure 1 est utilisé. Il se compose d'un laser pompe à 532 nm modulé à quelques centaines de MHz, qui crée une source de chaleur à la surface de l'échantillon à étudier. Un laser sonde à 670 nm, continu, est réfléchi sur l'échantillon, puis capté par une photodiode reliée à une détection synchrone. Les variations du signal réfléchi permettent de déterminer ΔR, en amplitude et en phase.

Un miroir mobile permet de faire varier la distance pompe-sonde, mesurant ainsi ΔR en fonction de la distance au point source. La décroissance du signal (amplitude) et son retard (phase) en fonction de cette distance sont fonction des couches composant l'échantillon (matériaux, épaisseurs, résistances d'interfaces).

L'échantillon étudié ici est présenté sur la figure 2. Il s'agit d'un film mince d'or (100 nm, couche 1) déposé sur un substrat de silicium (couche 2). La surface de l'échantillon est en contact avec l'air (couche 0). Le modèle développé ci-après permettra de retrouver les paramètres physiques de l'or ainsi que la résistance d'interface entre l'or et le silicium. Ces résultats sont obtenus par un ajustement numérique direct, peu consommateur de ressources, sans hypothèses particulières sur les propriétés des matériaux étudiés.

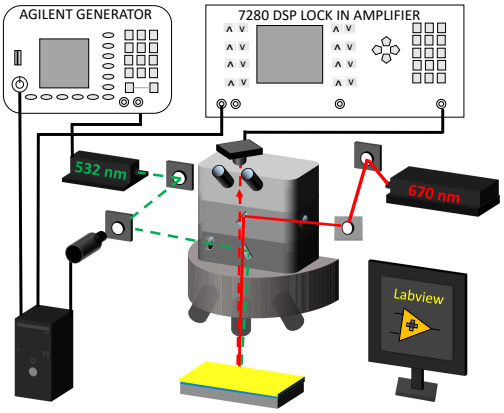


FIGURE 1 – Montage expérimental

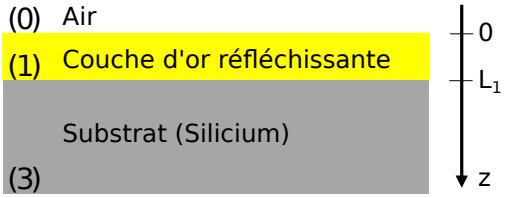


FIGURE 2 – Configuration de l'échantillon

3 Modèle théorique

L'augmentation de température T_n dans la couche n doit satisfaire l'équation différentielle suivante :

$$\nabla^2 T_n(r,\omega,z) - \sigma_n^2 T_n(r,\omega,z) = 0 \tag{1}$$

où $\sigma_n = (1+j)/\mu_n$ est le coefficient de diffusion complexe, $\mu_n = \sqrt{2\alpha_n/\omega}$ la longueur de diffusion thermique, reliant la diffusivité thermique α_n du matériau n à la pulsation de la source de chaleur $\omega = 2\pi f$.

Cette équation est traitée en considérant les conditions aux limites suivantes : continuité des températures à l'interface 0/1, discontinuité des températures à l'interface 1/2 en raison d'une résistance thermique d'interface R_{th}, et continuité des flux de chaleur aux deux interfaces.

La symétrie cylindrique du problème permet d'étudier l'élévation de température à travers sa transformée de Hankel, qui prend la forme suivante[3] :

$$\overline{T}_1(\lambda,\omega,z) = \frac{I_0 R_1^2}{\kappa_1 s_1 (1+B_{01})} \left\{ \frac{1 - n\exp\left[-2s_1(L_1 - z)\right]}{1 - \Gamma_{01} n \exp(-2s_1 L_1)} \right\} \exp\left[-\left(s_1 z + \frac{\lambda^2 R_1^2}{2} \right) \right], \tag{2}$$

où $s_1^2 = \lambda^2 + \sigma_1^2$ est le nombre d'onde complexe, $B_{ij} = (\kappa_i s_i)/(\kappa_j s_j)$ et $\Gamma_{ij} = (B_{ij} - 1)/(B_{ij} + 1)$ sont les coefficients de réflexion de l'onde thermique , et $n = (1 - B_{12} - R_{th}\kappa_1 s_1)/(1 + B_{12} + R_{th}\kappa_1 s_1)$.

Afin de déterminer le signal effectivement mesuré, la convolution avec le faisceau sonde est prise en compte à travers un rayon effectif $R_e = \sqrt{R_1^2 + R_2^2}$. En négligeant la conductivité thermique de l'air, très faible devant celle des solides étudiés, on obtient finalement le signal détecté par la détection synchrone :

$$T_{1_{(3D)}}(r,\omega,z=0) = \int_0^\infty \frac{I_0 R_1^2}{\kappa_1 s_1}\left[\frac{1-n\exp(-2s_1L_1)}{1+n\exp(-2s_1L_1)}\right] \exp\left(-\frac{\lambda^2 R_e^2}{2}\right) J_0(\lambda r)\lambda \mathrm{d}\lambda, \quad (3)$$

où J_0 est la fonction de Bessel d'ordre 0.

4 Résultats

Les figures 3 et 4 montrent le signal de thermoréflectance mesuré en fonction de la distance à la source de chaleur (cercles) ainsi que l'ajustement numérique (trait continu), pour deux valeurs de fréquence. L'ajustement numérique permet de déterminer les propriétés du matériau. La mesure à plusieurs fréquences n'est pas une nécessité, mais nous permet de valider la cohérence des résultats.

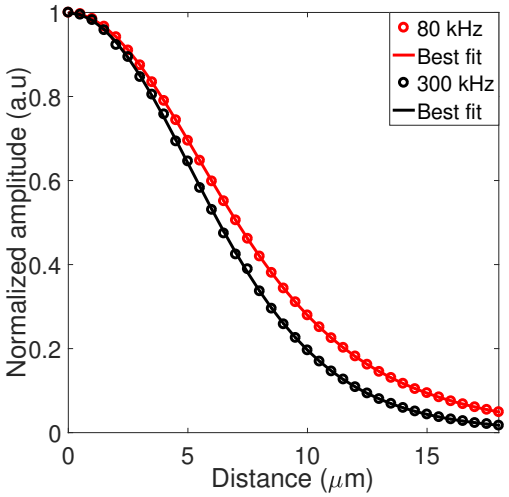


FIGURE 3 – Montage expérimental

Ces mesures ont permis de retrouver les propriétés thermiques de la couche d'or conformes à la littérature[4], ainsi que la résistance thermique d'interface or-silicium :

$$\begin{cases} \alpha_1 = (6.11 \pm 0.24) \times 10^{-5}\,\mathrm{m^2 s^{-1}} \\ \kappa_1 = (159.73 \pm 0.41)\,\mathrm{W m^{-1} K^{-1}} \\ R_{th} = (0.96 \pm 0.09) \times 10^{-8}\,\mathrm{m^2 K W^{-1}} \end{cases}.$$

5 Conclusions

Nous avons présenté une méthode de détermination des propriétés thermiques de couches minces. Cette méthode

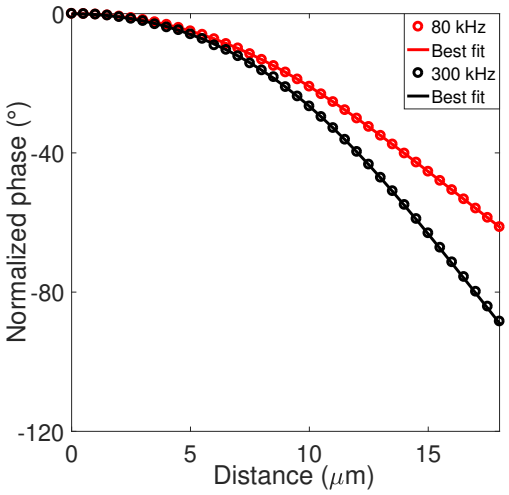


FIGURE 4 – Montage expérimental

utilise des mesures de thermoréflectance, couplées à un modèle à trois dimensions utilisant la transformée de Hankel. La méthode s'est montrée précise, rapide et fiable pour déterminer les propriétés thermiques de l'échantillon : conductivité thermique, diffusivité thermique et résistance d'interface.

6 Remerciements

Les auteurs expriment leur gratitude à l'Université du Littoral Côte d'Opale et à la faculté des Sciences de l'Université Libanaise, pour leur soutien à ces travaux.

Références

[1] S.-M. Lee, D. G. Cahill, and T. H. Allen, *Thermal conductivity of sputtered oxide films*, Physical Review B **52**, 253 (1995)

[2] C. Frétigny, J-Y. Duquesne, D. Fournier and F. Xu, *Analysis of Thermal insulating layer on a conducting substrate*, J. Appl. Phys., vol. 111, 2012

[3] A. Mandelis, *Diffusion-wave fields : mathematical methods and Green functions*, Springer Science & Business Media, 2013

[4] A. J. Schmidt, R. Cheaito, and M. Chiesa, *Characterization of thin metal films via frequency-domain thermoreflectance*, Journal of Applied Physics **107**, 024908 (2010)

Etude numérique du comportement hygrothermique d'un matériau biosourcé pour une construction durable

Tarek ALIOUA[1, 2],Nawal CHENNOUF[1, 2], Aderrahim BOUDENNE[1], Boudjemaa AGOUDJIL[2]

[1] *Université Paris Est Créteil Val de Marne, CERTES, 61 Av. Du Général de Gaulle, 94010 Créteil Cedex, France ;*

[2] *Université Batna -1, LPEA, Les Allées 19 Mai Route de Biskra Batna, Algérie;*

THEMATIQUE -

- Energie - Environnement

RESUME –Dans ce travail, nous avons étudié numériquement le comportement hygrothermique d'un nouveau matériau biosourcé à base de fibres de palmier dattier. Le modèle mathématique utilisé a été validé avec des données issues de la littérature pour un matériau de construction classique connu. Les résultats expérimentaux obtenus pour le cas d'un mur en béton de palmier dattier (DPC) ont été confronté à ceux obtenus par éléments finis pour évaluer le comportement thermique et hydrique à différentes profondeurs de la paroi en DPC. Les résultats montrent que notre matériau possède une meilleure isolation thermique par rapport à un béton classique.

Mots-clés—Matériaux biosourcés, isolation thermique, Transfert thermique, Transfert hydrique.

Nomenclature

c_0	Chaleur spécifique du matériau (J kg^{-1} K^{-1})
c_l	Chaleur spécifique de l'eau (J kg^{-1} K^{-1})
D_l	Coefficient de transfert de liquide (kg m^{-1} s^{-1})
l_v	Chaleur latente de vaporisation (J kg^{-1})
p_{sat}	Pression de saturation de vapeur (Pa)
w	Teneur en eau (kg m^{-3})
δ	Perméabilité du matériau à la vapeur (kg m^{-1} s^{-1} Pa^{-1})
ξ_φ	Capacité de sorption (kg m^{-3} %$^{-1}$)
λ	Conductivité thermique (W m^{-1} K^{-1})
ρ_0	Masse volumique du matériau (kg m^{-3})
φ	Humidité relative (%)

1. INTRODUCTION

Le secteur de l'habitat représente l'un des principaux consommateurs d'énergie, où l'isolation thermique et le confort intérieur peuvent encore être optimisés. L'une des solutions récentes qui suscite un intérêt grandissant est l'utilisation de nouveaux matériaux de construction issus de la biomasse. En effet, l'ajout de fibres naturelles aux matériaux de construction classiques les rend très poreux, stockant ainsi des quantités considérables de chaleur et d'humidité.

Au cours de la dernière décennie, beaucoup de travaux expérimentaux ont été menés pour étudier diverses propriétés (mécaniques, thermiques et hydriques) de ces matériaux à l'échelle du matériau et de la paroi [1,2]. De la même manière, plusieurs modèles de prédiction des transferts de chaleur et de masse dans les matériaux poreux de construction ont été développés et résolus à l'aide de programmes de simulation tels que SPARK [3], TRNSYS [4] ou Wufi [5].

Dans ce travail, nous étudions numériquement les performances d'un nouveau béton biosourcé à base de fibres de palmier dattier et mortier. Les résultats numériques sont comparés avec ceux du Béton Cellulaire Autoclavé (BCA) afin de mettre en évidence l'importance des propriétés du béton biosourcé par rapport à un matériau classique.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Modèle mathématique et validation

Le modèle utilisé dans cette étude a été développé par Kunzel [6], qui utilise l'humidité relative et la température comme potentiels de calcul. Les équations unidimensionnelles de conservation de masse et d'énergie de ce modèle s'écrivent comme suit :

$$\xi_\varphi \frac{d\varphi}{dt} = \nabla(\delta \nabla p_{sat} \varphi + D_l \nabla \varphi) \quad (1)$$

$$(\rho_0 c_0 + c_l w) \frac{dT}{dt} = \nabla(\lambda \nabla T) - l_v \nabla(\delta \nabla p_{sat}) \quad (2)$$

Ce modèle a été validé avec des résultats expérimentaux obtenus pour un mur en Béton de Palmier Dattier (DPC : date palm concrete) de dimensions 50×40×15 cm Fig. 1, 2.

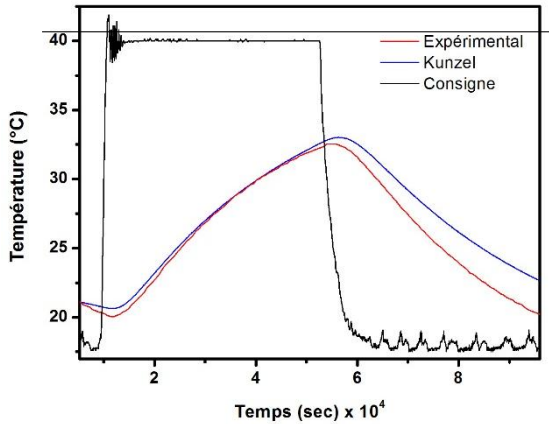


Fig.1 : Validation du modèle de Kunzel pour le transfert thermique à 7.5 cm de profendeur

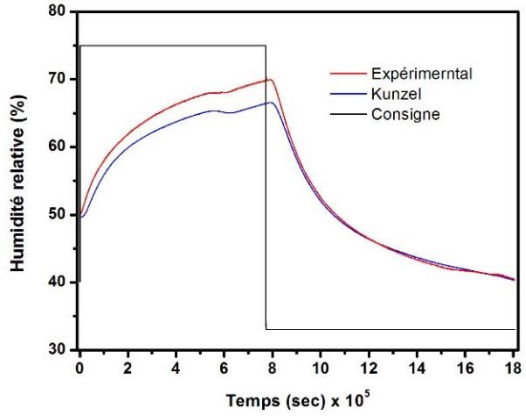


Fig.2 : Validation du modèle de Kunzel pour le transfert hydrique à 3 cm de profondeur

On remarque que le modèle mathématique donne des résultats très proches de l'expérimental avec des différences inférieures à 2.5 °C pour la température et 4% pour l'humidité relative. Par conséquence, ce modèle peut être utilisé par la suite dans l'étude numérique.

2.2. Matériaux

Le DPC est un nouveau matériau biosourcé composé de mortier ordinaire (ciment + sable + eau) renforcé avec 15% en masse de fibres de bois de palmier dattier. Les propriétés de ce matériau sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1: Propriétés du DPC

Propriété	**Valeur**	**Référence**
Masse volumique[kg m^{-3}]	954	[2]
Conductivité thermique à l'état sec [W m^{-1} K^{-1}]	0.185	[2]
Chaleur spécifique [J kg^{-1} K^{-1}]	1500	[7]
Supplément d'humidité de la conductivité thermique [-]	10.19	[2]
Facteur de résistance à la vapeur d'eau [-]	6.31	[8]

En revanche, le matériau classique choisi pour la comparaison est le Béton Cellulaire Autoclavé (BCA). La raison derrière ce choix est la classification par Benmansour et *al.* [7] de notre matériau (DPC) comme béton pour l'isolation. Les propriétés du BCA sont présentées dans le Tableau 2 [9].

Tableau 2: Propriétés du BCA

Propriété	**Valeur**
Masse volumique[kg m^{-3}]	600
Conductivité thermique à l'état sec[W m^{-1} K^{-1}]	0.14
Chaleur spécifique [J kg^{-1} K^{-1}]	850
Supplément d'humidité de la conductivité thermique [-]	3.7
Facteur de résistance à la vapeur d'eau [-]	8

Les courbes de sorption des deux matériaux sont présentées en Fig. 3.

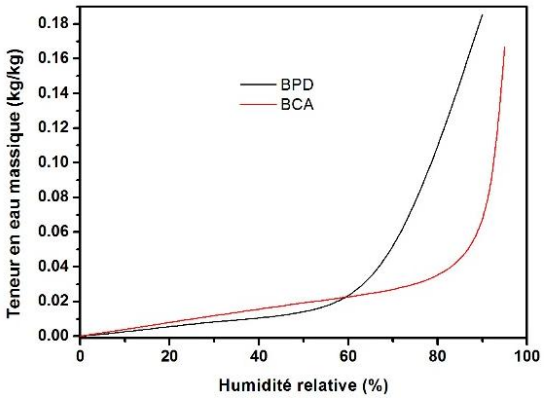


Fig.3 : Courbes de sorption des matériaux étudiés

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Le modèle mathématique présenté et validé dans la section 2.1 a été implémenté dans un code de calcul par éléments finis. Pour chaque matériau, un mur de 50×40×15 cm^3 a été simulé en introduisant les propriétés présentées dans la section 2.2.

3.1. Transfert de chaleur

Le test du transfert thermique se fait de la manière suivante :

- Le mur était initialement à 23 °C et 50% d'humidité relative.
- La surface externe du mur a été exposée à 5 cycles de type créneau, en température de 40-18 °C à 50% d'humidité relative.
- Chaque cycle dure 24 heures.
- La surface interne était en contact avec des conditions ambiantes (T = 23 °C et RH = 50%)

Les résultats sont présentés en Fig. 4.

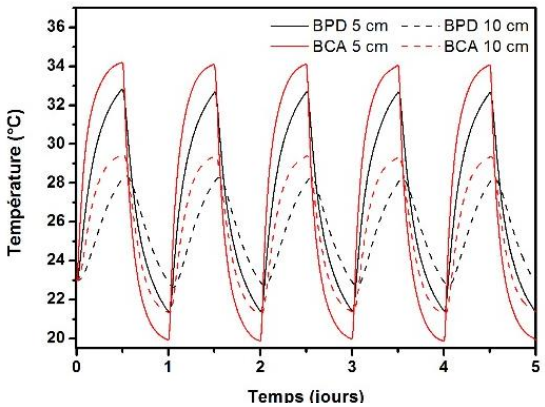


Fig.4 : Profils de température dans les murs en DPC et BCA

sciencesconf.org:cmiut2019:261251

On remarque que les variations de la température à l'intérieur du DPC sont plus faibles que celles dans le BCA. Les amplitudes des variations à 5 cm sont respectivement de 11.46°C et de 14.28°C pour le DPC et le BCA. A 10 cm de profondeur, les amplitudes des variations sont à 5.73°C pour le BPD et de 8.14°Cpour le BCA. Ces résultats montrent que le DPC atténue d'une manière plus efficace les variations externes de température. De plus, on note un retard dans la réponse du mur en DPC par rapport à celui en BCA. Ce retard est plus remarquable pour la profondeur de 10 cm (un retard de 43 min). Cette inertie se traduit par une meilleure isolation thermique de la paroi biosourcée ce qui est intéressant pour des constructions dans une zone aride.

3.2. Transfert d'humidié

Le test du transfert hydrique se fait de la manière suivante :

- Le mur était initialement à 23 °C et 50% d'humidité relative.
- La surface externe du mur a été exposée à une humidité relative de 75% à 23 °C.
- Le test dure 10 jours.
- La surface interne était en contact avec des conditions ambiantes (T = 23 °C et RH = 50%)

Les résultats sont présentés dans Fig. 5.

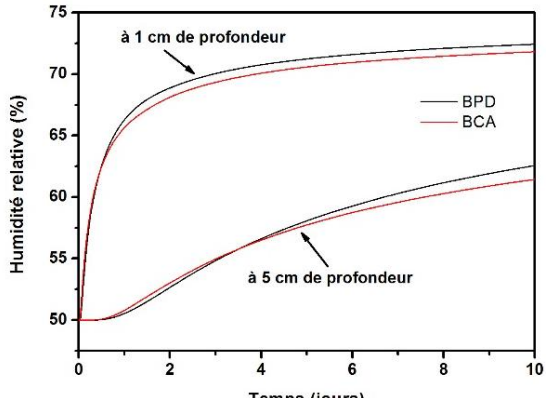


Fig. 5 : Profils d'humidité relative dans les murs en DPC et BCA

Les deux matériaux possèdent presque le même comportement hydrique et cela pour différentes profondeurs. L'évolution de l'humidité dans le DPC se situe légèrement au-dessus de celle du BCA. Cela, reflète la capacité du DPC à stocker la vapeur d'eau notamment grâce aux fibres de palmier dattier ce qui permet, selon les conditions internes et externes, d'emmagasiner l'excès de vapeur et de le restituer dans des conditions de sécheresse.

4. CONCLUSIONS

Dans ce travail, nous avons réalisé une étude numérique du comportement hygrothermique d'un nouveau matériau de construction biosourcé à base de fibres de palmier dattier. Pour évaluer la performance de ce matériau, une étude comparative avec un béton classique conçu pour l'isolation, a été effectuée.

La comparaison des profils de température à l'intérieur de chaque matériau relève une capacité très importante du DPC à atténuer les variations externes par rapport au béton classique. De même, les profils d'humidité relative dans les murs ont été comparés, et une meilleure capacité de stockage d'humidité pour le DPC a été mise en évidence. Finalement, on peut conclure que ce nouveau matériau biosourcé est très prometteur pour les applications en tant qu'isolant thermique et modérateur d'humidité afin d'assurer un meilleur confort hygrothermique aux habitants.

5. REFERENCES

[1] M. Rahim, O. Douzane, A. T. Le, G. Promis, B. Laidoudi, A. Crigny, B. Dupre and T. Langlet, "Characterization of flax lime and hemp lime concretes: Hygric properties and moisture buffer capacity," Energy and Buildings, vol. 88, p. 91–99, 2015.

[2] B. Haba, B. Agoudjil, A. Boudenne and K. Benzarti, "Hygric properties and thermal conductivity of a new insulation material," Construction and Building Materials, vol. 154, p. 963–971, 2017.

[3] C. Maalouf, A. T. Le, S. B. Umurigirwa, M. Lachi and O. Douzane, "Study of hygrothermal behaviour of a hemp concrete building envelope under summer conditions in France," Energy and buildings, vol. 77, pp. 48-57, 2014.

[4] M. Steeman, M. De Paepe, &A. Janssens. Impact of whole-building hygrothermal modelling on the assessment of indoor climate in a library building. Building and environment, vol. 45, p. 1641-1652, 2010.

[5] M. R, Hall, &D. Allinson. Transient numerical and physical modelling of temperature profile evolution in stabilised rammed earth walls. Applied Thermal Engineering, vol. 30, p. 433-441, 2010.

[6] H. M. Künzel, Simultaneous heat and moisture transport in building components. One-and two-dimensional calculation using simple parameters, Stuttgart: IRB-Verlag, 1995.

[7] N. Benmansour, B. Agoudjil, A. Gherabli, A. Kareche and A. Boudenne, "Thermal and mechanical performance of natural mortar reinforced with date palm fibers for use as insulating materials in building," Energy and Buildings, vol. 81, p. 98–104, 2014.

[8] N. Chennouf, B. Agoudjil, A. Boudenne, K. Benzarti and F. Bouras, "Hygrothermal characterization of a new bio-based construction material: Concrete reinforced with date palm fibers," Construction and Building Materials, vol. 192, p. Construction and Building Materials, 2018.

[9] WUFI®,WUFI®,[Online]. Available: https://wufi.de/en/software/validation/.

Représentation d'état d'ordre réduit des équations de Vlasov-Poisson

CISSE Amadou[*,1], BOUTAYEB Mohamed[*,1]

[*] amadou.cisse@univ-lorraine.fr, [*]mohamed.boutayeb@univ-lorraine.fr

[1] Centre de recherche automatique de Nancy
Université de Lorraine - CRAN CNRS UMR 7039

Thèmes – *Automatique*

Résumé – *Ce travail consiste à établir une représentation d'état d'ordre réduit des équations de Vlasov-Poisson. L'idée est à partir de l'approximation hyperbolique réduite de Vlasov-Poisson de l'associer à une interpolation de Légende pour retrouver la fonction de distribution uniquement en temps. Ce qui implique d'obtenir un système d'équation ordinaire dépendant du temps. Cette réduction du système nous permettra d'étudier la synthèse d'observateur d'état.*

Mots-clés – *Systèmes EDP, Système non linéaires, Observation-contrôle, Modélisation-Simulation*

1 Introduction

Nous rappelons le système de Vlasov-Poisson : soit $\Omega_x =]0, L[$, $\Omega_T = [0, T[$ et $\Omega_v =]-V, V[\subset \mathbb{R}$. Nous notons par $f(t,x,v)$ la fonction de distribution des électrons dans l'espace des phases (avec la masse normalisée à un et la charge d'un électron à plus un) et par $E(t,x)$ le champ électrique auto-consistant. Le système de Vlasov-Poisson s'écrit alors de la façon suivante

$$\frac{\partial f}{\partial t} + v\frac{\partial f}{\partial x} + E\frac{\partial f}{\partial v} = 0, \quad (t,x,v) \in \Omega_T \times \Omega_x \times \Omega_v, \quad (1)$$

$$\frac{\partial E}{\partial x}(t,x) = \int_v f(t,x,v)dv - 1, \quad (x,v) \in \Omega_x \times \Omega_v, \quad (2)$$

avec une donnée initiale positive,

$$f(0,x,v) = f_0(x,v), \quad (x,v) \in \Omega_x \times \Omega_v, \quad (3)$$

Nous imposons des conditions aux limites périodiques en x :

$$E(0,t) = E(L,t), \ f(t,0,v) = f(t,L,v), \ (t,v) \in \Omega_T \times \Omega_v, \quad (4)$$

une condition de compatibilité signifiant la "neutralité globale" du plasma

$$\frac{1}{L}\int_x \int_v f(t,x,v)dvdx = 1 \ t \in \Omega_T. \quad (5)$$

Pour déterminer de façon unique le champ électrique $E(t,x)$, nous ajoutons une condition de moyenne nulle

$$\int_x E(t,x)dx = 0 \ t \in \Omega_T, \quad (6)$$

ce qui revient à supposer que le potentiel électrique est périodique.

2 Vlasov-Poisson interpolation par la méthode des éléments finis

Soient $\tilde{Q} =]-1, 1[$: l'élément de référence. $\tilde{N}_i = -1 + 2\frac{i-1}{d}$, $i = 1 \cdots d+1$: nœuds référence. $(Q_i)_{i=1\cdots N}$: N éléments de l'intervalle $]-V, V[$. $N_j = -V + \frac{2V}{d.N}(j-1)$: $N_v = d.N + 1$ nœuds de l'intervalle $]-V, V[$; τ_i : une transformation affine de $\tilde{Q}$ dans Q_i. $(\varphi_i)_{i=1\cdots N_v}$: les fonctions de base. Les fonctions de base $(\varphi_i)_{i=1\cdots N_v}$ satisfont

$$\varphi_i(N_j) = \delta_{ij}.$$

Les fonctions de distribution $f(x,v,t)$ est approchée par :

$$f(x,v,t) = \sum_1^{N_v} w_j(x,t)\varphi_j(v). \quad (7)$$

On a

$$f(x,N_i,t) = \sum_1^{N_v} w_j(x,t)\varphi_j(N_i). \quad (8)$$

On peux écrire la condition initiale comme suit

$$w(x,0) = f(x,N_j,0) = f_0(x,N_j). \quad (9)$$

L'équation de Vlasov [1] devient

$$M\partial_t w + A\partial_x w + EB(E)w = 0 \quad (10)$$

où

$$w = (w_1, w_2, \cdots, w_{N_v})^T.$$

Les matrices M, A, B sont des matrices de tailles $N_v \times N_v$ et sont définies par

$$M_{ij} = \int_v \varphi_i\varphi_j, \ A_{ij} = \int_v v\varphi_i\varphi_j,$$

et

$$(B(E))_{ij} = \frac{E^+}{2}\varphi_j(-V)\varphi_i(-V) - \frac{E^-}{2}\varphi_j(V)\varphi_i(V) + \int_v \varphi_i\varphi_j',$$

avec

$$E^+ = \max(0,E), \ E^- = \min(0,E).$$

L'équation (10) est appelée l'équation de Vlasov réduite. C'est un système écrit dans l'espace de x et non l'espace de phase (x,v). C'est un système hyperbolique. Donc nous pouvons utiliser les méthodes numériques pour les systèmes hyperboliques pour sa résolution.
Les matrices M, A, B sont calculées par la méthode d'intégration de Gauss-Legendre.

3 Projection de la fonction de distribution et le champ électrostatique

Nous considérons la même approche que [2]. Pour cela nous considérons l'espace des fonctions $\mathbb{P}^{N_v}$ comme l'espace engendré par le produit tensoriel des polynômes de Legendre défini par :

$$\mathbb{P}^{N_v} = \left\{ f(x,v) = \sum_{(k_1,k_2)} a_{k_1,k_2} p_{k_1} p_{k_2}(x), \ \forall k_1, k_2 \leq N_v \right\}$$

Les fonctions tests seront prises parmi la base

$$\{p_{k_1}p_{k_2}, \ \forall k_1, k_2 \leq N_v\}$$

et on pose $k = (k_1, k_2)$. La fonction de distribution au temps initial est décomposée sur cette base comme décrit par les formules (2.2.21), (2.2.22) et (2.2.23) de [3], reprises ici dans les formules (11) et (12)

$$f(x_{i_g}, v_{j_g}) = \sum_k f_k P_k(x_{i_g}, v_{j_g}), \ \forall i,j \quad (11)$$

où f_k sont les coefficients de la décomposition de f sur la base des $\{P_k\} = \{(p_{k_1}, p_{k_2})\}_{(k_1,k_2)}$ obtenus par la relation

$$f_k = \frac{\Delta x_{i_g} \Delta v_{j_g}}{4} \sum_{i_g,j_g} f(x_{i_g}, v_{j_g}) P_k(x_{i_g}, v_{j_g}) \alpha_{i_g,j_g}. \tag{12}$$

où α_{i_g,j_g} sont des poids de Gauss, $\{x_{i_g}, i\}$ et $\{v_{j_g}, j\}$ les points de Gauss. La formule (2.2.23) de [3] est une formule de normalisation. L'utilisation d'une base orthonormée fait qu'il n'est pas nécessaire ici de passer par cette étape. La norme des polynômes de la base n'apparait donc pas dans le calcul. Adapté à notre formulation, en n'utilisant que des projections vers l'élément de référence, la formule (11) devient

$$f(x_{i_g}, v_{j_g}) = \sum_k \tilde{f}_k \tilde{P}_k(\tilde{x}_{i_g}, \tilde{v}_{j_g}), \tag{13}$$

et la formule de (11) s'écrit

$$\tilde{f}_k = \sum_{i_g,j_g} f(x_{i_g}, v_{j_g}) \tilde{P}_k(\tilde{x}_{i_g}, \tilde{v}_{j_g}) \alpha_{i_g,j_g}. \tag{14}$$

De la même manière nous pouvons donner la projection de la fonction w de l'équation de Vlasov réduite et du champ auto-consistant E issu du potentiel de l'équation de poisson par :

$$\tilde{w}_k(t) = \sum_i w(x_i, t) \tilde{p}_k(\tilde{x}_i) \alpha_i, \;\; k = 1 \cdots N_v. \tag{15}$$

$$\tilde{E}_k(t) = \sum_i E(x_i, t) \tilde{p}_k(\tilde{x}_i) \alpha_i \;\; k = 1 \cdots N_v. \tag{16}$$

4 Méthode par volumes finis

Pour les détails sur les volumes finis se referer [4]. Soit $C_i = \left]x_{i-1/2}, x_{i+1/2}\right[$, $i \in \{1, \cdots, N_x\}$ de l'espace x où N_x désigne le nombre d'intervalles de discrétisation de $[0, L[$.$\Delta x = x_{i-1/2} - x_{i+1/2}$ le pas d'espace. Soit $w_i \simeq w(x,t)$, $x \in C_i$ l'approximation constante par morceaux du vecteur w dans la cellule C_i. Pour des raisons pratiques, nous considérons également deux cellules virtuelles C_0 et C_{N_x+1} pour appliquer la condition aux limites périodiques. Soit $(w_a, w_b) \in \mathbb{R}^{N_v} \times \mathbb{R}^{N_v} \mapsto F(w_a, w_b) \in \mathbb{R}^{N_v}$ le flux numérique. Le schéma semi-discret en espace de (10) s'écrit

$$M \partial_t w_i = -\frac{F(w_i, w_{i+1}) - F(w_{i-1}, w_i)}{\Delta x} - E_i B(E_i) w_i, \tag{17}$$

où le flux centré est donné par :

$$F(w_L, w_R) = A \frac{w_L + w_R}{2}. \tag{18}$$

En appliquant la formule du flux (18) à (17) on a

$$M \partial_t w_i = -A \frac{w_{i-1} + w_{i+1}}{2\Delta x} - E_i B(E_i) w_i \tag{19}$$

En appliquant les formules d'interpolation de (15) et (16) à (19) nous avons

$$M \tilde{w}_k'(t) = -A \frac{\tilde{w}_{k+1} + \tilde{w}_{k-1}}{2\Delta x} + U_k(t) \tilde{w}_k + D(t) \tag{20}$$

Posons $U_k(t) = -\tilde{E}_k B(\tilde{E}_k)$ et $D(t)$ est le vecteur des conditions aux limites Nous pouvons réécrire (20) par

$$M \tilde{w}^{'}(t) = (AS + U(t) I) \tilde{w}(t) \tag{21}$$

où

$$\tilde{w} = (\tilde{w}_1, \cdots, \tilde{w}_{N_v})^T$$

et S et I sont respectivement des matrices tridiagonale et identité. On obtient le système non linéaire ci dessous. Rappelons que la non linéarité réside du fait que le champ électrostatique dépend de la fonction de distribution.

$$\begin{cases} M \tilde{w}^{'}(t) = G \tilde{w}(t) + D(t) \\ y \quad = \quad C \tilde{w} \end{cases}$$

5 Conclusion

Cette représention nous permettrait d'étudier quelques propriétés structurelles tel que l'observabilité ou la contrôlabilité de ce type de système.Voir [5].

Références

[1] Nueng Pham. *Métodes numériques pour l'équation de vlasov réduite*. PhD thesis, Université de strasbourg, 2016.

[2] Eric Madaule. *Schémas numérique adaptatif pour les équations de Vlasov-Poisson*. PhD thesis, Université de Lorraine, 2016.

[3] Alfio Quarteoni and all. Spectrals in single domains. *Springer Verlag, Berlin*, 2006.

[4] Randdall J Leveque. Finit volume methods for hyperbolic probloms. *Cambridge university press*, 2002.

[5] MOHAMED BOUTAYEB MOHAMED GHATTASSI and JEAN RODOLPHE ROCHE. Reduced order oserver of finite dimensional radiative-conductive heat transfer systems. pages 2485–2512, 2018.

Application de l'Analyse de Cycle de Vie Dynamique pour l'évaluation de l'impact environnemental d'une baie double vitrage-menuiserie acier

Patrice MEGANGE[1,2]
p.megange@iut.univ-evry.fr
Ahmed MELHAOUI[1]
a.melhaoui@iut.univ-evry.fr

Pierre NGAE[1,2]
p.ngae@univ-evry.fr
Amer CHPOUN[1,2]
a.chpoun@univ-evry.fr

Amir-Ali FEIZ[1,2]
a.feiz@univ-evry.fr
Thien-Phu LE[1,2]
t.le@univ-evry.fr

[1]IUT d'Evry, Département Génie Mécanique et Productique (GMP),
[2]Laboratoire de Mécanique et d'Energétique d'Evry (LMEE)
Université d'Evry-Paris Saclay

THEMATIQUE - Energie-Environnement (Ecoconception)

RESUME- Dans l'objectif d'optimiser les outils et méthodes d'Analyse de Cycle de Vie Traditionnelle (ACV-T) pour une évaluation intégrée d'impact de toxicité humaine lors de la conception d'un produit, la méthode mise en œuvre par ce travail de recherche consiste à prendre en considération les spécificités temporelles des évènements et processus. Ainsi, la méthode Enhanced Structural Path Analysis (ESPA) que nous avons utilisée, opérationnelle à l'aide d'un programme sous MATLAB, permet de passer d'une phase d'analyse de l'Inventaire du Cycle de Vie Traditionnelle (phase réalisant l'inventaire des masses d'entrée et de sortie des substances contrôlées (NO_x, O_3, PM2,5, PM10) pour chaque sous-système étudié) à une phase d'analyse de l'Inventaire du Cycle de Vie Dynamique. Il s'agit là d'une Analyse de Cycle de Vie Dynamique (ACV-D) appliquée sur une baie double vitrage-menuiserie acier afin d'évaluer l'efficience de la méthode employée.

Mots-clés—Analyse du Cycle de Vie Traditionnelle (ACV-T); Enhanced Structural Path Analysis (ESPA) ; Analyse du Cycle de Vie Dynamique (ACV-D).

1. INTRODUCTION

Le bâtiment est l'un des secteurs les plus touchés par le développement durable. Il représente environ 40% des émissions de CO_2 dans les pays développés, 37% de la consommation d'énergie et 40% des déchets produits [1]. C'est un consommateur important de matériaux et d'équipements pendant les phases de construction et d'utilisation.

L'Analyse de Cycle de Vie Traditionnelle (ACV-T) est une méthode préventive efficace: elle fournit une image de la performance environnementale, car elle évalue de nombreux impacts potentiels (réchauffement de la planète, écotoxicité, eutrophisation des milieux aquatiques, épuisement des ressources, toxicité humaine, etc.) générés au cours du cycle de vie du produit étudié en plusieurs étapes, de l'extraction de la matière première à la fin de la vie du bâtiment, c'est-à-dire du berceau au tombeau. Cependant, l'ACV-T a encore de nombreux détracteurs qui remettent en question le surdimensionnement des valeurs obtenues ([2], [3]).

Certaines recherches ont pu montrer la pertinence de l'ACV-Dynamique, consistant à prendre en considération les spécificités temporelles dans l'ACV-T, pour l'étude d'un bâtiment soumis au changement technologique [4]. Elle conduit à une analyse plus réaliste des impacts générés par ces modifications. Il s'agit d'une version optimisée de l'ACV.

2. ACV DYNAMIQUE D'UNE BAIE DOUBLE VITRAGE

2.1. Cadre de l'étude

L'agrégation des informations bibliographiques et communiquées par les professionnels du secteur de la menuiserie a permis la réalisation d'un scénario de production d'une baie à double vitrage. La figure 1 présente les pièces principales de la baie double vitrage-menuiserie acier.

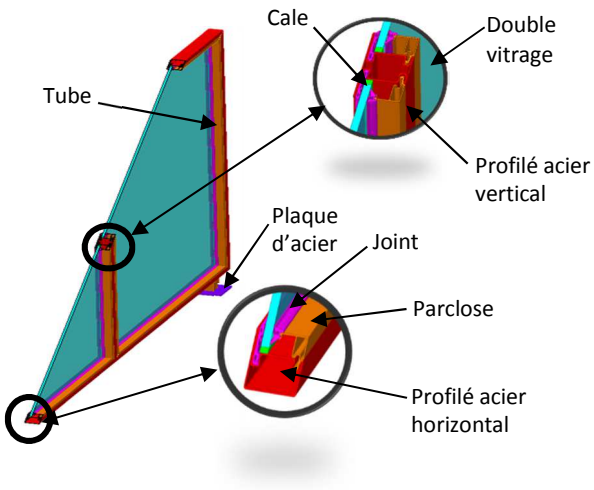


Fig. 1 : Pièces principales de la baie double vitrage-menuiserie acier

Les quatre phases principales de l'ISO 14040-14044, norme dont nous ~~nous sommes inspirés pour réaliser l'ACV-T de notre~~ support d'étude sont:

- Phase 1 : Définition des objectifs et du champ de l'étude ;
- Phase 2 : Analyse d'Inventaire du Cycle de vie (ICV) ;
- Phase 3 : Evaluation des Impacts du Cycle de Vie (EICV) ;
- Phase 4 : Interprétation.

Le logiciel utilisé pour notre ACV-T est OpenLCA, associé à la méthode de gestion de la chaîne par cycle de vie (CML) [4]. Sachant que la pollution atmosphérique représente un risque majeur pour la santé humaine, l'étude ne concerne que les polluants pour lesquels l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) indique un niveau de dangerosité élevé: oxydes d'azote (NO_x), ozone (O_3), particules 2,5 (PM2.5) et particules 10 (PM10).

Afin d'obtenir des informations sur les flux émis par les différents processus de fabrication, la base de données Ecoinvent v3.4, couplée au logiciel OpenLCA, a été utilisée.

La figure 2 illustre la succession des procédés (Pi) de fabrication sélectionnés et retenus pour notre travail de recherche.

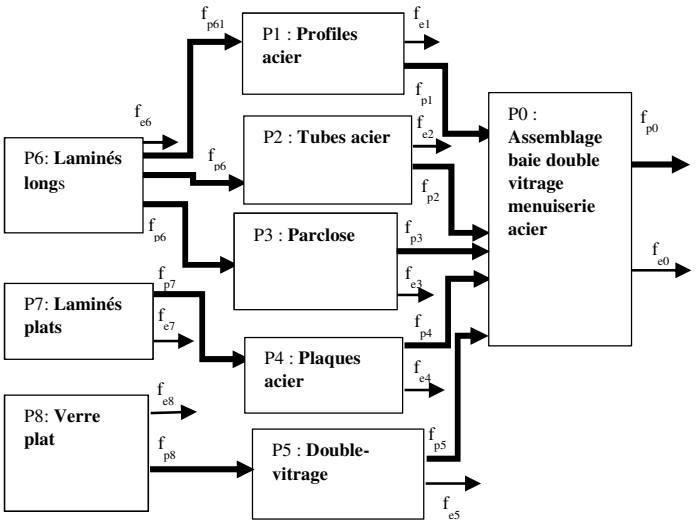


Fig. 2: Procédés de fabrication de la baie double vitrage-menuiserie acier

2.2. *Méthode Enhanced Structural Path Analysis (ESPA)*

Utiliser la méthode ESPA décrite dans [5] et [6], consiste à représenter les valeurs quantitatives des processus unitaires, f_{pi} (Fig. 2) par une matrice technologique désignée par T et présentée dans l'équation (1). Il s'agit d'une matrice $n \times n$, où :

- n représente le nombre d'unités de processus (P0, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 et P8 montrées à la figure 2. Par exemple, P1: production de profilés en acier, en bref: Profilés d'acier) impliquées dans la fabrication de la baie double vitrage;

- f_{pi} (Fig. 2) quantifie le produit fabriqué avec le processus Pi. Il intervient dans la réalisation du processus suivant Pj.

$$T = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ f_{p1}(t) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ f_{p2}(t) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ f_{p3}(t) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ f_{p4}(t) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ f_{p5}(t) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f_{p61}(t) & f_{p62}(t) & f_{p63}(t) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & f_{p7}(t) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & f_{p8}(t) & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Comme l'explicite [5], appliquer ESPA à la phase 2 de l'ISO 14040-14044 donne l'équation (2), où «∗» indique la convolution des paramètres; r est le vecteur de référence; E est la matrice d'intervention, et finalement v représente le vecteur d'inventaire:

$$v = E*(I+T+T^2) * r \quad (2)$$

L'équation (3) présente r, le vecteur de référence. On l'appelle également le vecteur de la demande finale (externe), car il s'agit d'un ensemble de flux économiques défini de manière exogène, dont le système produit exactement la quantité donnée.

$$r = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

E, la matrice d'intervention, est donné par l'équation (4) où f_{ei} (Fig.2) représente les flux dans l'environnement, également appelés flux environnementaux.

Enfin, v représente le vecteur d'inventaire qui peut être considéré comme le flux externe du système entier.

$$E = (f_{e0}(t)\, f_{e1}(t)\, f_{e2}(t)\, f_{e3}(t)\, f_{e4}(t)\, f_{e5}(t)\, f_{e6}(t)\, f_{e7}(t)\, f_{e8}(t)) \quad (4)$$

3. Resultats et Discussions

Après prospection et recherche sur la gamme de fabrication d'une baie à double vitrage-menuiserie acier et des éléments la composant, un scénario est obtenu. Compte tenu des processus de fabrication retenus, l'échelle de temps utilisée est le "jour". Ainsi, nous avons pu compléter la matrice technologique T en indiquant les valeurs caractéristiques des différentes distributions temporelles des flux de processus $f_{pi}(t)$.

L'utilisation du logiciel OpenLCA associé à la base de données Ecoinvent 3.4 a permis de compléter le processus de fabrication de la baie double vitrage et d'obtenir les flux élémentaires f_{ei}.

La méthode ESPA consiste à créer un produit de convolution sur la dimension temporelle plutôt que d'utiliser de simples produits matriciels entre les différents éléments de l'équation (1). Une propagation de la caractérisation temporelle liée aux processus est effectuée. Un algorithme écrit sous MATLAB effectue des calculs. Ainsi, les distributions temporelles décrivent tous les éléments des matrices et des vecteurs plutôt qu'une seule valeur numérique. Les figures 3a, 3b, 3c et 3d montrent les résultats obtenus en utilisant l'Analyse de Cycle de Vie Traditionnelle (ACV-T). Ils représentent respectivement le taux d'émission total des flux élémentaires de NO_x, d'O_3, de

PM2,5 et de PM10. Les figures 4a, 4b, 4c et 4d montrent les résultats obtenus en utilisant l'Analyse de Cycle de Vie Dynamique (ACV-D) avec la méthode ESPA (taux d'émission total des flux élémentaires de NO_x, d'O_3, de PM2,5 et de PM10). Par conséquent, l'ACV-T de notre baie double vitrage-menuiserie acier peut être comparée à notre modèle d'ACV-D. L'ACV-D a modifié les résultats des taux d'émission pour chacune des substances sélectionnées en réduisant les pics. Les résultats obtenus pour les substances étudiées en ACV-T sont égaux à la somme des pics observés en ACV-D.

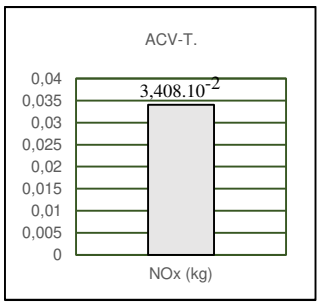


Fig. 3a: Taux NO_x ACV-T

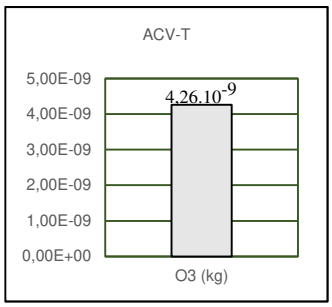


Fig. 3b: Taux 0_3 ACV-T

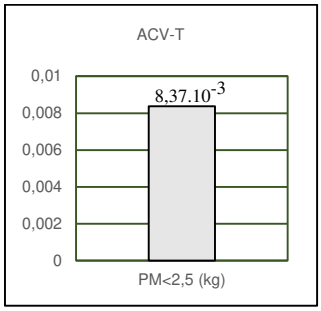


Fig. 3c: Taux PM2,5 ACV-T

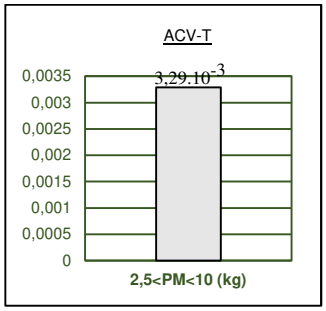


Fig. 3d: Taux PM10 ACV-T

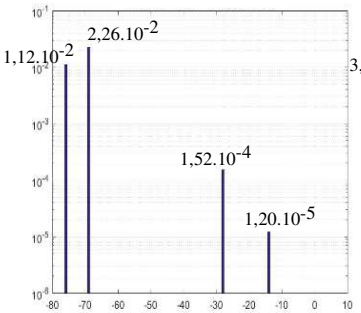


Fig. 4a: Taux NO_x (kg/jour) ACV-D

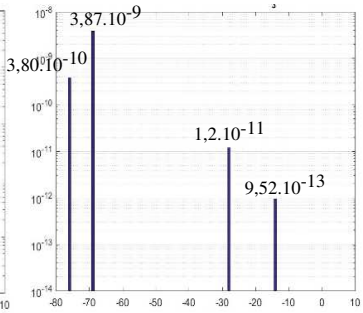


Fig. 4b: Taux 0_3 (kg/jour) ACV-D

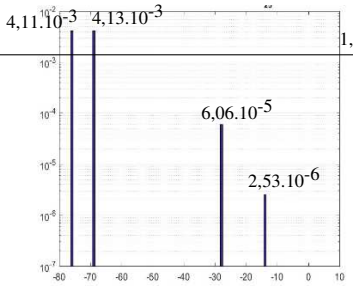


Fig. 4c: Taux PM2,5 (kg/jour) ACV-D

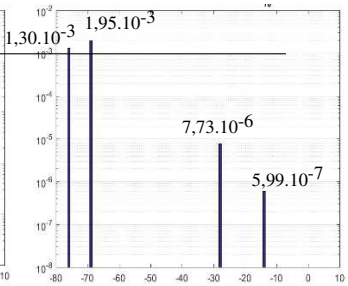


Fig. 4d: Taux PM10 (kg/jour) ACV-D

4. Conclusions

L'objectif de ce travail de recherche est d'optimiser l'Analyse de Cycle de Vie Traditionnelle (ACV-T). Pour ce faire, nous introduisons le paramètre temporel en utilisant la méthode Enhanced Structural Path Analysis (ESPA). La méthode ESPA aide à introduire le facteur temps dans la phase 2 de la norme ISO 14040-14044: elle permet de prendre en compte la date de production relative des différents processus de fabrication, voire des différentes étapes du cycle de vie du produit étudié. Ainsi, l'Analyse de Cycle de Vie Dynamique (ACV-D) obtenue pour une baie à double vitrage-menuiserie acier est comparée à son ACV-T. Nous ne considérons ici que les flux de polluants atmosphériques les plus toxiques: NO_x, O_3, PM2,5 et PM10. L'ACV Dynamique fournit des valeurs de flux d'émission améliorées car, par produit de convolution, elle décompose les flux en tenant compte de la date des processus. Par conséquent, ces valeurs sont plus réalistes.

5. References

[1] P. Deshayes, "Le secteur du bâtiment face aux enjeux du développement durable : logiques d'innovation et/ou problématiques du changement", « Innovations 2012/1 » 37, pp. 219-236, 2012.

[2] William O. Collinge, Amy E. Landis, Alex K. Jones, Laura A. Schaefer, Melissa M. Bilec, "Dynamic life cycle assessment: framework and application to an institutional building", Int. J. Life Cycle Assess, 18, pp. 538-552.

[3] Aissani, "Intégration des paramètres spatio-temporels et des risques d'accidents dans l'analyse du cycle de vie: application à l'industrie de l'énergie et du gaz hydrogène", PhD, École nationale supérieure des mines de Saint-Etienne, 2008.

[4] R. Heijungs and S. Suth, The computional structure of life cycle assessment, Kluwer Academic Publisher, 2002.

[5] D. Beloin-Saint-Pierre, R. Heijungs, I. Blanc, "The ESPA (Enhanced Structural Path Analysis) method: a solution to an implemantation challenge for dynamic life cycle assessment studies", Int. J. Life Cycle Assess, 19, pp. 861-871, 2014.

[6] D. Beloin-Saint-Pierre, "Vers une caractérisation spatio-temporelle pour l'analyse du cycle de vie", doctorat, Ecole nationale des mines de Paris, 2012.

Modélisation de l'auto-inflammation de matériaux énergétiques : vers une approche utilisant les automates cellulaires

Philippe Gillard
philippe.gillard@univ-orleans.fr

IUT de Bourges - Département GMP
PRISME EA 4229, Univ. Orléans, INSA-CVL, Bourges, France

Thèmes – *Énergie - Environnement - Matériaux*

Résumé – *Le problème de l'auto-inflammation des matériaux énergétiques est envisagé dans un contexte d'étude lié à la sécurité dans le domaine de la pyrotechnie. Différentes approches sont reprises, l'une, analytique, fait appel à la théorie quasi-stationnaire de l'explosion thermique de Frank-Kamenetskii. La seconde consiste à résoudre l'équation de la chaleur, en transitoire, grâce au choix de quelques méthodes numériques conventionnelles. La dernière envisagée repose sur l'utilisation des automates cellulaires. Dans tous les cas, des données numériques, en provenance de différentes sources, seront nécessaires pour chaque substance explosive retenue. Pour le mélange fer/soufre, les données proviennent des travaux précédents. Dans tous les cas, l'état stationnaire obtenu numériquement doit vérifier la théorie quasi-stationnaire de l'explosion thermique, mais avec plus ou moins de précision. En perspective de ce travail, nous chercherons à mettre en place une nouvelle méthodologie de simulation de l'explosion thermique, basée sur la théorie des automates cellulaires.*

Mots-clés – *matériaux énergétiques, explosion, équation de la chaleur, automates cellulaires*

1 Introduction

Le problème de l'auto-inflammation des matériaux énergétique est d'une grande importance dans le domaine de la de la sécurité énergétiques liée à l'utilisation et au stockage des explosifs et des compositions pyrotechniques. L'auto-inflammation se produit lorsqu'une substance explosive est portée à une température suffisante pour que le processus de décomposition commence à produire des effets exothermiques significatifs. Il y a alors un dégagement de chaleur, accompagné d'une augmentation de la température et de la vitesse de décomposition thermique. Ceci entraîne un emballement thermique générateur d'explosions parfois avec la production d'une onde de détonation dévastatrice. Ces phénomènes ont d'abord fait l'objet d'études analytiques et Frank-Kamenetskii a développé la théorie quasi-stationnaire de l'explosion thermique qui permet de déterminer 1es conditions critiques d'auto-inflammation pour des substances explosives. Dans ce modèle, la température de paroi est imposé et la théorie permet de déterminer sa valeur critique, qui correspond à la valeur à ne pas dépasser pour éviter l'auto-inflammation. Plus récemment, Merzhanov et Abramov [1] ont généralisé la théorie de Frank-Kamenetskii avec des étapes de transferts thermiques variées autour du solide réactif. La température de surface est alors reliée, par un échange convectif, au milieu ambiant et le critère de Frank-Kamenetskii est généralisé pour des conditions aux limites différentes. Dans tous les cas, il est nécessaire, pour calculer les conditions critiques, de connaître certaines grandeurs thermo-physiques et, plus particulièrement, les paramètres cinétiques de la réaction d'auto-inflammation. Il y a quelques années, Roux et Marlin [2] ont présenté une méthode en vue d'obtenir les paramètres cinétiques de la réaction d'initiation lors de l'explosion thermique sur des matériaux énergétiques. Cette méthode repose sur une simulation numérique, grâce à une méthode aux différences finies, de l'échauffement, en transitoire d'un cylindre réactif solide. Le but de cet article est de tracer les évolutions des différentes méthodes numériques que l'on peut utiliser dans ce type de problème depuis plusieurs décennies. Dans un premier temps, quelques principes sur l'auto-inflammation et la théorie quasi-stationnaire de l'explosion thermique seront rappelés afin de situer le contexte de cette étude. Puis, quelques schémas numériques, parmi les plus conventionnels, seront appliqués dans ce contexte d'études, lié à la sécurité dans le domaine de la pyrotechnie. Finalement, les conditions critiques seront calculées numériquement pour le mélange fer/soufre étudié par Marlin [2].

2 Auto-inflammation et théorie quasi-stationnaire de l'explosion thermique

2.1 Équations de base

Si une géométrie cylindrique, pour la substance explosive considérée homogène, est utilisée, la seule coordonnée d'espace à considérer est le rayon r du cylindre. De plus, et afin de pouvoir comparer avec la théorie quasi-stationnaire de l'explosion thermique de Frank-Kamenetskii, nous supposerons que les grandeurs thermophysique telles que la conductivité thermique, la capacité calorifique et la masse volumique ne dépendent pas de la température. Dans ces conditions, l'équation de conduction se limite à :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho.Cp}.\left(\frac{1}{r}.\frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2}\right) + S\left(T(r,t)\right) \tag{1}$$

avec :

— $a = \frac{\lambda}{\rho.C_p}$, la diffusivité thermique supposée constante,

— S le terme de source lié à la réaction chimique.

Il est nécessaire de se donner une température initiale To ainsi que les conditions aux limites, c'est-à-dire la température de paroi imposée Tp :

— T(0,r) = To pour $0 \leq r \leq R_p$;

— T(t, R_p) = Tp et $-\lambda.\left(\frac{\partial T}{\partial r}\right)_{r=0} = 0$ pour $t > 0$.

2.2 Calcul de l'état stationnaire avec la théorie de l'explosion thermique de Frank-Kamenetskii

Moyennant un changement de variable, il est possible de transformer l'équation 1, à l'état stationnaire en :

$$\frac{1}{\xi}.\frac{\partial \Theta}{\partial \xi} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial \xi^2} = -\delta.\exp(\Theta) \tag{2}$$

avec

* $\xi = \frac{r}{R_p}$
* $\Theta = \frac{E_a}{R.T_p^2}.(T - T_p)$ et
* δ est le paramètre critique de Frank-Kamenetskii, défini par la relation 3

$$\delta = \frac{\rho.Q.Z}{\lambda}.\frac{E_a.r_p^2}{R_{gp}.T_p^2.}.\exp\left(-\frac{E_a}{R.T_p}\right) \tag{3}$$

L'équation 2 a été résolue, de manière analytique, et Frank-Kamenetskii a montré qu'elle possède une solution sauf si $\delta > 2$ en géométrie cylindrique. Pour une géométrie cylindrique, δ prend une valeur remarquable si la température est égale à la température critique T_{po} : $\delta(Tpo) = 2$ et il est à remarquer que δ est une fonction croissante de la température Tp. Les constantes physiques, telles que la masse volumique ρ, la chaleur de réaction Q, la conductivité thermique λ sont supposées connues. Il est donc possible de calculer la température critique Tpo à partir de l'équation 3 si les paramètres cinétiques Z et Ea sont connus ainsi que le rayon r_p du cylindre.

2.3 Cas du mélange pyrotechnique fer/soufre

Le mélange pyrotechnique fer/soufre qui a été étudié précédemment au laboratoire possède les paramètres cinétiques, la diffusivité thermique ainsi que les autres grandeurs thermo-physiques reportées dans le tableau ci-dessous. Il est par ailleurs possible d'obtenir la température critique par la relation 3 , en utilisant une méthode numérique. Il suffit en effet de résoudre l'équation $\delta(T_{cr}) = 2$, pour trouver $T_{cr} = 243,824^{o}C$ dans le cas du mélange fer/soufre et avec un rayon de 7 mm.

TABLE 1 – Propriétés estimées du mélange fer/Soufre

Propriété	Fer + Soufre
a : Diffusivité thermique ($m^2.s^{-1}$)	$2,8.10^{-7}$
Cp : Capacité calorifique ($J.kg^{-1}K^{-1}$)	720
λ : Conductivité thermique ($W.m^{-1}K^{-1}$)	0,58
Q : Chaleur de réaction ($J.kg^{-1}$)	10^6
Ea : Energie d'activation ($Jmol^{-1}$)	168000
Z : Facteur préexponentiel (s^{-1})	1.10^{13}

3 Empilement granulaire réel

Dans le cas d'empilement granulaire réel, il est difficile d'avoir une bonne estimation des propriétés de transport par homogénéisation des propriétés. Ainsi, avec Opbdebeck [3], nous avons, dans une première approche, estimé les propriétés d'absorption d'un faisceau laser en surface d'un matériau réel reconstitué par empilement de grains et en conservant les propriétés telles les fractions d'oxydant et de réducteur ainsi que les différentes tailles des particules. Une érosion de la surface supérieure du comprimé a permis d'estimer la rugosité de surface et de la comparer avec des mesures. Par une méthode de lancers de rayons, nous avons ainsi été en mesure des reconstituer la rugosité 'numérique' ainsi que que la profondeur de pénétration du rayon laser à l'origine de l'allumage.

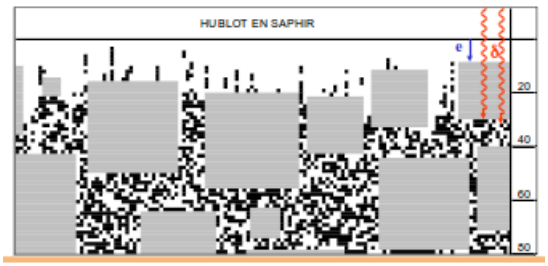


FIGURE 1 – Estimation par lancers de rayons de l'interaction du rayon laser avec la sub-surface.

4 Conclusion

Dans la poursuite des évolutions en modélisation de ces phénomènes, nous allons maintenant reprendre le principe des automates cellulaires, déjà utilisés en combustion [4], mais pas encore dans le domaine des matériaux énergétiques. Nous nous baserons sur la numérisation d'images pour avoir la cartographie 2D réelle d'empilements des grains d'oxydants et de réducteur (+ liant), constitutifs de la composition pyrotechnique. La numérisation ainsi obtenue permettra de dresser des matrices d'empilement de grains d'oxydant et de réducteur qui pourront servir de données d'entrées à des calculs menés par des automates cellulaires. Nous espérons ainsi résoudre le problème de transport (thermique et diffusif) dans ce milieu complexe car hétérogène, anisotrope et poreux de surcroît. Le terme de production thermique pourra aussi prendre en compte la richesse locale à travers l'environnement de chaque cellule de l'automate. Au final, avec la prise en compte de la consommation des réactifs, toujours au niveau local, nous espérons obtenir une évaluation de la position du front de flamme, à chaque instant. Le principe de base des automates cellulaires est de reproduire (automatiquement) par "règles" physiques simples locales (cellules) la possibilité de description de propagation, temporelle et spatiale. Cela inclut la possibilité de description des conditions aux limites très locales, voisinage de la cellule. On comprend ainsi l'adaptation intrinsèque aux problèmes posés dans ce projet : l'hétérogénéité locale, l'aspect probabiliste et événementiel local, dans chaque voisinage.

Références

[1] Merzhanov A G, *The present state of the Thermal Ignition Theory : An Invited reviews*, Combustion and Flame, Vol 16,1971, p 89-124

[2] Roux (M.) Marlin (F.) Brassy (P.), Gillard *Numerical Determination of the Thermal Diffusivity and Kinetic Parameters of Solid Explosive Substance*, Propellants Explos. Pyrotech., vol. 18,1993 p. 188194

[3] Opdebeck, F and Gillard, P and Radenac, *Optimization of interface conditions in the case of laser diode ignition of pyrotechnic mixtures*, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, Vol(26), N 4,2001, p 196-200

[4] Collin A. , Bernardin D. , et Séro-Guillaume O., *A Physical-Based Cellular Automaton Model for Forest-Fire Propagation*, Combust. Sci. Technol., vol. 183, no 4,2011 p. 347369

Etude thermique d'une carte électronique

Marine BERTEAU, Maxime CHEREAU, Alain NEVEU, Frédéric JOLY
IUT d'Evry-Val d'Essonne, Département GTE, 91220 Brétigny-sur-Orge

THEMATIQUE -Energie - Environnement

RESUME –Nous présentons dans cette communication un banc de travaux pratiques permettant d'étudier le comportement thermique d'une carte électronique en présence ou non de ventilateur. Ce banc, monté par des étudiants d'IUT lors de leurs stages, servira aussi à valider les modèles numériques conçus par notre équipe de recherche dans le cadre d'un contrat avec un grand groupe d'électronique.

Mots-clés—Thermographie infrarouge – électronique - thermique.

1. INTRODUCTION

De la simple ampoule aux satellites, les systèmes électroniques ont envahi tous les domaines des activités humaines. De plus en plus performants, les systèmes électroniques sont aussi de plus en plus complexes à concevoir. En particulier, la miniaturisation croissante associée à l'augmentation de la puissance fait apparaître des limites dans la conception liées aux phénomènes thermiques, puisqu'un composant électronique du fait de son rendement imparfait dissipe de la chaleur. Prenons l'exemple d'un objet de très grande consommation comme une montre connectée. Il n'est pas concevable de porter au poignet un tel appareil à une température de plus de 45°C, ni de lui adjoindre un ventilateur. L'optimisation de la conception des composants ainsi que leur durée d'activation ou de désactivation est donc nécessaire pour limiter les températures. Il faut pouvoir prédire rapidement et finement l'évolution thermique d'un composant pour différents scénarios d'utilisation. D'autant que cette finesse de prédiction est notamment requise pour estimer la durée de vie des composants, paramètre très sensible à la température (variation selon une loi d'Arrhenius). Ainsi la durée de vie est divisée par deux pour chaque augmentation de 10°C de la température moyenne des composants.

La phase de dimensionnement nécessite des calculs répétitifs qui peuvent devenir extrêmement couteux en termes de temps. Pour éviter cela, les industriels développent des modèles dégradés permettant d'obtenir rapidement une estimation robuste de la température maximale atteinte par les composants critiques. C'est dans ce cadre qu'un grand groupe d'électronique a contacté le Laboratoire de Mécanique et d'Energétique d'Evry. En effet, notre recherche porte sur la création de modèles réduits modaux correspondant au cahier des charges de cet industriel [1].

En dehors de ces activités contractuelles de recherche, nous avons souhaité impliquer nos étudiants d'IUT « Génie Thermique et Energie » dans ce domaine en montant des travaux pratiques via des études techniques et des stages. Les modèles mathématiques que nous employons n'étant pas à leur portée, nous nous sommes orientés vers des activités expérimentales. On voit ainsi la synergie qui peut exister entre un laboratoire en sciences de l'ingénieur et un département technique : ces activités, qui ne sont pas au cœur de nos activités de recherche, permettront de valider nos modèles. Une fois le banc fini, il sera utilisé par les étudiants en travaux pratiques, fournissant ainsi un support moins scolaire. Finalement, cette activité permet d'impliquer nos étudiants dans nos activités de recherche et ainsi leur rendre moins obscur notre « autre travail ».

Nous présentons dans cette communication une étude expérimentale du comportement thermique d'une carte test pour différents scénarios d'utilisation : différentes puissances et différentes conditions aux limites. Ces études ont été faites par des stagiaires de seconde année du département GTE

2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

- *Présentation de la carte*

La carte étudiée, disponible dans le commerce, est un démonstrateur pour un abaisseur de tension. Le composant actif est encapsulé dans un boitier type QFN16. L'autre composant critique est une inductance qui peut être traversée par un courant intense.

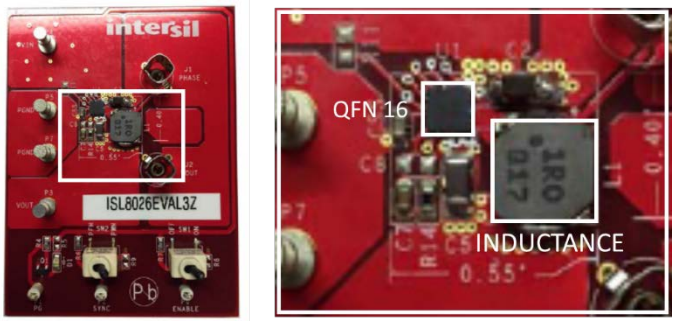


Figure 1 : Vue d'ensemble de la carte testée. Zoom sur la partie active

La carte est placée dans une soufflerie de type Eiffel conçue pour recevoir des cartes électroniques de dimensions modestes. La vitesse d'écoulement est réglable. Nous pourrons ainsi simuler différents types de conditions aux limites, notamment l'effet d'un ventilateur. La température de surface de la carte est mesurée à l'aide d'une caméra infra-rouge couplée à un objectif microscopique. La résolution obtenue est de 50 µm/pixel.

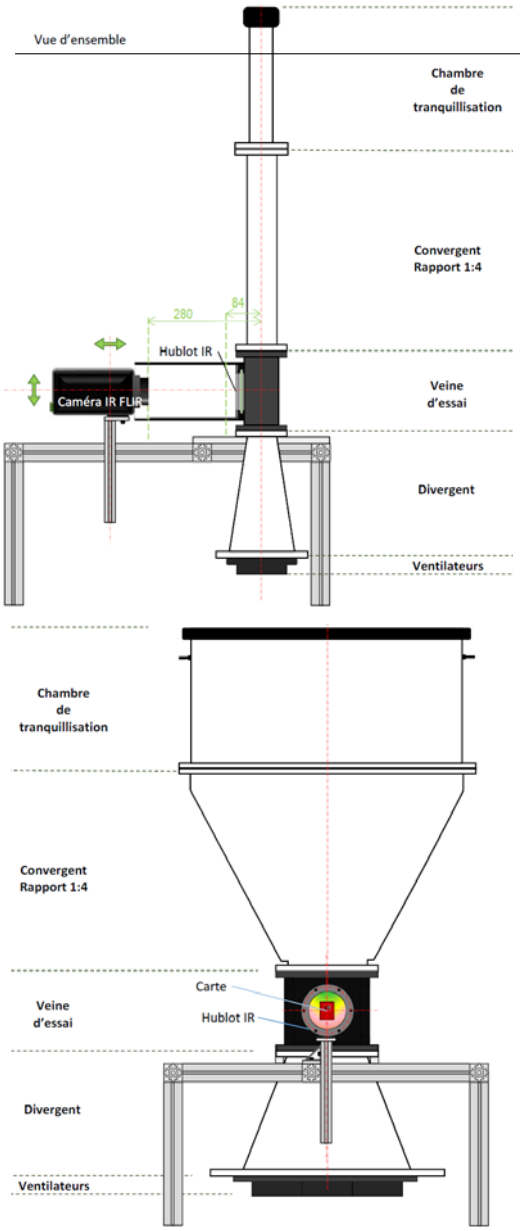


Figure 2 : Vue d'ensemble de la soufflerie

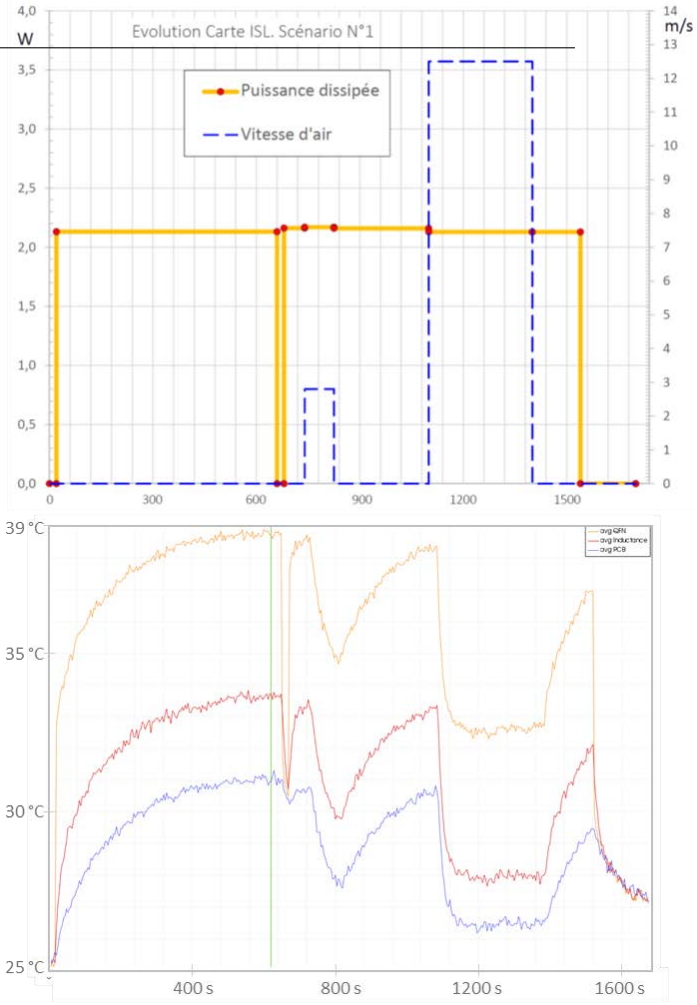


Figure 3 : Scénario d'évolution de la carte. Le QFN est activé après 20s. Il est désactivé brièvement au bout de 620s. Trois modes de convection coexistent ici : convection naturelle, (Vventil = 0) et convection forcée petite et grande vitesse (Vventil = 2; 8m=s et 12m=s). Evolution temporelle de la température sur le QFN, l'inductance et le PCB.

3. RESULTATS

Le scénario d'activation du QFN et du ventilateur est donné sur la figure 22. L'idée de ce scénario était d'exciter le système pour faire ressortir sa dynamique. Le déclenchement de ce scénario est précédé par une mise en isothermie par ventilation forcée.

La première partie du scénario est une montée en température provoquée par l'imposition d'un échelon de puissance dissipée par le QFN. Le QFN débite son courant sur une charge de 0.4 Ω On arrive pratiquement au régime permanent au bout de 660 s. A cet instant la température superficielle maximum e est enregistrée sans surprise sur le QFN au-dessus de la partie dissipative de la puce de silicium. Le ventilateur est au repos. La convection est donc naturelle.

-Dans un deuxième temps la charge passe brièvement à 10 kΩ ce qui a pour effet de désactiver le QFN pendant 20 s toujours en convection naturelle. Le refroidissement de l'ensemble de la surface de la carte est très rapide, sans toutefois revenir à l'état initial.

- Pour la troisième partie du scénario on applique à nouveau la charge de 0,4 Ω à partir de 680 s. Le QFN est activé et la température remonte rapidement.

- La phase quatre débute à 740 s. Le QFN reste activé mais on déclenche la ventilation avec une vitesse réduite pour obtenir un régime de convection forcée. Le PCB se refroidit rapidement mais la surface du QFN continue à dissiper de l'énergie (et aussi l'inductance).

- A partir de 825 s on coupe la ventilation pour revenir à une convection naturelle. Le QFN reste activé et la température de la carte remonte.

- La phase six débute à 1 100 s. Le QFN reste activé et on déclenche la ventilation avec la vitesse maximum pour obtenir un régime de convection forcée intense. Le PCB se refroidi très rapidement mais la surface du QFN continue à dissiper de l'énergie. On atteint un nouveau régime permanent après 30 s (à comparer aux 660 s de la montée en température phase 1).

- Pour l'étape sept qui débute à 1 400 s le QFN reste activé et on coupe la ventilation. L'ensemble de la carte remonte en température. La source de chaleur étant située très près de la surface du QFN c'est cette dernière qui s'échauffe le plus vite. Le PCB diffuse la chaleur par les pistes en cuivre.

- Pour terminer le scénario on désactive le QFN à 1 540 s. Le refroidissement lent se fait par convection naturelle. Toutes les températures s'homogénéisent à partir de 1 580 s.

Nous présentons ci-dessous deux vues infra-rouge de la carte en fonctionnement pour deux vitesses

La première image représente en fausse couleur le champ de température à l'équilibre lorsque la soufflerie est à l'arrêt (t = 620 s), c'est-à-dire que nous sommes en convection naturelle. Sans surprise le point le plus chaud est situé sur le QFN. L'inductance dissipe elle aussi de la chaleur mais sa surface d'échange est beaucoup plus grande. On note que le champ de température du composant actif n'est pas symétrique. Cela permet de détecter que la fonction électrique n'est pas répartie uniformément sur la puce. Cela devra être pris en compte lors de la phase de modélisation. Par ailleurs, nous remarquons aussi à la jonction entre le composant actif et le circuit imprimé de petites différences de températures. Ramenées à l'échelle millimétrique, ces différences de températures génèrent de contraintes thermomécaniques importantes qui dégradent les brasures et diminuent la durée de vie de la carte. La chaleur se propage dans la carte via les pistes en cuivre, qui viennent chauffer à leur tour des composants passifs comme les résistances.

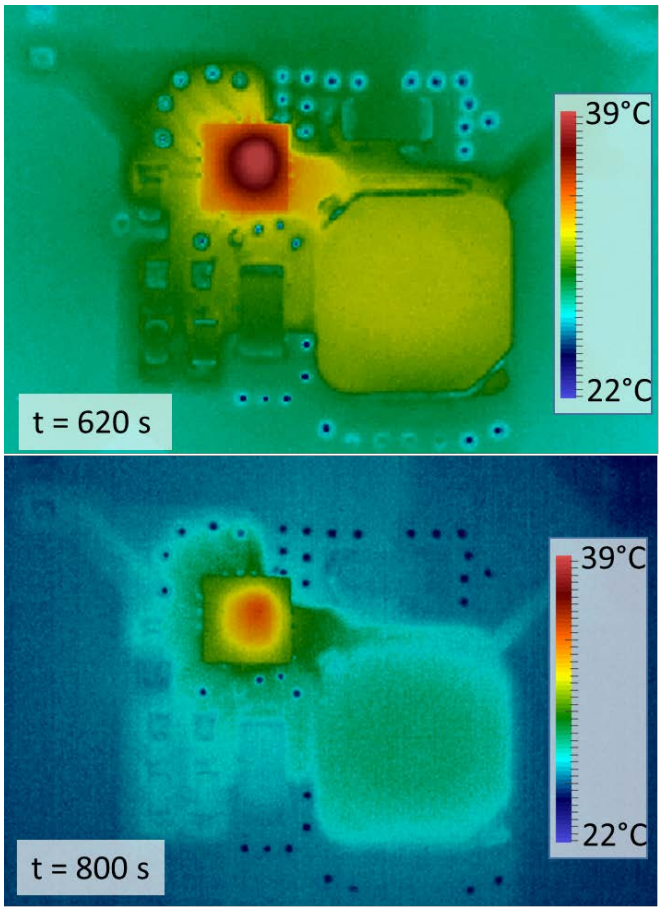


Figure 4 : Champs de température obtenus par thermographie infra-rouge : en haut sans ventilation, en bas avec ventilation

La figure de droite représente le même champ de température mais lorsque la soufflerie est en marche, on est alors en régime de convection forcée. Ici, la soufflerie tourne à petite vitesse (2,8 m/s), et l'écoulement est laminaire. Le coefficient d'échange étant plus grand, la température diminue. Le circuit imprimé est refroidi et la diffusion de la chaleur par les pistes a une portée plus limitée (effet d'ailette). On constate aussi que bien que le QFN16 soit plus froid, le gradient est plus important. On arrive à la conclusion paradoxale que refroidir le composant par un ventilateur entraine des contraintes thermomécaniques plus fortes.

4. Comparaison avec les simulations numeriques

Nous présentons ci-dessous à titre de comparaison la simulation correspondant à la convection naturelle. On constate que l'ordre de grandeur de l'élévation de température est bien prédit. De même, le champ de température dans la carte est là aussi bien prédit. Une fois validé (même qualitativement), les modèles numériques permettront d'avoir accès à des donnés impossible à obtenir par l'expérience, comme la température à l'intérieur du composant actif, le flux de chaleur qui part dans la carte,…

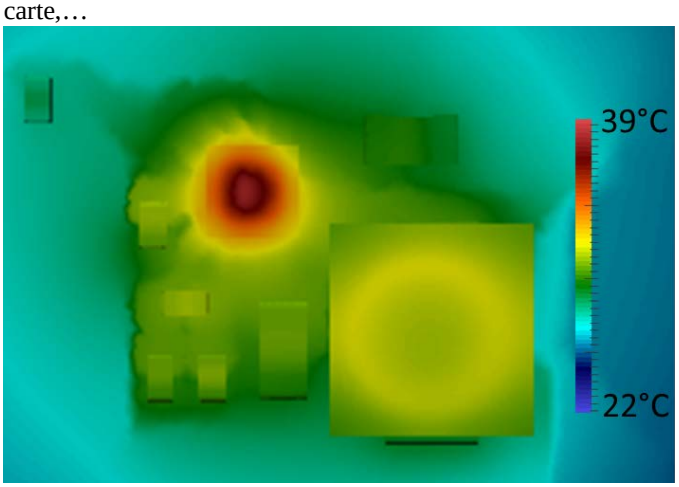


Figure 5 : Champ de température sans ventilation obtenu par modélisation numérique

5. Conclusion

Ce banc d'essai a été initialement conçu à des fins de validation de modèles numériques. Il servira de banc de TP puisqu'il fait appel à de nombreuses connaissances du programme d'IUT Génie Thermique et Energie : électricité, thermique et mécanique des fluides. Par ailleurs, au cours de la conception et des essais préliminaires des problèmes de métrologie liés à la thermique et à l'utilisation d'une caméra Infra-rouge sont apparus. Ces problèmes (et leur résolution) ont été intégrés dans un autre banc de TP.

1. References

[1] S. Grosjean, F. Joly, K. Vera, A. Neveu, E. Monier-Vinard, Reduction of an electronic card thermal problem by the modal sub structuring method, 16th International Heat Transfer Conference (Beijing), pp. 1899-1906, 2018

.

Plate forme partagée Pédagogie Recherche appuyée du projet Master@Longwy

Marouane ALMA[1], Rachid BELKACEM[2], Olivier DI PILLO[3], Rabah DJEDJIG[4], Damien GUILBERT[5], Mourad RAHIM[4], Angel SCIPIONI[5], Harouna SOULEY ALI[1], Mohammed EL GANAOUI[4]

[1]Université de Lorraine, IUT de Longwy, Laboratoire CRAN/GEII
[2]Université de Lorraine, IUT de Longwy, Laboratoire 2L2S/GEA
[3] Université de Lorraine, IUT de Longwy, Département GEII
[4] Université de Lorraine, IUT de Longwy, Laboratoire LERMAB/GTE
[5]Université de Lorraine, IUT de Longwy, Laboratoire GREEN/GEII

Mohammed.el-ganaoui@univ-lorraine.fr

THEMATIQUE- Energie et bâtiments durables

Mots-clésð Energy, Batiment, Enveloppe, réseaux intelligents, socio-economie

1. CONTEXTE ET CONTOURS

Les Instituts Universitaires de Technologie (IUTs) à travers les formations de type DUT et Licences Professionnelles (LP) sont bien outillés pour fournir la demande industrielle en lauréats possédants des compétences et des connaissances Universitaires leurs permettant dôapporter des réponses pluridisciplinaires et de sôadapter rapidement à un contexte dôinnovation permanent.

Les 8 IUTs lorrains sont fédérés dans le collégium Technologie et développent une approche commune de lôenseignement Universitaire professionnalisant en concertation et en échange permanent au service de la réussite et de lôinsertion des étudiants.

Couplant identité forte et avantage du groupe, ce modèle permet à chacun des établissements du collégium de sôépanouir autour de ses axes forts, sa vision et sa mission au service du collectif.

Dans cet élan, lôIUT Henri Poincaré de Longwy développe un axe fort autour des énergies renouvelables et du développement durable (*Fig. 1*). En effet ce thème dôactualité qui nourrit des préoccupations internationales, nationales et territoriale[1] mobilise la communauté scientifique et exige un effort continu en pédagogie et en recherche fondamentale et technologique pour proposer des solutions efficaces et pérennes accompagnant la transition énergétique.

La composante développe en cohérence avec les orientations de lôétablissement une recherche interdisciplinaire rendue possible dôune part par la présence de cinq laboratoires[2] sur place et un positionnement transfrontalier sur le pays haut de France (Allemagne, Belgique, Luxembourg). Il en découle un potentiel dôinnovation et une interaction permanente avec le tissu socio-économique.

Une spécificité est également la présence conjointe du secteur sciences Pour lôIngénieur (SPI) et Sciences Humaines et Sociales (SHS) de manière imbriquée aux trois départements[3] et qui profite largement à la thématique énergie et développement responsable.

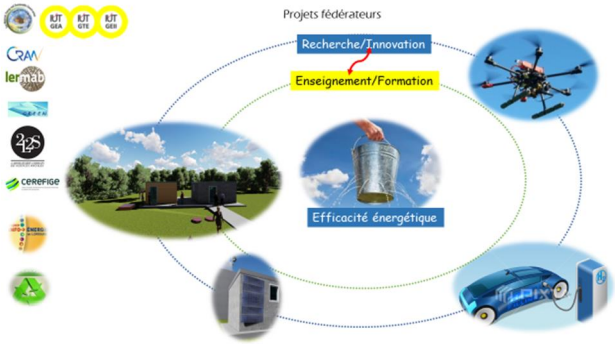


Fig. 1 : A lôIUT HP de Longwy le développement durable est lôefficacité énergétique sont fédérateurs du dispositif formation recherche.

Dans le secteur du bâtiment durable et intelligent, le contexte Français et Européen, tend à privilégier lôefficacité de lôenveloppe et le déploiement des technologies ôSmartgridsô. Ils répondent à deux objectifs antagonistes dans le domaine des matériaux et de lôénergie [1]. Il sôagit de chercher une optimisation entre lôusage des ressources en matériaux et lôéconomie des énergies utiles au fonctionnement.

En ce qui de lôéco-construction et de lôéco-rénovation, lôusage de matériaux écologiques est privilégié et nécessite des études de caractérisation de laboratoire, des études de leur intégration aux édifices (de préférence à lôéchelle 1) et un suivi de leur cycle de vie.

Par ailleurs, le renforcement, plutôt que le remplacement des réseaux existants a conduit à lôintégration de nouvelles technologies de lôinformation et de la communication à lôexistant, conciliant ainsi la conjoncture économique et le besoin dôun transfert de lôinformation toujours exigeant en efficacité et fiabilité.

Les micro-réseaux intelligents, sont des réseaux électriques, domestiques et industriels de petite taille, conçus pour réduire la facture énergétique et optimiser la production industrielle ou de services et fournir un approvisionnement électrique fiable et de meilleure qualité à une communauté réduite dôusagers.

Les deux objectifs cités de lôenveloppe performante et des réseaux intelligents conduisent à un environnement de bâtiment couplé à un

[1] Lorraine, Vallée Européenne des Matériaux et de lôEnergie
[2] 2L2S, CEREFIGE, CRAN, GREEN, LERMAB
[3] GEA, GEII, GTE

mix énergétique faisant que lôédifice durable se développe conjointement entre les solutions actives de production dôénergie et les solutions dites passives dôune isolation performante (*Fig. 2*).

Fig. 2 : De la paroi à lôEco-village, lôédifice durable se développe entre un bouquet énergétique (mix) et une isolation performante.

Le ómixô énergétique peut comporter de multiples installations de production locales et diffuses (Biomasse, Photovoltaïques, mini-Eoliennes, petites centrales hydrauliques, piles à combustible,é), des installations de consommation, des installations de stockage et des outils de gestion et dôobservation des flux. Le mix peut être raccordé directement au réseau de distribution ou fonctionner en mode île isolée.

Lôavantage de cette vision et quôelle peut être étendue à différentes circulations (électricité, chaleur, gaz, ..) et concerner différentes échelles du territoire (logement individuel, quartier, zone dôactivité, village, etc.).

En réalité, ce travail fait suite à présentés au CNR 2016 [2] collaboratif entre laboratoires de lôIUT pour développer un schéma de commande prédictive pour la conception de bâtiments intelligents et dôautre travaux conjoints entre laboratoires hébergés à lôIUT communiqués lors de conférences internationales et menés depuis 2012 [3-5].

La concrétisation de cette vision sôappuie sur une méthode qui consiste à développer des lieux de travail collaboratif utiles à la pédagogie et à la recherche et constituant une vitrine dôinnovation sur le territoire.

2. PROJET ET METHODOLOGIES

La stratégie développée précédemment conduit au développement de plate-formes partagées permettant de servir la pédagogie et lôinnovation par la recherche.

Cependant ces plate-formes ne peuvent être un lieu de vie scientifique le long de lôannée sans une présence active des jeunes chercheurs, ce qui a conduit à expérimenter à présent un plan baptisé Master@longwy.

Ce plan vise une importante présence simultanée de stagiaire de niveau Master au sein de lôIUT. Il est de nature à créer un climat collaboratif entre jeunes chercheurs, de stimuler le dialogue entre laboratoires et de développer au sein des plate-formes des expériences pouvant alimenter des travaux pratiques en pédagogie.

Il est à noter que sur le plan de la recherche, plusieurs projets sont développés au sein de lôIUT (Drones, Impression 3D, Myrabel mobilité, travail transfrontalier..) mais on se limitera dans le présent travail à la plate-forme énergie et bâtiment durable couplée au projet Master@longwy.

La plateforme éco-chalet bénéficie dôune convergence thématique entre les laboratoires et de lôappui du contrat de plan état région (CPER -ENERBATIN).

En effet lôobjectif de lôaction 5 du CPER ENERBATIN est de développer des méthodes d'ingénierie de systèmes cyber-physiques qui soient en mesure de diagnostiquer et de s'adapter à des situations dynamiques et complexes (prise en compte du vieillissement des actionneurs, dysfonctionnement dôun capteur, une variation de contexte,é). Ceci tout en optimisant lôefficacité énergétique de lôédifice ou de lôîlot et en assurant la sûreté de fonctionnement du système de contrôle en couplant simulation et expérimentation notamment à lôéchelle proche de lôunité (conditions dôusage). A cette fin, plusieurs plate-formes technologiques Lorraine sont soit à réaliser soit à compléter afin de les pérenniser.

La plate-forme de Longwy a pour objectif dôétudier le comportement hygrothermique de lôenveloppe et de lôambiance intérieure dans les conditions climatiques réelles. Les conditions météorologiques de la région se caractérisent par des hivers froids humides et sec en temps de gelé, et des étés doux. La plate-forme est modulaire évolutive et en construction progressive. Un des chalets est en ossature bois isolé par une couche de *20 cm* de laine de bois. Les façades extérieures accueillent un bardage vertical cloué sur des lattes verticales constituant une lame dôair de *45 mm.* Lôossature assurant la structure de bâtiment est contreventée par des panneaux OSB de *12 mm* dôépaisseur. Afin de protéger lôisolant contre la pluie, un par pluie est installé contre lôOSB sur le côté extérieur (lame dôair). Un isolant en laine de bois de *22 cm* dôépaisseur assurant isolation thermique du bâtiment est incorporé entre les ossatures bois. Finalement un par vapeur intérieur est ajouté cotre lôisolant sur le côté intérieur du chalet. A lôexception de la paroi sud, un panneau OSB a été cloué sur lôossature pour couvrir lôenveloppe de lôintérieur. La toiture est en bac acier isolée avec la laine de bois de *33 cm* dôépaisseur. Le chalet accueil une porte vitrée en triple vitrages orientée nord et deux fenêtres en double vitrage orienté est et ouest.

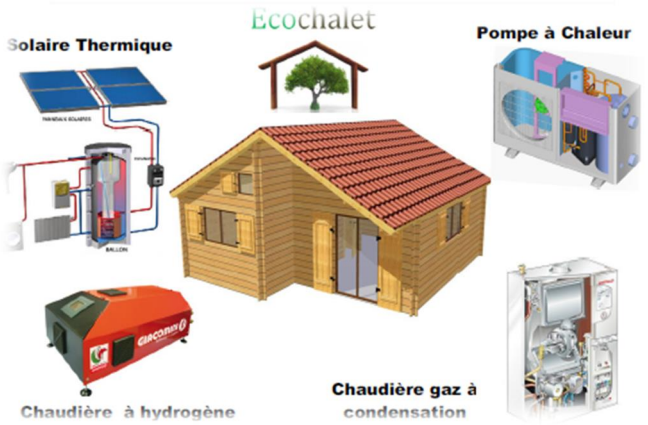


Fig. 3 : Principe d'une unité de la plate-forme Eco-chalet et du mix énergétique.

La plate-forme Eco-chalets est complétée dôune plate-forme SIMULBAT dédiée à la simulation numérique pour la problématique bâtiment durable. La plate-forme de simulation comporte des logiciels dédiés au bâtiment et aussi des logiciels dédiés à la résolution des équations de transferts de chaleur et de masse permettant dôextraire des solutions par voie de calcul sur la base des modèles développés.

La construction des entités bénéficie dôétude des matériaux et leur comportements extrêmes, comme dans la thèse de MôNasri [6] consacrée aux comportements hydriques et thermiques du matériau de construction, celle de LI dédiée à lôétude du comportement mécanique et à la tenue au feu [7].

Lôanimation scientifique des plate-formes est assurée essentiellement par les doctorants, stagiaires et les PFE. Le plan Master décrit précédemment vient renforcer cette dynamique. Il accueille à présent 4 Masters et 2 Projets de Fin dôEtude dôécoles dôingénieurs. Lôéquipe travaille de manière collective avec une équipe dôencadrant enseignants, enseignants chercheurs et techniciens.

3. QUELQUES RESULTATS

Plusieurs défis sont posés pour la caractérisation et la simulation du comportement des matériaux, les apports énergétique, le stockage et la gestion de lôénergie.

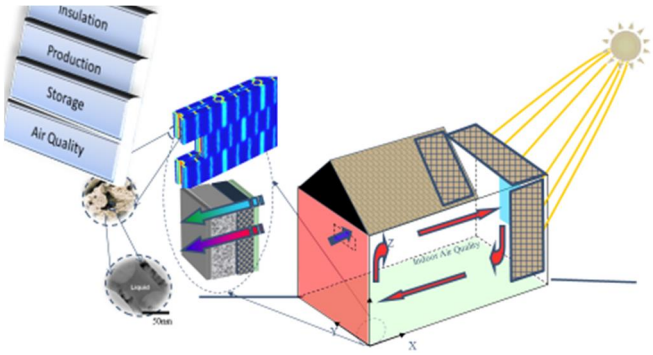


Fig. 4 : Vue schématique de lôentité chalet et du couplage apports/matériaux.

Un modèle mathématique a été développé pour traiter le transfert de chaleur et de masse dans un panneau de fibres de bois au cours de pressage à chaud. Les équations physiques développées au cours de cette étude sont résolus par la méthode numérique des éléments finis qui sont lôoutil de simulation par le logiciel COMSOL Multi physiques. Les résultats du modèle ont été comparés aux résultats expérimentaux dôune étude de la littérature. La bonne confrontation des résultats entre les deux études valide le modèle et donne les mêmes profils de température obtenus par la littérature, ce travail se poursuit dans une thèse et deux projets de Master. Dôune part Kamdem [8] étudie lôintégration dôéléments actifs (parois, planchers) avec usage de matériaux à changement de phase pour étudier un cycle stockage/déstockage bénéficiant des propriétés physiques de la chaleur latente (paraffine RT28HC) et dôautre part Dupuis [9] sôintéresse dôabord par voie de modélisation au comportement mécanique des parois composites réalisées.

Le mix énergétique est composé à présent dôapport solaire photovoltaïque [10]. Une pompe à chaleur est en cours dôinstallation ainsi que la solution hydrogène en cours dôétude. Benmeziane [11] entreprend la modélisation mathématique des électrolyseurs à membrane échangeuse de protons (Fig. 4). Lôhydrogène produit est par la suite stocké dans des réservoirs puis valorisé via une pile à combustible pour produire de lôénergie électrique. Le couplage thermo-mécanique sera étudié notamment par mesure et simulation.

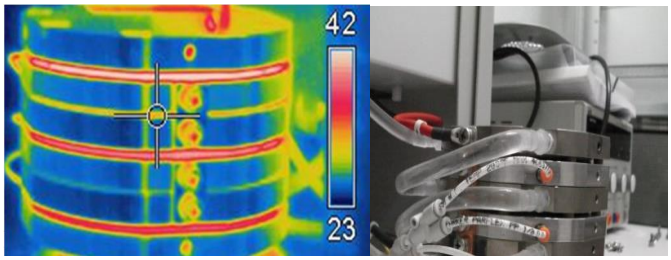


Fig. 4 : Un électrolyseur est un dispositif électrochimique exploitant lôeau dé-ionisée et lôélectricité pour produire de lôhydrogène pur.

La gestion intelligente de lôambiance est confiée dans le cadre de trois études. Znaidi [12] étudie cette commande pour un éco-chalet, lôobjectif étant de gérer lôénergie disponible par pilotage du chauffage/ventilation dans un premier temps pour maintenir une température de comfort au sein de lôéco-chalet. De manière similaire Oumarou et Ben Tekaya [13, 14] étudient le couplage entre le comportement thermique et la commande dôune salle de travaux pratiques. Une valeur ajoutée à leur travail est lôexploitation dôune enquête dôusage pour intégrer les comportements des usagers à leur modèle.

Le projet suggère également un intérêt pour la qualité de lôair dans les ambiances. Un projet post doctoral a été initié avec le laboratoire LCOMS de lôUniversité de Lorraine et le département mesures Physiques de lôIUT de Metz. La simulation 3D a permis de mettre en évidence la complexité des écoulements rencontrés en présence dôinjection et dôun plancher rafraichissant. Ce travail est en cours dôexploitation pour une future publication.

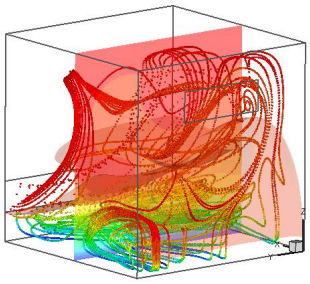


Fig. 5 Modèle de simulation plancher rafraichissant et dôune injection dôair ($Ra=10^6$, $Re=10^2$) montrant la complexité de lôécoulement par voie de simulation numérique.

4. PORTEE DU PROJET

Un modèle de fonctionnement en IUT a été présenté, il sôappuie sur une vision et une méthodologie. Quelques résultats illustrent les thématiques objets de cette recherche. Le travail se poursuit à travers notamment la définition de sujets fédérateurs concernant le mix énergétique et lôenveloppe durable intégrant les réseaux, le stockage et les aspects socio-économiques dôusage et de cout ont été abordés.

Le projet est amené à sôélargir à un modèle connecté apportant des éléments de réponse au dilemme isolation/usage.

La vision peut être augmentée dôune perspective dôanalyse exégétique ou économique (vision banque-client) permettant un dialogue des disciplines fertile et porteur dôimportantes perspectives.

Cet environnement est à présent disponible à lôIUT Henri Poincaré de Longwy qui à travers ce type de projets crée une interface forte entre les approches fondamentales et finalisée, pédagogie et innovation mais aussi assure par une présence vigoureuse de la recherche, la stabilisation des enseignants chercheurs au sein dôune composante délocalisée.

Lôattractivité locale et le rayonnement international bénéficient largement de ce type dôexpérience.

Fig 6. : Vue schématisée de la plate-forme en développement jouxtant le département GTE.

5. REMERCIEMENTS

Remerciement au CPER ENEBATION pour le support investissement du projet, Le PHC Maghreb pour les financements des thèses internationales, au consortium des laboratoires pour le financement des stages, aux techniciens et administratifs de lôIUT pour la disponibilité et lôappui sans faille au projet stratégique de la Recherche.

6. REFERENCES

1. M. EL GANAOUI, R. BENNACER, R. BELARBI. Int. Conf. Materials and Energy. ICOME 16 Foreword. Energy Procedia, Volume 139, 2017, pp. 204-206.
2. H. SOULEY ALI, M. ZASADZINSKI, M. ALMA, M. DAROUACH, M. EL GANAOUI. Application de la commande prédictive pour la conception de bâtiments intelligents : état de l'art et perspectives. CNR IUT, Nantes, 8-9 juin 2016.
3. HAROUNA SOULEY ALI, AHLEM SASSI, MICHEL ZASADZINSKI, KAMEL ABDERRAHIM AND MOHAMMED EL GANAOUI. Fault tolerant control for energy power systems. Int. Conference of Materials and Energy. ICOME 17. July 2017, Tinajin, China.
4. LAHOUCINE OUHSAINE, SCIPIONI ANGEL, EL GANAOUI MOHAMMED AND ABDELAZIZ MIMET design and 2d modeling of fractal mini heat sink-based pv/t hybrid systems. Int. Conference of Materials and Energy. ICOME 17. July 2017, Tinajin, China.
5. MARIAMA MOHAMED, ANGEL SCIPIONI, BERNARD DAVAT AND MOHAMMED EL.GANAOUI. The option of designing a PV-wind-hydrogen storage sys-tem to meet rural energy needs in the Comoros in the future. Energy and City of the Future, EVF 2018. 23-26 October 2018, Fès, Morocco.
6. F. MôNASRI, Doctorat de lôUniversité de Lorraine et de Monastir, Décembre 2016.
7. M. LI, doctorat de lôUniversité de Lorraine, Décembre 2018
8. HIPPOLYTE KAMDEM Stage Master, Ecole Normale Sipérieure de Cachan en GC, 2019.
9. PIERRE DUPUIS, PFE Ecole ENTPE, 2019.
10. LAHOUCINE OUHSSAINE, Doctorat de lôUniversité de Lorraine et de UAE Tétouan, Maroc. Décembre 2018.
11. DJAMEL BENMEZIANE, Stage de Master 2 MEEN site de Metz Lorraine, 2019.
12. ZENAIDI ADNANE Stage de Master 2, Aix-Marseille Université (AMU). Master 2 en Commercialisation en Instrumentation Scientifique, 2019.
13. S. OUMAROU. Stage de Master M2 MEEN, site de Metz Lorraine.
14. R. RANIA BEN TEKAYA PFE de lôEcole des Ingénieurs de Monastir, 2019.
15. S. MORSLI ET AL, papier en préparation pour le journal EPJAP, 2019.

2L2S : Laboratoire Lorrain de Sciences Sociales
CRAN : Centre de Recherche en Automatique de Nancy
CEREFIGE Centre Européen de Recherche en Économie Financière et Gestion des Entreprises
GEA : Département Gestion des entreprises et des administrations
GEII : Département Génie Electrique et Informatique Industrielle
GREEN : Groupe de Recherche en Energie Electrique de Nancy
GTE Département Génie Thermique et Energie
LERMAB : Laboratoire d'Étude et de Recherche sur le Matériau Bois

Informatique / Robotique / Imagerie / Electronique / Mathématiques

Investigation des matériaux les plus appropriés pour réaliser les électrodes nécessaires à la mesure de l'électrocardiogramme à domicile

Yajian Gan[1] Rémy Vauché[2] Jean-François Pons[3]
yajian.gan@im2np.fr remy.vauche@univ-amu.fr jean-francois.pons@witmonki.com

Wenceslas Rahajandraibe[4]
wenceslas.rahajandraibe@univ-amu.fr

[1] WitMonki SAS
Institut Matériaux Microélectronique Nanosciences de Provence, UMR 7334

[2,4] IUT, Aix-Marseille Université
Institut Matériaux Microélectronique Nanosciences de Provence, UMR 7334

[3] WitMonki SAS

Thèmes – *Santé - Électronique - Matériaux*

Résumé – *Cet article traite d'une étude préliminaire ayant comme objectif de déterminer le matériau le plus approprié pour la réalisation des électrodes nécessaires à la mesure de l'électrocardiogramme à l'aide d'un dispositif utilisable à domicile par les patients et n'utilisant que deux électrodes. En effet, bien que la mesure de l'électrocardiogramme dans le milieu médical ne pose pas de problème particulier (environnement contrôlé, patient immobile, application d'un gel sur la peau favorisant la mesure, etc.), l'utilisation à domicile d'un tel système est plus problématique car cela nécessite tout d'abord sa miniaturisation tout en garantissant une mesure fiable même lorsque le patient est en mouvement et ce, sans qu'il n'y ait besoin d'appliquer au préalable un gel sur la peau favorisant la mesure. Pour cela, une modélisation électrique du circuit vue entre deux électrodes posées sur la peau est ici tout d'abord introduite. Puis, des critères permettant de juger de la qualité d'un électrocardiogramme et notamment de sa sensibilité au mouvement du patient sont proposés. Enfin, une série de mesures électriques et d'électrocardiogrammes sont présentées pour différents matériaux en vue d'en déduire le modèle électrique et la qualité de signal induits par chaque matériau. En plus de dessiner dès maintenant une tendance entre les différents matériaux testés, il est envisagé par la suite d'étudier la corrélation entre les paramètres du modèle et la qualité de l'électrocardiogramme et ainsi d'imaginer à terme l'intégration dans le dispositif de méthodes de compensation améliorant en temps réel la qualité de l'électrocardiogramme mesuré.*

.

Mots-Clés – *Electrocardiogramme, matériaux pour électrodes sèches, modèle double couche électrique.*

1 Introduction

Les maladies cardiovasculaires impliquées en 2013 dans 31,5% des décès sont aujourd'hui la principale cause de mortalité dans le monde [1]. Pour les diagnostiquer, l'électrocardiogramme (ECG) permettant de visualiser l'activité électrique du cœur est généralement mesuré en milieu hospitalier à l'aide de 12 électrodes en chlorure d'argent Ag/AgCl. Ces électrodes sont dites humides car elles intègrent un gel électrolyte (conducteur) améliorant la qualité du signal mesuré une fois qu'il a pénétré dans les tissus sous la peau. Cependant, cette méthode impose que ces électrodes à usage unique soient placées à des endroits particuliers par du personnel qualifié et que le patient reste immobile, ce qui est difficilement envisageable à domicile. Ainsi, pour diagnostiquer les maladies cardiovasculaires à domicile, un système plus simple d'acquisition de l'ECG doit être développé comme celui envisagé par la société WitMonki.

Le système développé par la société WitMonki est un dispositif au format carte de crédit dans lequel sont intégrés deux électrodes sur lesquelles doivent être placés les pouces gauche et droit du patient. Pour simplifier son utilisation, des électrodes dites sèches ont été retenues, c'est-à-dire des électrodes sans gel électrolyte à appliquer au préalable permettant d'améliorer la qualité de l'ECG mesuré.

Dans ce contexte, la qualité du signal mesuré est alors sensible au mouvement du patient de même qu'au matériau utilisé dans les électrodes. Ainsi, cet article traite des recherches en cours concernant les matériaux à utiliser pour réaliser ces électrodes sèches. Il a pour objectifs : 1) de déterminer quel matériau permet d'être le moins sensible au mouvement du patient tout en conservant un ECG de bonne qualité, 2) de déterminer le modèle électrique induit par chaque matériau. En effet, ce dernier point permettra à terme d'étudier le lien entre les paramètres du modèle et la qualité de l'ECG puis d'envisager à terme des techniques de compensation.

Pour cela, une modélisation électrique du circuit vue entre deux électrodes posées sur la peau est introduite dans la section 2. Puis, des critères permettant de juger de la qualité d'un ECG sont proposés dans la section 3. Enfin, une série de mesures électriques et d'électrocardiogrammes sont présentées pour différents matériaux dans la section 4 en vue de déterminer le modèle électrique ainsi que la qualité de l'ECG associés à chaque matériau. Enfin, une conclusion présente les directions qui seront suivies pour les recherches à venir.

2 Modèle électrique du circuit vue entre deux électrodes posées sur la peau

Lorsqu'une électrode est en contact avec la peau, une zone particulière d'une épaisseur généralement de l'ordre de l'angström (10^{-10} mètre) se forme à l'interface entre l'électrode et la peau et est appelée « double couche électrique » (Electrical Double Layer, EDL) [2]. Pour modéliser son comportement électrique, un « élément à phase constante » (Constant Phase Element, CPE) a été introduit [3] et a pour impédance (rapport tension sur courant à une fréquence donnée) Z_{CPE} :

$$Z_{CPE}(\omega) = Q^{-1} \cdot (j\omega)^{-n}, \quad (1)$$

où n est un coefficient compris entre 0 et 1, Q une constante, j le nombre imaginaire et ω la pulsation égale à 2π multiplié par la fréquence considérée. Grâce à cela, il alors est possible de modéliser le circuit électrique vu entre les deux électrodes posées sur la peau comme indiqué sur la figure 1 où $R_P/2$ en parallèle du CPE [$2Q$; n] modélise l'interface peau-électrode et R_S la résistance du corps humain. L'impédance Z_{EE} du circuit électrique vue entre les deux électrodes placés sur la peau s'écrit alors :

$$Z_{EE}(\omega) = R_S + \frac{R_P}{1 + R_P Q (j\omega)^n} \cdot \quad (2)$$

Le diagramme de Nyquist (conjugué de la partie imaginaire de l'impédance considérée en fonction de la partie réelle de cette même impédance) de Z_{EE} est représenté sur la figure 2 et permet alors de déterminer les différents paramètres du modèle à partir de l'allure de l'impédance mesurée.

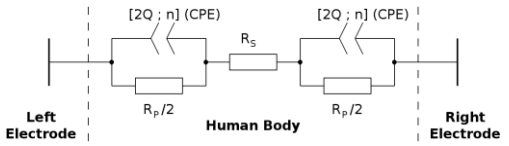


Figure 1 – Circuit électrique vue entre deux électrodes placées sur la peau.

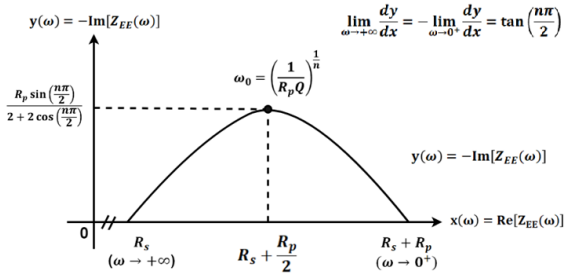


Figure 2 – Diagramme de Nyquist de l'impédance vue entre les deux électrodes placées sur la peau.

3 Paramètres permettant d'estimer la qualité d'un électrocardiogramme et notamment sa sensibilité au mouvement du patient

Pour estimer la qualité d'un signal ECG obtenue avec des électrodes sèches fabriquées dans un matériau donné, il est nécessaire de le comparer à l'ECG mesuré simultanément à l'aide d'électrodes humides utilisées

habituellement en milieu hospitalier. Deux exemples d'enregistrements simultanés sont donnés sur la figure 3, le premier pour des électrodes sèches en laiton avec une couche d'or, le second toujours pour des électrodes sèches en laiton mais avec une couche d'acier inoxydable. En notant *x* l'ECG obtenu avec les électrodes expérimentales et *y* l'ECG de référence, il est possible de formuler deux paramètres de comparaison à savoir l'inverse du coefficient de corrélation croisée défini par :

$$1/\operatorname{cov}(x,y) = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{N}[x(n)-\bar{x}]^2 \times \sum_{n=1}^{N}[y(n)-\bar{y}]^2}}{\sum_{n=1}^{N}[x(n)-\bar{x}]\times[y(n)-\bar{y}]} \quad (3)$$

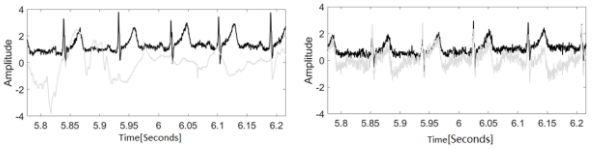
et l'erreur des moindres carrés définie par :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{N}[x(n)-y(n)]^2}{n}}. \quad (4)$$

Par ailleurs, l'erreur des moindres carrés a ici été calculée pour deux bandes de fréquences distinctes à savoir la bande [5Hz ; 25Hz] et la bande [25Hz ; 40Hz].

Pour compléter ces trois paramètres, une autre famille de paramètre dépendant uniquement du signal mesuré à l'aide des électrodes sèches est utilisée. Il y a tout d'abord l'écart-type pour la bande de fréquences inférieure à 2Hz mais également la Densité Spectrale de Puissance (DSP) pour trois bandes de fréquences distinctes à savoir la bande [45Hz ; 55Hz], la bande [40Hz ; 150Hz] et la bande au-delà de 150Hz.

Enfin, il est à noter que l'écart-type, l'erreur des moindres carrés et l'inverse du coefficient de corrélation croisée permettent notamment d'estimer la sensibilité de l'ECG mesuré au mouvement du patient, sensibilité induite par l'utilisation d'un matériau donné pour les électrodes sèches.



(a) (b)

Figure 3 – Electrocardiogramme de référence (ligne noire) en concordance de temps avec l'électrocardiogramme mesuré à l'aide des électrodes sèches en laiton (ligne grise) avec soit un dépôt d'or (a) ou d'acier inoxydable (b).

4 Résultats de mesure

Dans cette étude, différents matériaux ont été testés pour les électrodes à savoir le laiton (BS) et le laiton avec un dépôt fin d'or (Au), de platine (Pt), de chrome (Cr), de palladium (Pd) et d'acier inoxydable (SST). Les différents paramètres introduits dans la section précédente sont représentés sur la figure 4 pour chaque matériau sous la forme d'un diagramme en radar. Il est à noter que plus l'aire formée par un matériau est petite, meilleure est la qualité de l'ECG et plus faible est sa sensibilité au mouvement du patient. Il semble donc en ressortir que les électrodes en laiton ayant une fine couche d'acier inoxydable sont les plus appropriées au contexte présenté.

Enfin, les différents paramètres du modèle électrique présentés dans la section 2 et indiqués dans la table 1 ont été extraits pour chaque matériau à l'aide d'une première compagne de mesure d'impédance entre 0,1Hz et 1kHz. Il en ressort que la valeur Q semble être corrélée à la qualité de l'ECG obtenu.

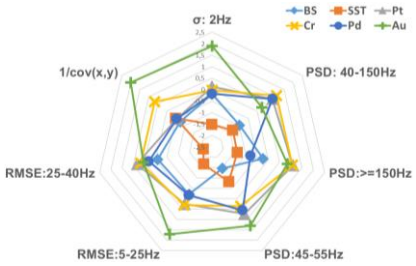


Figure 4 – Diagramme en radar des paramètres permettant d'estimer la qualité d'un signal ECG.

Table 1 – Paramètres du modèle selon le matériau

	BS	**SST**	**Pt**	**Cr**	**Pd**	**Au**
R_S (kΩ)	5,54	4,33	6,45	10,3	1,00	3,39
R_P (MΩ)	1.00	1.16	1.12	1.35	1.18	1.44
n	0.62	0.58	0.66	0.55	0.68	0.62
Q ($\mu\Omega^{-1}.s^n$)	0.20	0.25	0.16	0.24	0.12	0.09

5 Conclusions

Dans cet article, les travaux en cours concernant le matériau à utiliser pour obtenir des ECG de bonnes qualités avec des électrodes sèches à domicile ont été présentés. Il en ressort que l'acier inoxydable semble être un bon candidat à cette application. Néanmoins cela doit être confirmé par une campagne de mesure plus poussée. Enfin, il reste également à étudier en profondeur le lien entre les paramètres du modèle présenté et la qualité de l'ECG afin d'envisager l'intégration dans le système de mesure de l'ECG, de méthodes de compensation améliorant la qualité de l'ECG dans le cas où la distorsion induite par les mouvements peut être prédite par le modèle.

Références

[1] E. J. Benjamin et al., *Heart Disease and Stroke Statistics—2017 Update: A Report From the American Heart Association*, American Heart Association Journal, vol. 135, issue 10, 2017.

[2] H. Wang and L. Pilon, *Accurate simulations of electric double layer capacitance of ultramicroelectrodes*, J. Phys. Chem. C, vol. 115, no. 33, pp. 16711–16719, 2011.

[3] J. B. Jorcin, M. E. Orazem, N. Pébère, and B. Tribollet, *CPE analysis by local electrochemical impedance spectroscopy*, Electrochim. Acta, vol. 51, no. 8–9, pp. 1473–1479, 2006.

Sur la détermination du périmètre du Colisée

Jean-Marc GINOUX[1] & Jean-Claude GOLVIN[2]
[1]Laboratoire LIS, CNRS, UMR 7020, Université de Toulon, B.P. 20132, 83957, La Garde Cedex, France.
[2]Directeur de Recherches au CNRS, Université de Bordeaux III Michel de Montaigne, France

THEMATIQUE - Mathématiques et Histoire des Sciences. CNU 61 & 72.

RESUME - Le Colisée est un édifice de forme apparemment elliptique construit par les romains en 80 ap. J.-C. Mais, contrairement au cercle, la formule mathématique permettant de calculer le périmètre de l'ellipse n'a été établie qu'au milieu du XVIIIe siècle. Comment les architectes romains ont-ils pu alors bâtir ce monumental édifice en ignorant son périmètre ? Pendant des siècles, des générations d'archéologues, d'architectes et de mathématiciens se sont heurtées à ce problème jusqu'à ce qu'il soit établi que l'on pouvait construire une ellipse à partir d'un ovale à huit centres, c'est-à-dire, en utilisant huit arcs de cercles de centres et de rayons différents. Le calcul de son périmètre, qui se réduit alors à la simple somme d'arcs de cercles, n'a semble-t-il, jamais encore été effectué, ni publié. L'objet de ce travail est donc de présenter une démonstration de la détermination du périmètre de l'ovale à huit centres et de l'appliquer au Colisée.

Mots-clés—Ellipse ; Ovale à Huit Centres ; Périmètre ; Colisée ;

1. INTRODUCTION

Dans son étude sur les amphithéâtres romains, Jean-Claude Golvin [8, p. 309] a montré que :

> « La forme elliptique n'est cependant pas née par hasard. Elle dérive, très probablement, de ces aménagements de bois éphémères réalisés sur le *forum*, qui n'ont guère laissé de traces. Dans cette hypothèse, l'arène elliptique serait apparue à partir du moment où le monument, libéré de l'enveloppe oblongue que constituait pour lui le contour du *forum*, put se développer en terrain libre, selon une formule nouvelle et acquérir la forme qui correspondait le mieux à sa fonction essentielle. L'arène dut donc être améliorée progressivement et il en fut de même pour la *cavea* (partie des gradins). Les premiers combats de gladiateurs avaient lieu sur le *forum*. Face à la popularité grandissante des jeux, les romains ont alors monté des tribunes en bois amovibles étroites qui entouraient l'aire de combat. Malheureusement, l'extension de celles-ci était fort limitée puisqu'elles venaient buter contre les portiques du *forum*. Or cette solution ne pouvait convenir si l'on voulait accueillir un très large public. En revanche, à partir du moment où l'on décida d'implanter un nouvel édifice de spectacle, exclusivement destiné aux combats, à l'extérieur de la ville, rien ne pouvait entraver le développement de sa *cavea*, et c'est alors qu'on dut avoir l'idée de transposer les qualités remarquables de celle du théâtre en l'adaptant ingénieusement au contour elliptique de l'arène. C'est seulement en ce sens que le monument de Curion mérite d'être à nouveau cité car la façon dont ses deux théâtres de bois constitutifs venaient s'accoler l'un à l'autre rappelle peut-être une combinaison plus ancienne qui aurait consisté à imaginer un nouvel édifice dont la *cavea* était l'équivalent de celle de deux théâtres raccordés. »

Si ses travaux ont ainsi permis d'expliquer l'origine de la forme elliptique des amphithéâtres romains, la manière avec laquelle les bâtisseurs romains les ont construits demeurait depuis des siècles un mystère. En effet, l'amphithéâtre Flavien surnommé *Colisée*, ou *Colosseo*, à cause de la statue colossale de l'empereur Néron qui se tenait à proximité et qui a aujourd'hui disparu, possède, comme tous les autres, une forme elliptique (voir Fig. 3). L'étude de sa construction met en lumière deux problèmes. Le premier consiste à comprendre comment les architectes romains ont-ils pu tracer au sol deux ellipses circonscrites : l'une représentant les dimensions de l'arène et l'autre celles du mur d'enceinte du Colisée. On serait tenté de croire que l'on peut y parvenir en utilisant la méthode dite du « jardinier ». Mais c'est tout bonnement impossible ! Tout d'abord, parce que cette méthode n'a été inventée qu'au Ve siècle après J.-C. par l'ingénieur byzantin Anthémius de Tralles (474–558 ap. J.-C.). Ensuite, parce qu'elle ne permet pas de tracer deux ellipses circonscrites. Le second problème, et non des moindres, est celui de la détermination du périmètre de cet édifice. En effet, si les principales propriétés de l'ellipse, obtenue par l'intersection d'un cône de révolution avec un plan, avaient été rapidement découvertes et consignées par Appollonius de Perge (*ca*. 240 av. J.-C.) dans son célèbre traité sur les *Coniques*, la détermination de son périmètre devait rester, pendant plusieurs siècles, inaccessible aux géomètres. Aussi, dès l'antiquité grecque, puis romaine, et tout au long des siècles qui suivirent, de nombreuses approximations du périmètre de l'ellipse furent proposées par de célèbres astronomes ou mathématiciens. En 1609, Johannes Kepler présenta une formule (1) consistant à approcher la circonférence de l'ellipse par celle de deux cercles dont les rayons étaient respectivement égaux à la moyenne géométrique et à la moyenne arithmétique des longueurs de son demi grand axe a et de son demi petit axe b :

$$L(a,b) = \pi(a+b) \tag{1}$$

On remarque que si l'ellipse se réduit à un cercle de rayon R, on a : $a = b = R$ et l'on retrouve la valeur bien connue du périmètre du cercle. Après l'invention du calcul infinitésimal à la fin du XVIIe siècle par Isaac Newton et Gottfried Wilhelm Leibniz et celle des développements en séries, réalisée au début du XVIIIe siècle par Brook Taylor, le mathématicien écossais Colin Mc Laurin [13, p. 659] fournit l'expression exacte du périmètre de l'ellipse sous la forme d'une série infinie de termes :

"The same elliptic quadrant is to the quadrant of the circle of a radius equal to SB the semi-transverse axis, supposing SB = a, as

$$1-\frac{k^2}{4a^2}-\frac{3k^4}{64a^4}-\frac{5k^6}{256a^6}-\&c.\ \text{ to }\ 1.\text{"}$$

D'après Carl Gustav Jakob Jacobi, le mathématicien et physicien suisse Léonard Euler [5, p. 128] présenta devant les membres de l'Académie des sciences de Berlin, le 11 septembre 1749, une description de la circonférence de l'ellipse au moyen d'une série infinie de termes :

« §. XV. Quodsi jam isti valores pro formulis integralibus, ex quibus longitudo quadrantis elliptici q conflari inventus est, substituantur, reperietur

$$q=\frac{\pi}{2}-\frac{1}{2}nn.\frac{\pi}{2}-\frac{1}{2}\frac{1}{4}n^4.\frac{1}{2}\frac{3}{4}\frac{\pi}{2}-\frac{1}{2}\frac{1}{4}\frac{3}{6}n^6.\frac{1}{2}\frac{3}{4}\frac{5}{6}\frac{\pi}{2}-\&c.$$

quæ ad seqentem seriem fatis concinnam revocatur

$$q=\frac{\pi}{2}\left(1-\frac{1}{2}\frac{1}{2}n^2-\frac{1}{2}\frac{1}{4}\frac{1}{2}\frac{3}{4}n^4-\frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{4}\frac{3}{4}\frac{5}{6}\frac{5}{6}n^6-\&c.\right)$$

cujus lex progressionis est manifesta. »

L'année suivante, le comte Giulio Fagnano, un mathématicien italien autodidacte, introduisit une série de transformations analytiques ingénieuses jetant les bases de la théorie des *intégrales elliptiques*. Ses travaux furent publiés en 1750 sous la forme de deux volumes intitulés *Produzioni matematiche* [6]. Euler, à qui on avait demandé d'examiner les deux traités de Fagnano, généralisa ses résultats et fournit la fameuse formule de l'intégrale elliptique (2) permettant de calculer la valeur du périmètre d'une ellipse en fonction de son excentricité $\varepsilon = c/a$ avec $\varepsilon = \sqrt{a^2-b^2}$:

$$\begin{aligned} L(a,b) &= 4a\int_0^{\pi/2}\sqrt{1-\varepsilon^2\sin^2(t)}dt \\ &= 2\pi a\left[1-\frac{\varepsilon^2}{4}-\frac{3\varepsilon^4}{64}-\frac{5\varepsilon^6}{256}-\dots\right] \end{aligned} \qquad (2)$$

Cette intégrale elliptique (2), dite de « deuxième espèce », ne pouvant s'exprimer en termes de fonctions élémentaires, de nouvelles approximations furent régulièrement proposées jusqu'à nos jours. On peut citer, pour mémoire, celle du mathématicien écossais James Ivory en 1796, celle du mathématicien italien Giuseppe Peano en 1889, ou encore celles fournies par le mathématicien indien Srinivasa Ramanujan [1] en 1914.

Aussi, dans ces conditions, comment les romains ont-ils pu bâtir un tel monument, le plus grand de tout l'Empire Romain, sans connaître son périmètre ?

2. L'OVALE A HUIT CENTRES

La réponse à cette question fut apportée par Balbus, l'arpenteur romain de Trajan qui vécut au Ier siècle de notre ère :

« Ex pluribus circulis forma sine angulo, ut harenae ex quattuor circulis. »

Cette phrase, que l'on peut traduire par « Il s'agit d'une forme non angulaire tracée à partir de plusieurs cercles comme les arènes [amphithéâtres] le sont à partir de quatre cercles », semble indiquer que les formes ovales ont pu être privilégiées pour la construction des amphithéâtres romains. D'après les archéologues qui ont étudié depuis ces édifices [4, 14, 18], il apparaît que la méthode employée par ces bâtisseurs consistait à approcher la représentation graphique d'une ellipse par une courbe polycentrique, c'est-à-dire, par un ovale à plusieurs centres. Ce fait fut confirmé par en 1682, Antoine Desgodetz, architecte du roi Louis XIV, qui étudia, à la demande de Colbert, les plus célèbres monuments de Rome. Il écrivit à propos du Colisée [3] :

« J'ai trouvé l'ovale qui forme le mur […] pour cela j'ai séparé la circonférence en plusieurs arcs que j'ai trouvé pouvoir être tracés au compas par huit centres. »

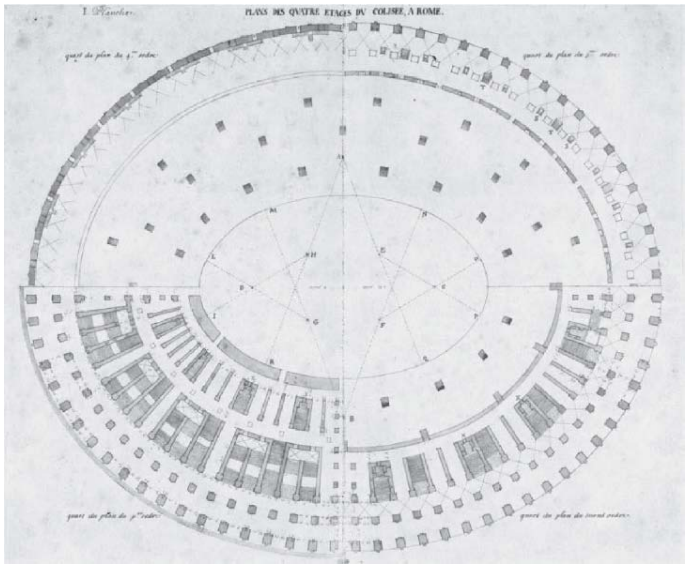


Fig.1 Ovale à huit centres du Colisée d'après Desgodetz [3].

Dans son analyse concernant la construction des amphithéâtres romains, Jean-Claude Golvin a ainsi montré que certains d'entre eux sont construits à partir d'ovales à quatre centres, d'autres à partir d'ovales à huit centres [8]. Mark Wilson Jones [18], qui considère que le plan du Colisée est un ovale à huit centres, a écrit :

"By contrast the oval is a compound form, approximating to the ellipse by means of segmental arcs of different radius which meet where they share the same tangent. The simplest oval has four arcs drawn from two pairs of focal points on the main axes. More arcs and focal points may be added on this principle; the greater their number the closer the oval resembles the ellipse."

Depuis, plusieurs recherches ont confirmé, analytiquement et numériquement, que le tracé de l'ellipse pouvait être approché par un ovale à huit centres ou plus [12].

Si l'ovale parait donc avoir été utilisé lors de l'édification d'amphithéâtres romains au tout début de l'ère chrétienne, il faut attendre, semble-t-il, la Renaissance italienne pour que des méthodes de construction d'ovales soient formalisées et publiées. Ainsi, l'architecte et sculpteur italien Sebastiano Serlio (1475–1554) proposa, dans son célèbre traité d'architecture, quatre constructions géométriques possibles d'ovales permettant d'approximer le tracé d'une ellipse [15]. Elles furent ensuite utilisées pendant des siècles par différents architectes à travers l'Europe pour la réalisation de nombreux monuments.

Néanmoins, si le problème du tracé d'une l'ellipse à partir de ses foyers avait été résolu au XVIIe siècle par différentes méthodes, celui de la construction d'un ovale à partir de ses axes restait encore à résoudre. La solution fut finalement apportée par le mathématicien, architecte, philosophe et théologien espagnol Tomas Vicente Tosca (1651–1723). Dans le premier volume de son *Compendio Mathematico*, Tosca définit l'ovale à quatre centres par la mesure de ses deux axes principaux [16]. Ayant ainsi déterminé le premier centre, il déduit le second de la bissectrice. Sa méthode fournit alors une infinité de solutions pour les ovales d'axes similaires [12].

Concernant le tracé d'un ovale à huit centres, différentes méthodes étaient déjà connues au XVIIe siècle, comme en attestent les écrits de Desgodetz ci-dessus. D'autres furent ensuite proposées tout au long du XVIIIe siècle comme, par exemple, celles présentées par le mathématicien et astronome français Charles Étienne Louis Camus (1699–1768) dans les derniers chapitres de ses *Éléments de géometrie théorique et pratique* [2]. Ces méthodes consistaient alors à déterminer les centres et les rayons de trois cercles permettant de tracer trois arcs de cercle, qui forment ainsi une approximation circulaire par morceaux du quart de l'ellipse. Dans le cas de l'ovale à huit centres, cette détermination présentait, jusqu'à présent, comme le rappelait en 1999 Camille Trevisan [17], la difficulté suivante :

> « Non seulement il y a des combinaisons infinies pour le rayon *mineur* (R_1) et le *majeur* (R_3), comme dans l'ovale à quatre centres ; mais aussi autant de possibilités infinies de choix pour le rayon *intermédiaire* (R_2). »

3. La solution de Frederic Robertson Honey

Cette difficulté, qui réside dans la détermination des centres et des rayons des trois arcs de cercle, semble avoir été levée par Frederic Robertson Honey en 1906 (Voir Fig. 2). Né à Londres, Honey avait tout d'abord travaillé comme ingénieur dans le commerce britannique de l'Atlantique, de la Mer du Nord et de la Méditerranée. Après deux années passées au chantier naval de Bombay, il devient ingénieur en chef le long de la côte ouest de l'Inde en 1870. L'année suivante, il décide d'émigrer aux États-Unis. De 1872 à 1890, Honey enseigne le dessin industriel et la géométrie descriptive à la Sheffield Scientific School de Yale et à la perspective à la Yale Art School. Il poursuit ensuite sa carrière au Trinity College à partir de 1890. Durant les deux années qui suivent, il publie deux articles dans la revue *Scientific American* (*Pour la Science*). Dans le premier, il propose une table pour tracer des ellipses au moyen d'arcs de cercles [9] et dans le second, il étudie les ellipses et les ovales équivalents d'aires égales [10]. Étonnement, il abandonne ses recherches pendant plus de quinze ans et n'y revient qu'en 1906. Il publie alors un article [11] dans lequel il utilise des cercles *majeur* et *mineur* dont les centres et les rayons sont déjà connus et présente un moyen permettant de déterminer ceux du cercle *intermédiaire*. Il fournit ainsi une méthode de tracé d'un ovale à huit centres qui coïncide presque parfaitement avec l'ellipse construite sur les mêmes axes. Néanmoins, il ne calcule pas les angles aux centres de ces trois rayons, ce qui lui aurait permis d'obtenir les longueurs de ces trois arcs de cercles et donc d'approximer le périmètre de l'ellipse.

Fig.2 Frederic Robertson Honey (1844-1929)

4. Sur la determination du perimetre de l'ovale a huit centres

La lecture de l'article de Honey [11] nous a incité, Jean-Claude Golvin et moi-même à effectuer ce calcul qui nous a conduit à une nouvelle approximation du périmètre de l'ellipse par un ovale à huit centres [7]. Nous avons obtenu la formule (3) suivante :

$$O(a,b) = 4\left[R.\mathrm{Arcsin}(\gamma) + p.\mathrm{Arcsin}(\beta) + r.\mathrm{Arcsin}(\delta)\right] \qquad (3)$$

où les expressions des angles et des rayons sont présentées dans le Tab. 1 ci-dessous :

Tableau 1. Angles et rayons des trois cercles majeur, intermédiaire et mineur.

Angle	Rayon
$\sin(\gamma) = \frac{b}{2a+b}\frac{2a+b+\sqrt{2ab}}{a+b+\sqrt{2ab}}$	$R = \frac{a^2}{b}$
$\sin(\beta) = \frac{2(a+b)\sqrt{2ab}}{(a+2b)(2a+b)}$	$p = \frac{a+b}{2}$
$\sin(\delta) = \frac{a}{a+2b}\frac{a+2b+\sqrt{2ab}}{a+b+\sqrt{2ab}}$	$r = \frac{b^2}{a}$

Nous avons alors appliqué la formule que nous avons obtenue (3) au calcul du périmètre du Colisée et nous l'avons comparée au résultat fourni par l'intégrale elliptique (2). Dans le cas de l'amphithéâtre Flavien, plus connu sous le nom de Colisée, les dimensions de ce monument fournies par Golvin [8], Trevisan [17] et Wilson [18] et relevées sur site sont égales à 188 m pour la plus grande longueur et 156 m, pour sa plus grande largeur. En supposant que ce monument a la forme d'une ellipse de demi grand axe a = 94 m et de demi petit axe b = 78 m, la valeur de l'excentricité est e = 0.55. Nous avons obtenu la valeur du périmètre de l'ellipse et donc celle du Colisée $O(94, 78)$ = 541.523 m. Avec l'expression (2), on a trouvé $L(94, 78)$ = 541.524 m. L'erreur relative entre ces deux expressions est

dans le cas du Colisée de l'ordre de 1.85×10^{-6}. Des tests numériques ont été réalisés afin de calculer les expressions (2) et (3) pour différentes valeurs de *a* et *b* variant entre 1 et 10. Ces tests qui pourraient facilement être étendus à des intervalles plus importants, ont montré que l'erreur relative entre les deux expressions (2) et (3) reste inférieure à 0.029%.

5. Conclusion

La très faible erreur relative entre les résultats du calcul du périmètre de l'ellipse au moyen des deux expressions (2) et (3) nous a incité à supposer que c'était peut-être ce type de méthode qu'avaient employés les architectes romains du Colisée. Si tel fut le cas, il est alors tout à fait possible d'imaginer que les coordonnées du troisième cercle se trouvent peut-être encore matérialisées au sol par une marque sur une pierre quelque part dans le réseau souterrain de galeries du Colisée dans lequel les gladiateurs, les prisonniers et les animaux attendaient de rejoindre l'arène et affronter leur destin.

Fig.3 Le *Colisée*, restitution d'après J.-C. Golvin.

6. Remerciements

Les auteurs souhaitent chaleureusement remercier Monsieur Moez Bouchouicha, maître de conférences (CNU, 61) pour son soutien et sa collaboration fructueuse.

7. References

[1] B. Berndt, *Ramanujan's Notebooks*, vol. 3, Springer-Verlag, New York, 1991.

[2] C.E.L. Camus, *Éléments de géometrie théorique et pratique* (Cours de mathématique, seconde partie), Durand, 1750, pp.526–536.

[3] A. Desgodetz, *Les édifices antiques de Rome*, 1682.

[4] M. Docci, « La forma del Colosseo: dieci anni di ricerche. Il dialogo con i gromatici romani », in: *Disegnare idee immagini*, vol. 18–19, Dipartimento del Rappresentazione e Rilievo dell'Universita degli Studi "La Sapienza" di Roma, Gangemi, Rome, 1999, pp.23–32.

[5] L. Euler, « Animadversiones in rectificationem ellipsis (Observations sur la rectification des ellipses) », in: Opuscula varii argumenti 2, 1750, pp.121–166, Opera Omnia: 1(20) 21–55.

[6] G. Fagnano, *Produzioni matematiche*, vol. 1 & 2, Nella Stamperia Gavelliana, In Pesaro, 1750.

[7] J.-M. Ginoux & J.-C. Golvin, « Sur la détermination du périmètre de l'ovale à huit centres », *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Vol. 356, Issues 11-12, November–December 2018, p. 1195-1202

[8] J.-C. Golvin, *L'Amphithéâtre romain*, Boccard, Paris, 1988.

[9] F.R. Honey, "A Table for Drawing Ellipses by Arcs of Circles," *Scientific American Supplement*, No 157, July 5, 1890, p. 12088-12089.

[10] F.R. Honey, "Ellipses and Equivalent Ovals of Equal Areas," *Scientific American Supplement*, No 801, May 9, 1891, p. 12798-12799.

[11] F.R. Honey, "How to construct an ellipse: two interesting letters," *Scientific American*, Vol. 95, No 8, August 25, 1906, p. 135.

[12] A.A. Mazzotti, *All Sides to an Oval*, Springer-Verlag International Publishing, 2017.

[13] C. McLaurin, *A Treatise of Fluxions in Two Books*, vol. 2, T.W. and T. Ruddimans, Edinburgh, 1742.

[14] R. Migliari, « Principi teorici e prime acquisizioni nel rilievo del colosseo », in: *Disegnare idee immagini*, vol. 18–19, Dipartimento del Rappresentazione e Rilievo dell'Universita degli Studi "La Sapienza" di Roma, Gangemi, Rome, 1999, pp.33–50.

[15] S. Serlio, *Il primo libro d'Architettura di Sebastiano Serlio, bolognese*, (Le premier livre d'architecture de Sebastiano Serlio), Bolonoi, mis en langue francoyse par Iehan Martin, 1545.

[16] T.V. Tosca, *Compendio Mathematico, en que se contienen todas las materias más principales de las ciencias, que tratan de la cantidad*, in: Tomo I: Geometría Elemental, Aritmética Inferior, Geometría Práctica, Antonio Bordazar, 1707, pp.292–295.

[17] C. Trevisan, « Sullo schema geometrico costruttivo degli anfiteatri romani: gli esempi del Colosseo e dell'Arena di Verona, in: Il Colosseo. Studi e ricerche », in *Disegnare idee immagini*, vol. 18–19, Dipartimento del Rappresentazione e Rilievo dell'Universita degli Studi "La Sapienza" di Roma, Gangemi Editore, Rome, 1999, pp.117–132.

[18] M. Wilson Jones, "Designing amphitheatres," *Mitt. Dtsch. Archäol. Inst.*, 100, 1993, pp. 391–441.

Géométrie de l'Information Finslerienne $\mathbb{R}$-complexe

Christophe Corbier
christophe.corbier@univ-st-etienne.fr

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

Thèmes – *Mathématiques*

Résumé – *La géométrie de l'information est un domaine des mathématiques qui étudie les notions de probabilité et d'information par le biais de la géométrie différentielle. Un modèle statistique est défini par un sous-ensemble M de l'ensemble des lois de probabilités sur un ensemble mesurable. On peut alors munir M d'une structure de variété différentiable sur laquelle on peut définir une métrique naturelle dite de Fisher et qui induit une structure riemannienne ou finslerienne sur le modèle statistique. La géométrie de l'information trouve des applications dans de nombreux domaines tels que, les inférences statistiques, la physique quantique, les statistiques financières, l'intelligence artificielle ou bien l'imagerie médicale. Cette géométrisation des modèles statistiques a été étendue aux systèmes dynamiques complexes et aux signaux. On parle alors de* ***variétés de systèmes****. Cet article a pour but de présenter cette dernière approche.*

Mots-clés – *Géométrie de l'information, variétés de systèmes, espaces Finsleriens $\mathbb{R}$-complexe*

1 Origines et Généralités

Les travaux de M.Fréchet et C.R.Rao [8] sur la borne inférieure de tout estimateur statistique ont été le point de départ de la Géométrie de l'Information (GI). M.Fréchet s'est intéressé aux densités dites *distinguées* pour lesquelles l'estimateur atteint la borne inférieure et découvrit la structure de la GI. Rao a introduit ensuite une structure riemannienne dans l'espace des paramètres des densités de probabilités. En 1974, le physicien J-M.Souriau [7] a reformulé les travaux de Lagrange et a introduit la *Géométrie Symplectique*. Il a étendu la Mécanique Statistique dans ce nouveau formalisme en généralisant la notion d'état de Gibbs aux actions hamiltoniennes d'un groupe de Lie sur une variété symplectique homogène. Quelques années plus tard, ce même physicien a introduit le modèle dit *Thermodynamique des groupes de Lie*. Ce modèle a permis de généraliser la GI pour des variétés homogènes et proposant une métrique universelle de Fisher-Souriau. N.N.Chentsov [2] a axiomatisé la GI et a montré que la métrique de Fisher était unique. Plus tard, H.Shima [6] a observé que cette métrique de Fisher était un cas particulier de métriques dites *hessiennes* dont les structures ont été étudiées par le mathématicien J-L.Koszul [5]. Cette généralisation s'est ensuite étendue dans des domaines tels que l'inférence statistique, la physique quantique, les statistiques financières, l'intelligence artificielle ou encore l'imagerie médicale. Mais c'est S.Amari et H.Nagaoka [1] qui, avec la notion de dualité sur les variétés statistiques, ont abouti à la formulation moderne du cadre de la GI. Ces auteurs ont notamment introduit la notion de *variétés de systèmes*, plus particulièrement aux signaux identifiés par des modèles autoregressifs (AR). Par la suite, de nombreux travaux ont appliqué la GI à des modèles-signaux à phase minimale tels que MA, ARMA ou AFIRMA [3]. Une étude bibliographique montre que la GI appliquée aux modèles-systèmes et à phase maximale tels que ARX (AutoRegressive with eXternal input) ou OE (Output Error) est inexistante. Nous proposons dans cet article de présenter les grands axes de cette recherche. Le reste du papier se déclinera comme suit. La section 2 donnera les fondamentaux de cette nouvelle approche. Les résultats expérimentaux seront présentés en bref dans la section 3. Conclusions et perspectives termineront ce papier.

2 Géométrie de l'Information appliquée aux modèles-systèmes

2.1 Modèles-systèmes

Considérons qu'un système linéaire discret à temps invariant $\mathcal{M}_S^{LTI}$ avec entrée externe $u(t)$ et perturbation additive $e(t)$ ($\mathbb{E}e(t) = 0, \mathbb{E}e^2(t) = \lambda$) peut être décrit par un modèle-système à vecteur paramètre invariant $\boldsymbol{\theta}$ par

$$s(t) = G(q,\boldsymbol{\theta})u(t) + H(q,\boldsymbol{\theta})e(t) \tag{1}$$

où q est l'opérateur retard tel que $q^{-1}u(t) = u(t-1)$. Par la transformation en z où $z = e^{i\omega T_s}$ (T_s période d'échantillonnage), les fonctions de transfert G (modèle-processus) et H (modèle-bruit) deviennent des fonctions de transfert discrètes $G(z,\boldsymbol{\theta})$ et $H(z,\boldsymbol{\theta})$, respectivement. Chacune de ces fonctions de transfert ont des zéros et des pôles réels ou/et complexes contenus dans les vecteurs $\boldsymbol{Z}$ et $\bar{\boldsymbol{Z}}$ (conjugué de $\boldsymbol{Z}$). Si tous les zéros sont dans le cercle unité, les filtres G et H sont dits à *phase minimale* (mP). Dans le cas où quelques zéros sont à l'extérieur du cercle (zéros exogènes), alors les filtres G et H sont dits à *phase maximale* (MP). Ce dernier cas de figure se rencontre fréquemment en acoustique, robotique, mécanique ou contrôle automatique. Soit $\overset{GI}{\rightarrow}$ la GI-transformation d'une fonction de transfert à phase maximale telle que $G(z,\boldsymbol{\theta}) \overset{GI}{\rightarrow} G(z,\boldsymbol{Z},\bar{\boldsymbol{Z}})$ et $H(z,\boldsymbol{\theta}) \overset{GI}{\rightarrow} H(z,\boldsymbol{Z},\bar{\boldsymbol{Z}})$. Tout filtre mP est dit être un *filtre à avance de phase* et tout filtre MP un *filtre à retard de phase*. Dans le cas de modèles-systèmes ARX ou OE, seule G contient des zéros et peut donc contenir des zéros exogènes. Le but étant de garder les propriétés mP, il existe une transformation qui fait passer d'un filtre MP en un filtre mP. Elle est donnée par $G_{\mathbb{V}_o,b}(z,\boldsymbol{Z}) = z^{-n}\bar{G}_{\mathbb{V}_o,f}(\frac{1}{z},\boldsymbol{Z})$. Ici $\mathbb{V}_o$ et $\mathbb{W}_{ip}$ sont deux compacts tels que $\mathbb{V}_o = \{Z^\mu/|Z^\mu| > 1, \mu = 1_o, 2_o, ..., n_o\}$ et $\mathbb{W}_{ip} = \{Z^\nu/|Z^\nu| < 1, \nu = 1_i, 2_i, ..., m_i, 1_p, 2_p, ..., s_p\}$. L'indice "$o$" signifie tous les zéros exogènes, "i" tous les autres et "p" les pôles. On montre que $G_{\mathbb{V}_o,f}(z,\boldsymbol{Z}) = |b_1|z^{1-n}\prod_{\mu=1}^{n}\left(1-\bar{Z}^{\mu_o}z\right)$ et devient donc $G_{\mathbb{V}_o,f}(z,\bar{\boldsymbol{Z}})$. Ainsi G s'écrit $G(z,\boldsymbol{Z},\bar{\boldsymbol{Z}}) = G_{\mathbb{V}_o,b}(z,\bar{\boldsymbol{Z}})G_{\mathbb{W}_{ip},f}(z,\boldsymbol{Z})$, c'est à dire une fonction de $\boldsymbol{Z}$ et $\bar{\boldsymbol{Z}}$, coordonnées holomorphiques et antiholomorphiques, respectivement.

2.2 Géométrie de l'information Finslerienne $\mathbb{R}$-complexe

Dans la littérature, la GI relative aux modèles-systèmes mP est une GI Kählerienne où sur des variétés dites *Kählériennes* est définie une métrique $ds^2 = \sum_{\mu\nu} a_{\mu\bar{\nu}}(\boldsymbol{Z},\overline{\boldsymbol{Z}})dZ^\mu d\bar{Z}^\nu$, représentant une distance infinitésimale entre Z^μ et $Z^\mu + dZ^\mu$, et $a_{\mu\bar{\nu}}$ le tenseur métrique Hermitien associé. Nous montrons que lorsque les modèles-systèmes sont MP, la GI n'est plus Kählerienne mais Finslerienne à trois tenseurs métriques. L'objectif est donc de bâtir une GI dans des espaces Finsleriens $\mathbb{R}$-complexe, notés $\mathbb{R}^{\mathbb{C}(\mathcal{F})} = \mathcal{H}_\delta \oplus \overline{\mathcal{H}}$ où $\mathcal{H}_\delta$ sont des espaces Hermitiens avec ($\delta = \pm 1$) et $\overline{\mathcal{H}}$ un espace non-Hermitien. Dans ces espaces Finsleriens on définit une métrique F, $\mathbb{R}$-homogène, telle que $L = F^2$. Ces trois nouveaux tenseurs métriques sont issus d'une seule relation, à savoir

$$h_{\mu\nu} = \frac{1}{8i\pi}\oint_{\mathbb{D}}\left(\Psi_\mu^P\Psi_\nu^P + \Psi_\mu^P\Psi_\nu^N + \Psi_\mu^N\Psi_\nu^P + \Psi_\mu^N\Psi_\nu^N\right)\frac{dz}{z} \tag{2}$$

où $\mathbb{D}$ est le cercle unité et Ψ_μ^X la Ψ-fonction, relation fondamentale faisant le lien entre le modèle-système (resp signal) et la GI-$\mathbb{R}^{\mathbb{C}(\mathcal{F})}$. Cette fonction est définie par

$\Psi_\mu^X = \partial_\mu ln\Phi_j^X$ où Φ_j^X est la *densité spectrale de puissance conjointe* (j-psd) et $\partial_\mu = \frac{\partial}{\partial Z^\mu}$. D'une façon générale, on peut toujours mettre la *psd* d'un signal $s(t)$ sous la forme $\Phi^X = \alpha_X\left(\frac{\Phi^A}{2} + \frac{\Phi^B}{2}\right)$. L'extension de la GI vers des modèles-systèmes nous oblige à définir une nouvelle écriture de la Ψ-fonction via la j-psd. Cette dernière est donnée par $\Phi_j^X = \sqrt{\Phi^A\Phi^B}$. En effet, pour un modèle-signal ($G \equiv 0, A = N, B = N, \alpha_X = 1$), $\Phi^{sig} = \Phi^N$ et $\Phi_j^{sig} = \sqrt{\Phi^N\Phi^N} = \Phi^N$. Il n'y a donc, dans ce cas là, aucune distinction entre la psd classique et la j-psd. Au contraire, pour un modèle-système ($A = P, B = N, \alpha_X = 2$), $\Phi^{sys} = \Phi^P + \Phi^N$ et $\Phi_j^{sys} = \sqrt{\Phi^P\Phi^N}$. Une distinction s'opère donc entre les deux, menant à deux relations de la Ψ-fonction, à la fois pour le modèle de processus (P) et le pour le modèle de bruit (N), données par $\Psi_\mu^P = \partial_\mu lnG + \partial_{\bar\mu} lnG + \partial_\mu ln\bar G + \partial_{\bar\mu} ln\bar G$ et $\Psi_\mu^N = \partial_\mu lnH + \partial_{\bar\mu} lnH + \partial_\mu ln\bar H + \partial_{\bar\mu} ln\bar H$. Par (2) nous obtenons deux tenseurs métriques dans $\mathcal{H}_\delta$ et un tenseur dans $\overline{\mathcal{H}}$ donnés par

$$c_{\mu\bar\nu}^{(\delta)}(\mathbf{Z}, \overline{\mathbf{Z}}) = \frac{\alpha_{\mu\bar\nu}^{(\delta)}(\mathcal{S}_\mathcal{M})}{1 - (Z^\mu \bar Z^\nu)^\delta},\ |Z^t| < 1,\ \delta = \pm 1 \qquad (3)$$

$$\bar a_{\mu\nu}(\mathbf{Z}, \overline{\mathbf{Z}}) = \frac{\beta_{\mu\nu}(\mathcal{S}_\mathcal{M})}{Z^\mu(Z^\mu - Z^\nu)},\ |Z^\mu| > 1, |Z^\nu| < 1 \qquad (4)$$

où $\mathcal{S}_\mathcal{M}$ est une structure de modèle-système.

3 Résultats expérimentaux

La GI Finslerienne $\mathbb{R}$-complexe a été appliquée sur un guide d'onde acoustique semi-fini (voir Fig.1) dont l'identification a été réalisée dans le but d'un contrôle actif de bruit se propageant dans le conduit. Pour plus de détails voir [4]. Le modèle optimal présentant une bonne réponse en basses fréquences était une structure OE ($G = B/F$) de vecteurs paramètres $\boldsymbol{\theta} = (\boldsymbol{\theta}_B \boldsymbol{\theta}_F)^T$ où $\boldsymbol{\theta}_B = (-0.0927, -0.1415, 0.1829, 0.1553, 0.0447, 0.0412, -0.1857)$ et $\boldsymbol{\theta_F} = (-0.0699, -0.7319, 0.0578, 0.0387, -0.0021, 0.3249, -0.2332)$. L'analyse des zéros/pôles a montré trois zéros réels exogènes, deux zéros complexes endogènes et quatre pôles complexes avec leurs conjugués respectifs. Un tel système présente donc des propriétés MP avec $\mathbb{V}_o = \{Z^{1_o} = -2.06, Z^{2_o} = -1.18, Z^{3_o} = 1.08\}$, $\mathbb{W}_{ip} = \{Z^{1_i} = -0.16 + i0.87, Z^{2_i} = 0.96, Z^{1_p} = -0.9 + i0.34, Z^{2_p} = -0.09 + i0.75, Z^{3_p} = 0.65 + i0.36, Z^{4_p} = 0.76\}$. Donnons seulement la matrice du tenseur métrique $C_{-1} = (c_{\mu_o\bar\nu_o}^{(-1)})$ par

$$C_{-1} = \begin{pmatrix} 0,0765 & 0,1741 & -0,0772 \\ 0,1741 & 0,6416 & -0,1098 \\ -0,0772 & -0,1098 & 1,4617 \end{pmatrix} \qquad (5)$$

D'une façon générale, ces trois tenseurs métriques seront fondamentaux pour calculer les α-connexions d'Amari et Nagaoka ainsi que les différents tenseurs de courbure afin de caractériser au mieux la GI $\mathbb{R}$-complexe Finslerienne.

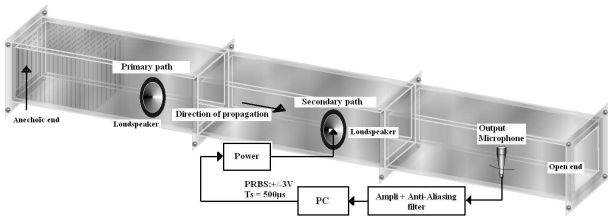


FIGURE 1: Dispositif expérimental pour l'identification du guide d'onde.

4 Conclusions et perspectives

Dans ce papier, a été définie une nouvelle Géométrie de l'Information basée $\mathbb{R}$-complexe Finslerienne, liée à des modèles-systèmes présentant des caractéristiques à phase maximale. Une application sur un système réel avec de telles propriétés a été présentée. Dans le futur, nos investigations se porteront sur l'analyse des quantités fondamentales de la GI, telles que les connexions et les différentes courbures à partir d'une métrique de Randers $F = \alpha + \beta$.

Références

[1] Amari, S. & Nagaoka, H, *Methods of information geometry*. Oxford University Press : Oxford, UK, 2000

[2] Chentsov N.N, *Statistical Decision Rules and Optimal Inferences*. Transactions of Mathematics Monograph, American Mathematical Society : Providence, RI, USA, Vol.**53**, 1982

[3] Choi, J. & and Mullhaupt, A.P, *Kahlerian information geometry for signal processing*. Entropy, Vol. **17**, 1581-1605, 2015

[4] Corbier, C. & Carmona J-C, *Mixed L_p Estimators Variety for Model Order Reduction in Control Oriented System Identification*. Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering, Article ID 349070, 1-18, 2014

[5] Koszul J.L, *Sur la forme hermitienne canonique des espaces homogènes complexes*. Can. J. Math., No7, 562–576, 1955

[6] Shima, H. & Yagi, K, *Geometry of hessian manifolds. Differential Geometry and its Applications*, Vol. **7**, 277-290, 1997

[7] Souriau, J.-M, *Mécanique statistique, groupes de Lie et cosmologie*. Colloques internationaux du CNRS numéro 237, Géométrie symplectique et physique mathématique, pp. 59–113, 1974

[8] Rao, C.R, *Information and accuracy attainable in the estimation of statistical parameters*. Bull Calcutta Math, Vol. **37**, 81-89, 1945

Estimation de l'attitude d'un véhicule à partir d'un système de fusion multi-capteurs basé sur le filtrage particulaire

H. Al-Assaad[1], C. Boucher[1], A. Daher[2], A. Shahin[2] et J.C. Noyer[1]

al-assaad@etu.univ-littoral.fr {boucher,jcnoyer}@univ-littoral.fr {alidaher,ashahin}@ul.edu.lb

[1] IUT/Université du Littoral Côte d'Opale
Laboratoire d'Informatique, Signal et Image de la Côte d'Opale
50 rue Ferdinand Buisson, BP 719, 62228 Calais Cedex, France

[2] Université Libanaise, Ecole Doctorale en Sciences et Technologies
Laboratoire d'Informatique et ses Applications
rue Mitein, Tripoli, Liban

Thèmes – *Informatique industrielle - Traitement du signal*

Résumé – *L'objectif de ce travail est d'estimer la localisation et l'attitude d'un véhicule terrestre en fusionnant les données GPS, OSM et DEM via un filtre non linéaire. Nous nous concentrons sur les angles de lacet et tangage du véhicule sachant que ces paramètres sont essentiels à l'optimisation de la planification de l'itinéraire et la gestion de l'énergie pour un véhicule électrique. Cet article examine les performances du filtrage particulaire et des algorithmes probabilistes d'appariement cartographique pour suivre un véhicule à l'aide de cartes routières numériques afin d'améliorer sa localisation au sol. En outre, le filtre fusionne les données DEM via une méthode TIN afin de limiter les erreurs d'altitude causées par le GPS. La méthode proposée est évaluée à partir d'un scénario de réseau de transport urbain et les résultats expérimentaux montrent que l'estimateur proposé peut délivrer avec précision la position et l'attitude du véhicule.*

Mots-clés – *Transports intelligents, navigation GPS, cartes routières et modèles numériques d'élévation, filtrage particulaire.*

1 Introduction

Ce travail traite de l'estimation des paramètres de navigation, particulièrement importants pour l'optimisation d'itinéraires et la gestion de l'énergie des véhicules hybrides ou électriques. Nous focalisons sur l'estimation des angles de lacet et tangage [1] à partir des positions 3D GPS, d'une base de données cartographiques routières OpenStreetMap (OSM) [2] et du modèle numérique d'élévation (MNE ou DEM en anglais) global ASTER V2.

Cet article présente une nouvelle approche de fusion, basée sur le filtrage particulaire [3], des données GPS, OSM et ASTER V2 afin de fournir une estimation de la localisation et de l'attitude du véhicule. Une étape de mise en correspondance cartographique, reposant sur le calcul de la distance de Mahalanobis, est nécessaire avant d'appliquer une méthode de triangulation (TIN) pour les corrections d'altitude à l'aide des données du MNE ASTER.

2 Modélisation du problème

La modélisation de la dynamique du véhicule est décrite par un vecteur d'état composé de la position, la vitesse v et l'accélération γ selon x, y et z :

$$X_k = (x_k,\ v_k^x,\ \gamma_k^x,\ y_k,\ v_k^y,\ \gamma_k^y,\ z_k,\ v_k^z,\ \gamma_k^z)^T \tag{1}$$

2.1 Mesures du positionnement GPS

Le positionnement se fait par un récepteur GNSS-EGNOS. L'antenne est fixée sur le toit du véhicule. La mesure de position 3D du véhicule est notée $\mathcal{Z}_{k+1}^{\text{GPS}}$.

2.2 Mesures du réseau routier numérique OSM

La prochaine étape consiste à projeter l'estimation basée sur le GPS sur le réseau routier (décrit par des nœuds de transition) afin d'accroître la précision de la localisation 2D. Ces nœuds sont composés de trois attributs : l'emplacement au sol $(x_{k+1}^{\text{OSM}}, y_{k+1}^{\text{OSM}})$ et la direction au sol $\theta_{k+1}^{\text{OSM}}$. La mesure est définie comme suit :

$$\mathcal{Z}_{k+1}^{\text{OSM}} = \begin{pmatrix} x_{k+1}^{\text{OSM}} \\ y_{k+1}^{\text{OSM}} \\ \theta_{k+1}^{\text{OSM}} \end{pmatrix} = h^{\text{OSM}}(X_{k+1}) + \mathcal{V}_{k+1}^{\text{OSM}} \tag{2}$$

$$\text{où } h^{\text{OSM}}(X_{k+1}) = \begin{pmatrix} x_{k+1} & y_{k+1} & \arctan\left(\frac{v_{k+1}^y}{v_{k+1}^x}\right) \end{pmatrix}^T \tag{3}$$

$\mathcal{V}_{k+1}^{\text{OSM}}$ est un bruit blanc gaussien de moyenne nulle et de matrice de covariance de bruit R_{k+1}^{OSM} afin que les aspects statistiques liés aux inhomogénéités et erreurs des relevés topographiques puissent être intégrés.

2.3 Mesures du modèle numérique d'élévation ASTER V2

La dernière étape consiste à identifier l'altitude de la route. La résolution horizontale des données MNE est de 1 seconde d'arc (30 m). Elles indiquent la localisation au sol du point d'élévation MSL comme $(x_{k+1}^{\text{DEM}}, y_{k+1}^{\text{DEM}}, z_{k+1}^{\text{DEM}})$.

$$\mathcal{Z}_{k+1}^{\text{DEM}} = \begin{pmatrix} x_{k+1}^{\text{DEM}} \\ y_{k+1}^{\text{DEM}} \\ z_{k+1}^{\text{DEM}} \end{pmatrix} = h^{\text{DEM}}(X_{k+1}) + \mathcal{V}_{k+1}^{\text{DEM}} \tag{4}$$

où $\mathcal{V}_{k+1}^{\text{DEM}}$ est un bruit blanc gaussien de moyenne nulle et de covariance R_{k+1}^{DEM} qui définit les erreurs relatives aux mesures de position horizontale et d'altitude verticale.

$$h^{\text{DEM}}(X_{k+1}) = \begin{pmatrix} x_{k+1} & y_{k+1} & z_{k+1} - \frac{H}{cos(\alpha_{k+1})} \end{pmatrix}^T \tag{5}$$

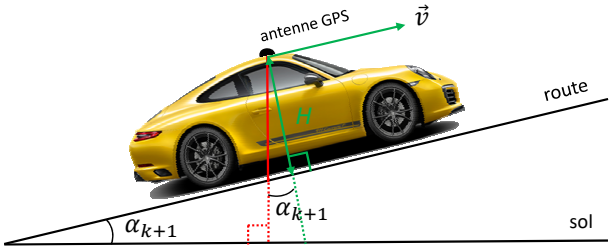


FIGURE 1 – Attitude du véhicule (angle de tangage)

H est la hauteur entre la route et l'antenne GPS. α_{k+1} est l'angle entre le sol et la route.

$$\alpha_{k+1} = \arctan\left(\frac{v_{k+1}^z}{\sqrt{(v_{k+1}^x)^2 + (v_{k+1}^y)^2}}\right) \tag{6}$$

3 Estimation de l'attitude du véhicule

Nous avons introduit précédemment une modélisation particulière du problème de localisation sur carte (routière et DEM) qui repose sur l'intégration des statistiques d'erreur liées à ce type de données. Pour la résolution de ce problème d'estimation, nous nous appuyons sur une adaptation des méthodes de filtrage particulaire, détaillée à la Fig. 2. Les détails relatifs à la construction théorique de l'estimateur proposé peuvent être trouvés dans [4].

4 Estimation des angles de tangage et lacet

En utilisant le vecteur d'estimation à chaque instant, nous pouvons calculer l'angle de tangage α_{k+1} :

$$\alpha_{k+1} = \sum_{i=1}^{N} w_{k+1}^i \arctan\left(\frac{v_{k+1}^{z,i}}{\sqrt{(v_{k+1}^{x,i})^2 + (v_{k+1}^{y,i})^2}}\right) \tag{7}$$

et l'angle de lacet β_{k+1} :

$$\beta_{k+1} = \sum_{i=1}^{N} w_{k+1}^i \arctan\left(\frac{v_{k+1}^{y,i}}{v_{k+1}^{x,i}}\right) \tag{8}$$

Ces angles peuvent être exploités pour la navigation des véhicules électriques afin d'améliorer la planification d'itinéraire en intégrant la topographie de la route.

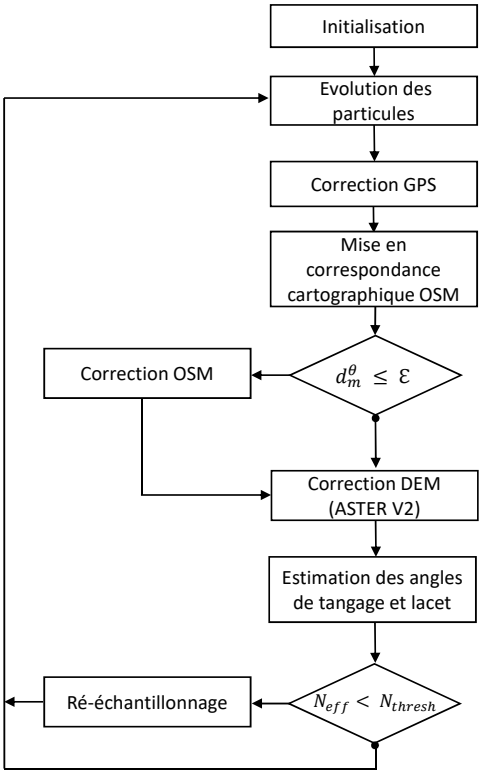


FIGURE 2 – Algorithme de fusion

5 Résultats expérimentaux

Nous utilisons un récepteur GPS u-blox EVK-6T délivrant un positionnement au Hz ($H = 1,55$m). L'expérimentation se situe en zone péri-urbaine de Calais. Fig. 3 montre le réseau routier OSM utilisé.

Fig. 4 montre l'estimation de l'angle de tangage, son erreur circulaire sin(erreur) dont l'écart type atteint $0,02$rad. Fig. 5 montre l'estimation de l'angle de lacet dont l'écart type atteint $0,13$rad. Ces résultats expérimentaux montrent qu'une estimation précise des angles de tangage et lacet peut être obtenue sans l'aide de capteurs externes.

FIGURE 3 – Réseau routier OSM

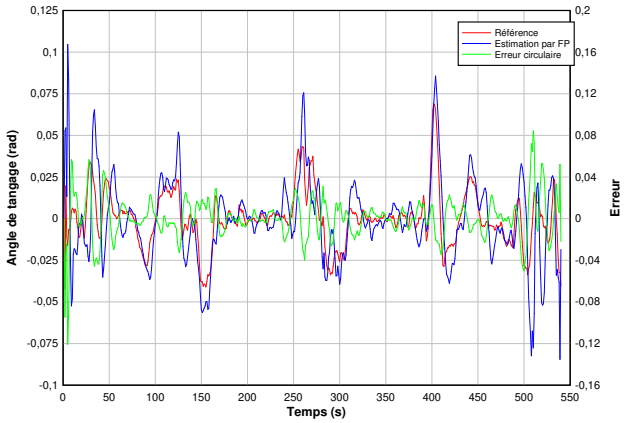


FIGURE 4 – Estimation de l'angle de tangage

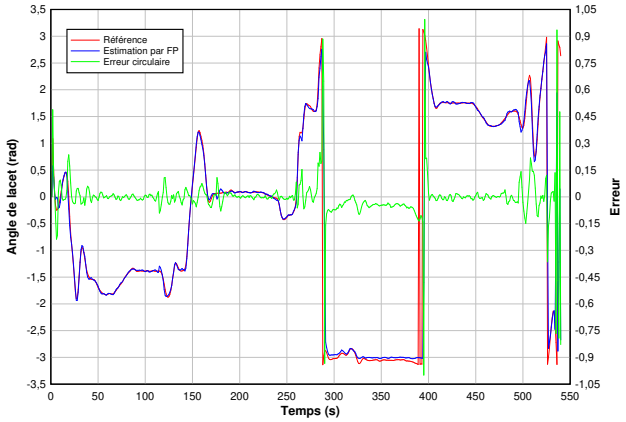


FIGURE 5 – Estimation de l'angle de lacet

6 Conclusion

Cet article présente une méthode générale d'estimation de la localisation et l'attitude (tangage, lacet) d'un véhicule basée sur la fusion de positionnements GPS, d'un réseau routier OSM et d'un MNE ASTER. On exploite un filtre particulaire qui fusionne les données cartographiques modélisées comme des « capteurs »à part entière. Ce cadre théorique peut être utilisé pour exploiter d'autres sources de données comme les mesures inertielles afin d'obtenir une estimation complète de l'attitude du véhicule.

Références

[1] A. Albinsson, F. Bruzelius, P. Pettersson, M. Jonasson, and B. Jacobson. Estimation of the inertial parameters of vehicles with electric propulsion. *Journ. of Automobile Engineering*, 230(9) :1155–1172, 2016.

[2] J. Bennet. *OpenStreetMap*. Packt Publishing Limited, 2010.

[3] M.S. Arulampalam, S. Maskell, N. Gordon, and T. Clapp. A tutorial on particle filters for online nonlinear non-Gaussian Bayesian tracking. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 50(2) :174–188, Feb 2002.

[4] H. Al-Assaad, C. Boucher, J. Noyer, A. Daher, and A. Shahin. Fusion of GPS/OSM/DEM data by particle filtering for vehicle attitude estimation. In *2018 21st International Conference on Information Fusion*, pages 384–390, July 2018.

Reconnaissance des émotions par l'informatique affective

Reda Belaiche Cyrille Migniot Dominique Ginhac Fan Yang
reda.belaiche@u-bourgogne.fr

IUT Dijon-Auxerre, Laboratoire ImViA, Université de Bourgogne

Thèmes – *Informatique - Robotique - Imagerie – Électronique, Section CNU 61*

Résumé – *L'analyse des expressions faciales montre une grande efficacité dans le processus de reconnaissance de l'état affectif. L'étude des macro- et micro-expressions permet de fournir un panel exhaustif de variations de mouvement au sein du visage. Si la classification des macro-expressions fait l'objet de recherches scientifiques depuis une dizaine d'années, l'étude sur les micro-expressions est très récente et de nombreuses questions restent ouvertes. Bien que les mouvements involontaires liés aux micro-expressions soient très rapides et généralement non perceptibles pour l'œil humain, ils apportent de précieux renseignements sur l'état émotionnel d'une personne. Dans ce papier, nous proposons une méthode unifiée de classification de macro- et micro-expressions en se focalisant sur le filtrage temporel des mouvements faciaux. Les expériences réalisées avec une base de données publique établie par l'Institut de Psychologie de l'Académie des Sciences de Chine montrent des meilleures performances que l'état de l'art tout en consommant moins de ressources calculatoires.*

Mots-Clés – *Informatique affective, état émotionnel, intelligence artificielle, vision par ordinateur, apprentissage automatique.*

1 Introduction

L'informatique affective consiste à établir des systèmes ayant les capacités de reconnaître, de synthétiser et de modéliser les émotions humaines. Il s'agit d'un domaine de recherche interdisciplinaire dont l'objectif est d'étudier l'interaction entre la technologie et les sentiments humains. L'informatique affective pourrait offrir une assistance personnalisée aux personnes souhaitant améliorer leur compétence et leurs confiances en elles : par exemple, concevoir des logiciels de tutorat qui "savent" comment se sent l'étudiant et ajustent les exercices à réaliser en conséquence, ou encore créer des programmes qui aident les personnes à surmonter la stigmatisation liée aux troubles mentaux. Pour cela, il sera nécessaire de proposer de nouveaux algorithmes permettant aux machines de reconnaître les émotions humaines. Il existe trois modes d'expression des émotions chez l'homme : la voix, le geste corporel et l'expression faciale. Mais seul le dernier est considéré comme universel, indépendante de la culture et de l'interprétation [1].

Les macro-expressions définies par des mouvements volontaires, sont caractérisées par des mouvements de forte intensité d'une durée comprise entre 0,5s et 4s. Quant aux micro-expressions, elles sont souvent spontanées (très difficile à imiter, dissimuler ou feindre) et durent une fraction de seconde, en moyenne entre 40 ms et 250 ms [2]. Du fait qu'une micro-expression se produit en un temps très court avec une faible intensité, sa détection est quasiment impossible pour la très grande majorité des gens. Par contre, avec les nouvelles avancées technologiques, l'intelligence artificielle par la vision peut apporter un soutien significatif dans ce domaine.

Dans cet article, nous proposons de reconnaître l'état émotionnel humain par la classification automatique de macro- et micro-expressions à travers l'analyse des séquences vidéo. Nous tracerons d'abord brièvement un état de l'art, puis la base de données utilisée sera décrite en Section 3. La méthodologie adoptée et les résultats expérimentaux seront respectivement présentés en Sections 4 et 5.

2 État de l'art

L'existence de micro-expressions a d'abord été découverte par Haggard et Isaacs en 1966 [3] puis Ekman et Friesen [2] les ont nommées en 1969. Pour identifier les micro- et macro-expressions, le même système de codage d'actions faciales (FACS) [4] est souvent utilisé. Il a été créé pour analyser la relation entre la déformation du muscle facial et l'expression émotionnelle. Les unités d'action (AUs) sont les composantes faciales du FACS, qui représentent le mouvement musculaire local. L'étiquette de l'AU sur le visage permet d'identifier la ou les régions où l'expression se manifeste. En conséquence, le système FACS peut aider à annoter l'apparence et la dynamique d'une expression dans une vidéo.

La recherche sur les expressions faciales se focalise sur deux axes : la détection temporelle depuis une séquence vidéo (spotting) et la reconnaissance automatique. Si les

résultats de détection sont relativement satisfaisants (taux de réussite entre 70% et 90%) [5], la reconnaissance automatique présente toujours un défi. L'idée essentielle de la plupart des méthodes actuelles consiste à calculer la variation entre les caractéristiques faciales causées par les mouvements musculaires. Ces caractéristiques sont extraites de vidéos par divers opérateurs : flux optique d'orientation [6], projection intégrale [7] et espace réduit des couleurs [8], *etc*. Mais l'extracteur le plus utilisé reste incontestablement le LBP-TOP *(Local Binary Pattern Three Orthogonal Planes)* [9].

Nous proposons une approche unifiée de classification des macro- et micro-expressions en se focalisant sur l'analyse de la diversité des mouvements faciaux. Pour ce faire, un filtrage temporel sera appliqué en amont pour obtenir un modèle cohérent du mouvement adapté aux deux types d'expressions. Notre objectif final est d'implémenter la reconnaissance des émotions en temps réel sur des systèmes embarqués avec une complexité calculatoire réduite.

3 Description de la base de données

La base de données utilisée pour tester notre méthode est CASME^2 [9]. Pour construire cette base de données, 22 participants volontaires ont été recrutés. Durant la phase d'acquisition, chaque sujet devait regarder les différents vidéos d'excitation censées provoquer 3 émotions : la joie, le dégoût et la colère. Une caméra placée en face de la personne a capturé et enregistré les séquences avec une vitesse d'acquisition de 30 frames par seconde. Ensuite ces vidéos ont été analysées manuellement par des psychologues experts. Chaque expression possède 5 annotations : la durée (onset, apex et offset : voir Figure 1), l'AUs, la classes (positive, négative, surprise ou autre), le type (macro ou micro) et le ressenti auto-rapporté.

CASME^2 contient au total 283 macro-expressions et 54 micro-expressions définies en fonction de leur durée : 0,5-4 s pour les macros et inférieure à 0,5s pour les micros.

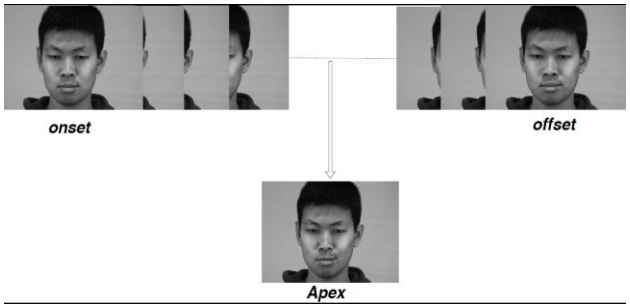


Figure 1 – Un exemple de micro-expression.

4 Présentation de la méthodologie

Notre méthode consiste en une chaîne de reconnaissance classique. Le prétraitement est suivi par l'extraction des caractéristiques. Ensuite, le résultat de classification permet de prendre une décision sur la classe des émotions.

Pour unifier le traitement de deux types d'expressions faciales, nous appliquons d'abord un filtrage temporel en fonction de leur nature. Il s'agit d'une interpolation linaire pour des micro-expressions et d'un sous-échantillonnage linaire pour des macro-expressions. L'objectif est d'avoir le même nombre de frames pour les modules d'opérations suivants.

Basé sur l'état de l'art, l'opérateur LBP_TOP est utilisé pour extraire les caractéristiques des expressions faciales. Le LBP 2D est initialement introduit pour décrire les textures locales d'image en comparant le niveau de gris d'un pixel par rapport à celui de ses voisins. Habituellement, une image est d'abord divisée en petits blocs, puis on calcule l'histogramme du LBP pour chaque bloc avant de les concaténer dans un grand vecteur de caractéristiques. Pour décrire une vidéo spatio-temporelle 3D, un LBP avec 3 plans (XY, XT et YT) est nécessaire (voir Figure 2).

La dernière étape du traitement consiste à utiliser un simple SVM (*Support Vector Machine*) avec des paramètres d'hyper-optimisation. Ce classifieur fournit la catégorie de l'émotion en fonction des caractéristiques extraites à l'aide du LBP-TOP.

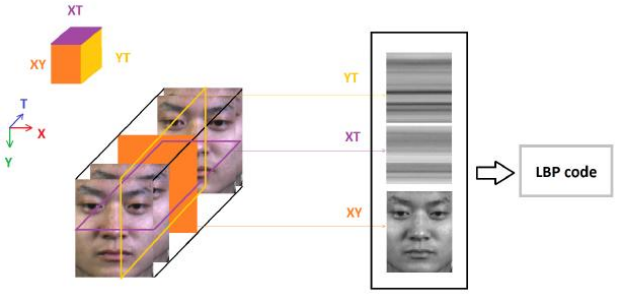


Figure 2 – Illustration de la représentation spatiale et temporelle d'une vidéo.

5 Résultats expérimentaux

Nous avons expérimenté plusieurs configurations de la méthode proposée en utilisant le protocole de test LOSO (*Leave One Subject Out*). Il s'agit de classer toutes les expressions d'un sujet avec le modèle entraîné par toutes les données des 21 autres sujets. Ceci correspond mieux aux conditions réelles où un nouveau sujet ne fait pas parti de l'apprentissage du système.

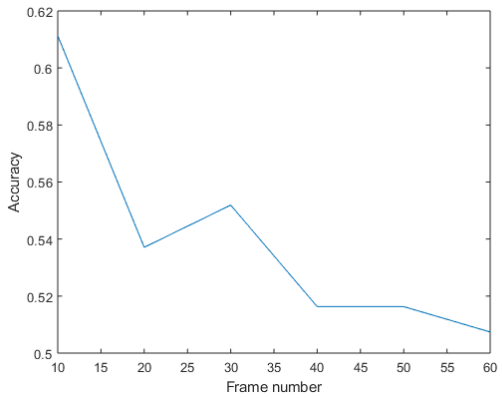


Figure 3 – Performance (pourcentage de précision) de la classification en fonction du nombre de frames unifié.

La Figure 3 présente le taux moyen de classification correcte en fonction du nombre de frames unifié (*Nb_frame*). La meilleure performance est de 61.13% pour 4 classes lorsque *Nb_frame* est égale à 10. Il est à noter que mêmes pour des experts bien entraînés, le taux de reconnaissance des micro-expressions est inférieur à 50%.

Nous pouvons observer que *Nb_frame* affecte beaucoup la performance de la classification : plus le nombre de frames utilisées est important, moins le taux de réussite est élevé. En fait, avec une vitesse d'acquisition de 30 frames par seconde, toutes les macro-expressions ont subi un sous-échantillonnage temporel quand *Nb_frame* est inférieur ou égale à 15. On amplifie implicitement le mouvement musculaire temporel des expressions provoquant probablement une distinction plus grande entre les différentes classes. Quant aux micro-expressions, vu leur courte durée, avec une petite valeur *Nb_frame*, toutes les informations sur les mouvements musculaires d'origine ont été préservées avec une petite valeur de *Nb_frame*.

Un petit nombre de frames unifié implique aussi une réduction importante du temps de traitement. Par exemple, seulement 0.23 secondes sont nécessaires lorsque *Nb_frame* vaut 10 contre 8.36 secondes lorsque *Nb_frame* vaut 60. Ces mesures ont été obtenues sur un Intel(R) Core (TM) i5-8500 CPU @ 3.00GHz avec Matlab 2018a.

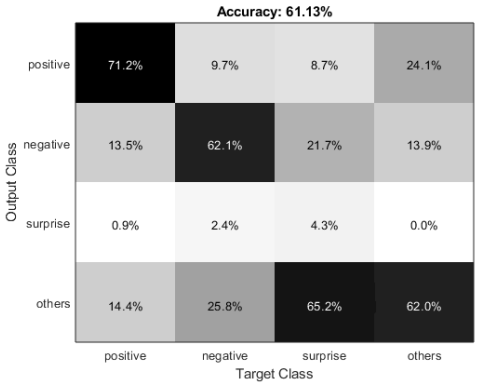


Figure 4 – Matrice de confusion relative à la classification (prédiction) pour *Nb_frame* =10.

La Figure 4 représente la matrice de confusion de classification pour les quatre classes lorsque *Nb_frame* vaut 10. Nous pouvons remarquer que par rapport aux classes « *Positive* », « *Négative* » et « *Autre* », la « *Surprise* » n'est pas bien reconnue par le système. Ceci est probablement dû au très faible nombre d'expressions de cette classe présentes dans la base de données CASME^2 : 32,55% de *Positive*, 36,66% de *Négative*, 24,05% de *Autre* et seulement 6,74% de *Surprise*.

6 Conclusions

Dans cet article, nous proposons un modèle unifié pour classifier automatiquement les macro- et les micro-expressions faciales. La nouvelle approche a été testée avec la base de données publique CASME^2.

Les résultats expérimentaux montrent de meilleures performances de reconnaissance d'émotions par rapport à l'état de l'art (61,13% contre 40,95% [9]). Ceci valide l'efficacité du filtrage temporel en amont de la chaîne de traitement.

De plus, les meilleures performances ont été obtenues avec des petits nombres de frames unifiés qui permet d'accélérer le processus. Par exemple, nous avons un gain de vitesse en x36 de *Nb_frame* = 10 par rapport à *Nb_frame* = 60.

Pour de futur travail, nous pensons d'abord à tester notre approche avec d'autres bases de données publiques. Nous allons aussi optimiser la chaîne de traitement pour extraire son parallélisme intrinsèque. Du fait que le LBP_TOP est une opération locale, il serait possible d'utiliser un GPU pour atteindre le traitement en temps réel avec le mode SIMD (Single Instruction Multiple Data).

Références

[1] R.L. Birdwhistell, *Communication without words*, Ekistics, 1968.
[2] P. Ekman, W.V. Friesen, *Nonverbal leakage and clues to deception*, Psychiatry, vol. 32(1), 1969.
[3] E.A. Haggard, K.S. Isaacs, *Micromomentary facial expressions as indicators of ego mechanisms in psychotherapy*, in Methods of research in psychotherapy, Springer, 1966.
[4] P. Ekman et al., *Facial Action Coding System: The Manual*, Research Nexus of Network Information Research Corporation, 2002.
[5] Y. Han, B. Li, Y. K. Lai, and Y. J. Liu, *Cfd: A collaborative feature difference method for spontaneous micro-expression spotting*, 25th IEEE ICIP, 2018.
[6] S.T. Liong, J. See et al., *Less is more: Micro-expression recognition from video using apex frame*, Signal Processing: Image Communication. 62, 2018.
[7] X. Huang, S.J. Wang, et al., *Facial micro-expression recognition using spatiotemporal local binary pattern with integral projection*, in: ICCV Workshops, 2015.
[8] S. Wang, W. Yan, et al., *Micro-expression recognition using color spaces*, IEEE Trans. Image Process. 24 (12), 2015.
[9] F. Qu, S.J. Wang et al., "Cas(me)^2: A database for spontaneous macro-expression and micro-expression spotting and recognition," IEEE Trans. on Affective Computing, 17, 2017.

Synthèse d'observateurs fonctionels à temps de convergence finie.

Carlos Ríos-Ruiz[*,1,2], Gloria L. Osorio-Gordillo[2],
Harouna Souley-Ali[1], Carlos M. Astorga-Zaragoza[2] et Mohamed Darouach[1]
[*]crios@cenidet.edu.mx

[1]*Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN - UMR 7039),*
Nancy-Université - CNRS
IUT de Longwy, 186 rue de Lorraine,
54400 Cosnes et Romain, FRANCE.

[2] *Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico-CENIDET*
Tecnológico Nacional de México
Interior Internado Palmira S/N, Col. Palmira
Cuernavaca, Mexique

Thèmes – *Électronique*

Résumé – *Cet article présente un observateur fonctionnel pour des systèmes linéaires et un estimayeur de fautes en convergence en temps fini. La stabilité de l'observateur est presentée et sa performance est demontrée à partir de similations numeriques. L'originalité de cet observateur fonctionnel est sa capabilité de convergir en un temps donné et garantir la correcte estimation de la faute en une periode précise de temps.*

Mots-clés – *Commande, Observateurs, Systèmes linéaires.*

1 Introduction

Pendant les dernières anéees, l'importance de la diagnose de fautes et des systèmes tolerants à fautes a augmenté. Les systèmes complexes utilisés à la vie cotidienne demandent des caracteristiques de securité et fiabilité élevées, ainsi, la diagnose de fautes et les systèmes de comande tolérante à fautes ont une importance en augment.

La recherche d'une méthode fiable et rapide pour l'estimation des fautes a été un sujet d'importance sur le terrain. Une méthode permettant de fournir une estimation rapide d'une panne dans un système consiste à utiliser des observateurs avec une convergence en temps fini. Cela peut aider à assurer le diagnostic correct dans une période de temps. La convergence en temps fini a été utilisée pour la conception des contrôleurs, comme on peut le voir dans [1] et [2], où les auteurs conçoivent des contrôleurs en mode glissant et les lois de guidage pour un missile avec une approche de convergence en temps fini, respectivement. Le diagnostic des fautes a été étudié dans [3], où les auteurs conçoivent un observateur qui estime les fautes dans un système.

En temps continu, la convergence est asymptotique, cela implique que le taux de convergence est exponentiel et peut être déterminé en choisissant les valeurs propres de l'observateur. Cependant, en temps discret, le temps de convergence transitoire peut être défini dans un multiple d'échantillon donné en choisissant comme zéro les valeurs propres de l'observateur. La convergence en temps fini ne se limite pas aux techniques d'échantillonnage et de calcul en temps discret. La convergence en temps fini est donc un sujet d'étude intéressant [4]. Ceci est particulièrement important dans l'estimation des fautes, car un grand nombre de systèmes de comende pratiques nécessitent de temps de réponse courts. Concevoir un observateur capable d'atteindre la convergence correcte dans le cadre d'une contrainte de temps fini peut donc constituer un outil puissant pour la diagnose de fautes.

D'autre part, les observateurs fonctionnels sont utiles lorsqu'un ou plusieurs fonctions linéaires des états (plutôt que tous les états non mesurés) doivent être estimés (voir [5]). Cette fonctionnalité est particulièrement avantageuse dans le comande par retour d'état [6, 7] et peut être exploitée par d'autres applications de comande telles que la détection de fautes [8] ou le comande tolérante à fautes [9]. La conception d'un observateur fonctionnel peut également aider à réduire la puissance de calcul requise par un système de comande, notamment s'il n'est pas nécessaire d'estimer le vecteur d'état complet.

Dans cet article, un observateur de convergence temps fini fonctionnel en temps continu est proposé. L'apport principal consiste à profiter la capacité de l'observateur fonctionnel à estimer une fonction linéaire de l'état pour estimer l'état non mesurable et les fautes d'un système. Un contrôleurtolérant à fautes basé sur des observateurs fonctionnels est également proposé. Enfin, nous proposons un estimateur de fautes robuste.

D'autre part, les observateurs fonctionnels sont utiles lorsqu'un ou plusieurs fonctions linéaires des états (plutôt que tous les états non mesurés) doivent être estimés (voir [5]). Cette fonctionnalité est particulièrement avantageuse dans le comande par retour d'état [6, 7] et peut être exploitée par d'autres applications de comande telles que la détection de fautes [8] ou le comande tolérante à fautes [9]. La conception d'un observateur fonctionnel peut également aider à réduire la puissance de calcul requise par un système de comande, ntamment s'il n'est pas nécessaire d'estimer le vecteur d'état complet.el en temps continu est proposé. L'apport principal consiste à profiter la capacité de l'observateur fonctionnel à estimer une fonction linéaire de l'état pour estimer l'état non mesurable et les fautes d'un système. .

2 Enoncé du problème

Considérons une classe de systèmes sujets aux fautes de la forme :

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) + F_a f(t) \\ y(t) &= Cx(t) + F_s f(t) \end{aligned} \tag{1}$$

où $x(t) \in \mathbb{R}^n$ est l'état du système, $u(t) \in \mathbb{R}^m$ est le signal d'entrée, $y(t) \in \mathbb{R}^p$ est la sortie mesurée, et $f(t) \in \mathbb{R}^r$ est le vectuer de fautes, A, B, C, F_a and F_s sont des matrices constantes et connues.

Si nous prenons l'état augmenté $\bar{x}(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ f(t) \end{bmatrix}$, le système (1) peut être écrit comme :

$$\begin{aligned} \dot{\bar{x}}(t) &= \bar{A}\bar{x}(t) + \bar{B}u(t) + \bar{F}_r \dot{f}(t) \\ y(t) &= \bar{C}\bar{x}(t) \\ z(t) &= L\bar{x}(t) \end{aligned} \tag{2}$$

avec $\bar{A} = \begin{bmatrix} A & F_a \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$, $\bar{B} = \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix}$, $\bar{F}_r = \begin{bmatrix} 0 \\ I_r \end{bmatrix}$ and $\bar{C} = \begin{bmatrix} C & F_s \end{bmatrix}$. $z(t) \in \mathbb{R}^q$, $r \geq q \leq n + r$ est fonction de l'état que l'on veut estimer.

nous proposons les suivant deux observateurs fonctionnels (see [5])

$$\begin{aligned} \dot{w}_i(t) &= N_i w_i(t) + F_i y(t) + H_i u(t) \\ \hat{z}_i(t) &= P_i w_i(t) + Q_i y(t) \end{aligned} \tag{3}$$

où $w_i(t) \in \mathbb{R}^{q_0}$, $i = 1, 2$ est l'état de chaque observateur et $\hat{z}_i(t) \in \mathbb{R}^q$ l'estimation de $z(t)$. Les matrices N_i, F_i, H_i, P_i et Q_i sont constantes et doivent être obtenues pour chaque i.

3 Paramétrage

Le théorème suivant présente les conditions d'existence d'un observateur de la forme (3) pour un système de la forme (1)

Théorème 3.1 *Il existe un observateur de la forme* (3) *pour un système de la forme* (1) *si les matrices N_i sont stables et qu'il existe des matrices T_i telles que les conditions suivantes sont vérifiées :*

a. $N_iT_i + F_i\bar{C} - T_i\bar{A} = 0$

b. $H_i - T_i\bar{B} = 0$

c. $P_iT_i + Q_i\bar{C} - L = 0$

4 Synthèese des observateurs

4.1 Synthèese des observateurs fonctionnels

Nous pouvons utiliser n'importe quelle méthode de placement de pôles pour trouver la valeur des matrices N_i. Dans ce cas, nous devons assurer que les valeurs propres de N_i sont comprises dans deux régions de disque $\mathcal{D}_1(\alpha_1, \tau_1)$ et $\mathcal{D}_2(\alpha_2, \tau_2)$ ceci sera utilisé plus tard dans cet article.

Lemme 4.1 *Il existe deux observateurs de la forme* (**??**) *s'il existe deux matrices X_i telles que la LMI suivante soit satisfaite :*

$$\begin{bmatrix} X_i & X_iN_{i1} - W_iN_{i2} - \alpha_iX_i \\ * & -\tau_i^2X_i \end{bmatrix} < 0 \tag{4}$$

4.2 Etimateur de fautes en temps fini

S'il existe deux observateurs tels que leurs valeurs propres fassent tenir le lemme **??**, alors l'estimateur de fautes

$$\hat{f}(t) = \tilde{F}_r^T T_f \left[\bar{z}(t) - e^{Nh}\bar{z}(t-h)\right] \tag{5}$$

converge vers la faute réelle dans un temps fini h.

5 Example

Afin d'illustrer l'estimateur de fautes proposé, prenons l'exemple d'un système aéronautique [3] et comparons ses performances à celles obtenues pour l'observateur complet proposé dans [3]. Pour la première simulation, une faute du capteur est prise en compte et la seconde présente un système de contrôle tolérant à fautes basé sur des observateurs fonctionnels.

5.1 Estimation de faute en capteur

Dans cet exemple, nous illustrons la performances de l'observateur proposé.

Pour un système de la forme (1) avec

$$A = \begin{bmatrix} -9.95 & -0.75 & 0.26 & 5.03 \\ 52.17 & 2.75 & 5.55 & -24.42 \\ 26.09 & 2.64 & -4.2 & -19.28 \\ 0 & 0 & 1.0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0.44 & 0.18 \\ 3.24 & -7.59 \\ -5.52 & 4.49 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} F_a = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1.0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.0 \end{bmatrix} F_s = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

L'objectif principal est d'estimer la faute dans les capteurs, afin de l'atteindre, on choisit $L = I_{n+r}$ et pour les régions de disques $\mathcal{D}(\alpha_i, \tau_i)$ nous choisissons $\alpha_1 = -2$, $\tau_1 = 1$, $\alpha_2 = -5$ and $\tau_2 = 1$ le temps de convergence est fixé à $h = 0.5$.

Nous avons alors deux observateurs fonctionnels de la forme (3). Les résultats sont montrés dans la Figure 1.

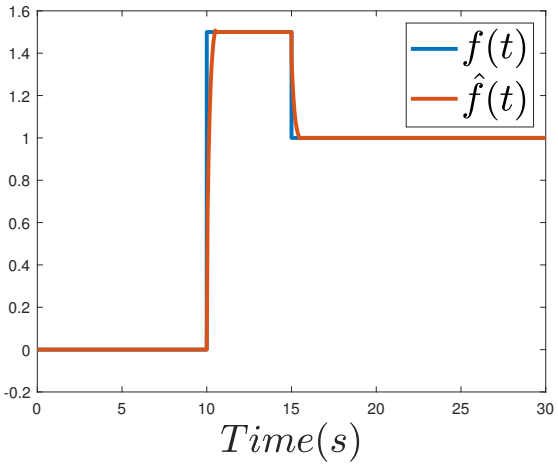


FIGURE 1 – Estimation de la faute

Comme on peut le voir sur la figure 1, l'observateur fonctionnel proposé est capable d'estimer la faute dans le temps de convergence donné. Pour l'observateur fonctionnel, nous pouvons réduire son ordre, ce qui en fait un observateur d'ordre réduit.

6 Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté la méthode pour le calcul de deux estimateurs d'état fonctionnel qui estiment une faute dans un temps fini donné. Pour une faute typique d'actionneur ou de capteur, la convergence en temps fini est garantie. Un exemple numérique a été donné pour illustrer la convergence.

Références

[1] Arie Levant. Universal single-input-single-output (siso) sliding-mode controllers with finite-time conver-

gence. *IEEE transactions on Automatic Control*, 46(9) :1447–1451, 2001.

[2] Di Zhou, Sheng Sun, and Kok Lay Teo. Guidance laws with finite time convergence. *Journal of guidance, control, and dynamics*, 32(6) :1838–1846, 2009.

[3] Ke Zhang, Bin Jiang, and Vincent Cocquempot. Robust fault estimation observer design with finite-time convergence specification. *IET Control Theory & Applications*, 11(1) :1–9, 2016.

[4] Robert Engel and Gerhard Kreisselmeier. A continuous-time observer which converges in finite time. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 47(7) :1202–1204, 2002.

[5] M. Darouach. On the functional observers for linear descriptor systems. *Systems and Control Letters*, 61(3) :427–434, 2012.

[6] Chuang Liu, Hak-Keung Lam, Tyrone Fernando, and Herbert Ho-Ching Iu. Design of fuzzy functional observer-controller via higher order derivatives of Lyapunov function for nonlinear systems. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 2016.

[7] Tyrone Fernando, Kianoush Emami, Shenglong Yu, Herbert Ho-Ching Iu, and Kit Po Wong. A novel quasi-decentralized functional observer approach to lfc of interconnected power systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 31(4) :3139–3151, 2016.

[8] Kianoush Emami, Tyrone Fernando, Brett Nener, Hieu Trinh, and Yang Zhang. A functional observer based fault detection technique for dynamical systems. *Journal of the Franklin Institute*, 352(5) :2113–2128, 2015.

[9] Jianglin Lan and Ron J Patton. Robust fault-tolerant control based on a functional observer for linear descriptor systems. *IFAC-PapersOnLine*, 48(14) :138–143, 2015.

Tableaux accessibles dans les documents numériques

Katerine ROMEO[1], E. PISSALOUX[2], F. SERIN[3]
[1]IUT de Rouen, [2]Université de Rouen Normandie, [3]IUT du Havre
Laboratoire LITIS/CNRS FR 3638

THEMATIQUE – Informatique – Robotique – Imagerie

RESUME - ***L'accessibilité des tableaux sur les sites web pour les personnes présentant une incapacité visuelle (PPIV) n'est pas optimale avec les lecteurs d'écran qui ne sont pas toujours performants pour la restitution d'informations visuelles (2D). Les technologies web/multimédia actuelles ne prennent pas en compte le décalage de la perception visuelle par rapport à la perception vocale qui est linéaire. Ce papier analyse les difficultés d'accès à l'information spatiale avec les recommandations existantes pour la conception des sites web accessibles à tous. Différentes solutions pour faciliter la création des tableaux accessibles sont présentées.***

***Mots-clés*— E-accessibilité, tableaux HTML, lecteur d'écran, déficience visuelle.**

1. INTRODUCTION

Une étude sur la 'hiérarchie perçue' des handicaps dans l'entreprise, montre que les employés pensent qu'une personne non voyante est considérée comme pouvant rencontrer des difficultés très importantes à assez importantes, si elle travaillait dans une entreprise. Le pourcentage des opinions dans ce sens atteint 85% et figure au premier rang de tous les handicaps dans l'entreprise [1]. Ce pourcentage tombe à 46% quand le salarié interrogé travaille au quotidien avec des personnes en situation de handicap. Néanmoins, ce pourcentage reste au premier rang par rapport aux autres handicaps sensoriels ou mentaux. Travailler avec des personnes atteintes de cécité est donc perçue comme difficile par plus d'une personne sur deux. Le travail devenant de plus en plus numérique, nous sommes face à un problème d'accessibilité à l'information des documents numériques avec des images, des graphiques et des éléments perçus en 2D comme des tableaux.

Selon l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) 217 millions de personnes présentent une déficience visuelle modérée à sévère, dans le monde, dont 36 millions sont touchées par la cécité ou par une malvoyance suffisamment forte pour les astreindre à une assistance autre que l'agrandissement des informations via une loupe [2]. En France ce nombre atteint respectivement 380000 et 60000. Malgré les progrès de la médecine et de la prévention, cette prévalence reste constante par le fait du vieillissement des populations et l'allongement de la vie.

Cet article n'est pas une nouvelle communication chargée d'alerter sur les soucis d'accessibilité. Nous avons voulu proposer une approche qui permette aux contributeurs d'appréhender la complexité d'accès aux documents numériques mais aussi de proposer une solution qui facilite de bonnes pratiques. Nous nous concentrons dans cet article, sur les tableaux de données réalisés au format HTML, pour montrer que leur structure et leur mise en place peut être complexe pour leurs auteurs et surtout pour les rendre accessibles auprès d'un public cible : les personnes présentant une incapacité visuelle (PPIV). Si les normes et les lois incitent fortement à l'accessibilité, la conception d'un code adapté ne va pas de soi. Nous présenterons les outils qu'utilisent les déficients visuels pour s'approprier les contenus de tableaux et nous proposerons une solution pour que cette mise en accessibilité ne soit pas un obstacle pour les personnes qui sont amenées à créer des tableaux.

Cette communication présente la problématique d'accessibilité aux différents types de tableaux, leur usage sur le web et les faiblesses des lecteurs d'écran les plus populaires pour accéder aux informations contenues dans les tableaux (Section 2). La perception sensorielle visuelle comparée à la perception vocale est analysée du point de vue de la présentation de tableaux (Section 3). Des solutions recommandées pour une meilleure prise en charge par un lecteur d'écran sont proposées (Section 4). Le prototype développé pour faciliter la création de tableaux est présenté dans la Section 5. La Section 6 conclut et indique quelques prolongements possibles du travail présenté.

2. QU'EST-CE QU'UN TABLEAU DE DONNEES ?

Il existe une grande variété de tableaux avec des logiques et des objectifs différents. Dans notre étude, nous nous limitons à la définition standard rencontrée la plupart du temps dans des documents susceptibles d'être imprimés ou visualisés sur écran, c'est-à-dire avec une vue plane. Un tableau est alors, de façon générale, une représentation de données à deux dimensions, pour être vue d'un coup d'œil.

2.1 Définition et usage des tableaux sur le web

Les quatre usages des tableaux sont :

a) Ensemble de données (chiffres, chaines de caractères, dates…), des renseignements disposés de façon méthodique permettant leur comparaison ou bien constituant un regroupement de données.
b) Tableau synoptique (didactique) vue générale qui permet de saisir d'un coup d'œil les diverses parties d'un ensemble (par exemple : tableau des poids et des mesures ; liste nominative de personnes, catégories).
c) Table analytique (table de vérité, table logarithmique)
d) Tableau de mise en forme d'une page web.

Nous rappelons que l'usage des tableaux HTML pour la mise en forme d'une page Web est fortement déconseillé et dégrade l'accessibilité par les lecteurs d'écran. Cet usage qui tend à décroitre reste encore présent dans les envois

d'informations par courrier électronique. WCAG 2.0 (Référence d'accessibilité W3C [3], RGAA (Référentiel Général d'Accessibilité pour les Administrations) [4] et Accessiweb (Critère 5.8 et 5.3) [5] tolèrent les tableaux de mise en forme à condition de ne pas utiliser d'éléments propres aux tableaux de données et que le contenu linéarisé reste compréhensible. Le dernier point reste difficile à vérifier si le concepteur n'a pas de lecteur d'écran.

Une distinction peut également être faite entre tableaux simples et tableaux complexes. Un tableau simple comporte un seul niveau d'entêtes sur des colonnes et/ou des lignes. Il est considéré comme complexe quand il y a plusieurs niveaux et ensembles d'entêtes de lignes ou de colonnes ou s'il y a une fusion de cellules. Dans la Figure 1, on peut voir le modèle UML d'un tableau complexe. Une cellule est associée à une colonne et une ligne. En HTML, il existe des attributs **colspan** et **rowspan** qui réunissent plusieurs cellules pour former ce que nous avons qualifié dans le schéma de groupe de cellules (GroupeCell). Dans un tableau simple, tout groupe de cellule ne regroupe qu'une et une seule cellule. Un tableau peut être imbriqué dans un autre tableau mais cet usage est fortement déconseillé car il détériore grandement l'accessibilité et l'intelligibilité.

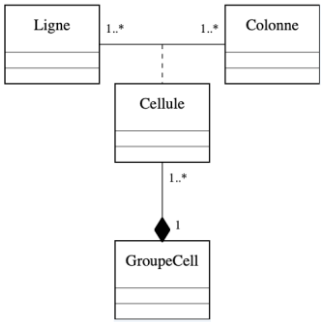


Fig.1 Modèle UML d'un tableau complexe

2.2 Rendu des lecteurs d'écran

Un lecteur d'écran est un logiciel qui permet de lire le contenu d'un site grâce à une synthèse vocale mais aussi de transmettre ce contenu à un afficheur braille. Il existe plusieurs lecteurs d'écran parmi lesquels les plus populaires sont Voiceover (installé sur iPhone, iPad et les ordinateurs Apple par défaut), NVDA (Non Visual Desktop Access, développé en 2007 en open source) et JAWS (Job Access With Speech, produit commercial développé en 1989). Le principe de ces lecteurs d'écran est d'accéder au DOM (Document Object Model) et d'utiliser les interfaces de programmation du navigateur pour avoir les informations sur les objets, leur nom, leur état et leur rôle dans le but de les annoncer au moment du parcours de la page. Grâce aux balises sémantiques HTML (correctement utilisées), la synthèse vocale indique l'organisation spatiale.

3. PERCEPTION SENSORIELLE : VISUELLE VS VOCALE

L'exploration des documents numériques sollicite naturellement la perception visuelle car ces documents sont conçus par des personnes sans incapacité visuelle. L'organisation des documents vise à être attractive pour attirer le regard et disperser l'information sur le support numérique. Les lecteurs d'écran linéarisent le contenu parcouru (text-to-speech) et utilisent le balayage séquentiel. Cette lecture linéaire est évidemment une contrainte pour les tableaux où le regard amène la structure planaire. Nous pouvons ajouter aussi que pour une perception cognitive de l'information en 2D, il est nécessaire de faire des retours en arrière horizontalement et verticalement de façon la plus fonctionnelle possible. Cette stratégie de parcours d'un tableau conditionne la charge cognitive et la vitesse d'accès à l'information.

4. RENDRE ACCESSIBLE UN TABLEAU DE DONNEES

4.1. Tableaux en HTML

Les tableaux sont apparus dès 1994 grâce au navigateur Netscape et les balises furent intégrées au standard HTML en 1997. Les quatre balises fondamentales sont : <table> indique le début et la fin du tableau, <tr> ligne, <th> entête de ligne ou de colonne, <td> donnée. Les balises qui sont apparus par la suite : <caption> qui indique le titre du tableau, <thead> qui regroupe les entêtes du tableau, <tbody> l'ensemble de données, <tfoot> qui indique souvent la ligne des totaux par colonne ou des informations liées aux données du tableau.

Tableau 1. Exemple d'un tableau complexe.

Pays	**Grandes Villes**		**Habitants (millions)**
	Capitale	**Métropole**	
Algérie	Alger		34
Australie	Canberra	Sydney	42
Belgique	Bruxelles		12
Brésil	Brasilia	Sao Paulo	110

4.2. Critères d'accessibilité

Dans un document non-linéaire, tel un tableau, l'attention du lecteur se retrouve face à un contexte élargi de l'exploration de l'information. Sa représentation mentale devient plus délicate par le passage à une description linéaire 1D pour une phrase à une structure 2D plus ou moins complexe. La PPIV est privée de la perception visuo-spatiale. Le lecteur d'écran apporte souvent une première information d'importance dès qu'un tableau est abordé : la taille de celui-ci. Le tableau représenté sera labellisé par une légende ainsi que sa dimension (nombre de colonnes et de lignes) selon le critère d'accessibilité 223 sur le site Opquast [6] et Accessiweb [5] (critères 5.4 et 5.5). La balise **caption** devra être renseignée. Sur la balise **table**, il est possible aussi d'ajouter un attribut **title**, pour indiquer des informations supplémentaires sur le contenu des colonnes et la logique d'organisation du tableau. Accessiweb conseille l'utilisation de l'attribut **summary** pour un résumé concis du tableau, ce qui amène souvent la répétition des informations par les concepteurs. Par ailleurs summary est considéré comme obsolète par HTML5 dans l'utilisation des tableaux [7]. La balise **details** peut être utilisée imbriquée dans une balise caption. Une autre solution serait d'insérer l'élément table dans un élément **figure** en ajoutant la description textuelle dans un élément **figcaption**.

Les cellules des tableaux de données sont reliées à leurs en-têtes (Critère 222, Opquast), (Critère 5.7, Accessiweb), (H63, H43, WCAG 2.0) ce qui est réalisé par l'attribut **scope** dans les balises **th**, en indiquant les en-têtes des lignes (row) ou des colonnes (col) que le lecteur lit pour chaque cellule pour rappeler l'information spatiale des cellules dans le tableau. Scope peut prendre **colgroup** ou **rowgroup** comme valeur si les entêtes sont fusionnés. Dans ce cas l'attribut **colspan** ou **rowspan** est ajouté pour indiquer combien de cellules sont fusionnées verticalement ou horizontalement. La propriété scope est considérée comme obsolète en HTML5 mais elle reste quasi indispensable pour les lecteurs d'écran actuels. C'est pour le moment la seule technique efficace et partagée pour restituer certaines informations [7]. L'attribut **abbr** est utilisé quand le titre de la colonne ou ligne est long et qu'une abréviation s'avère utile pour la lecture de chaque cellule.

Une autre alternative pour que le lecteur d'écran rappelle le contexte spatial est l'utilisation des attributs **id** et **headers**. Dans ce cas **id** est ajouté à tous les en-têtes en spécifiant par un mot leur contenu. Ces identifiants de lignes et de colonnes sont repris à la lecture des cellules. Si le tableau est complexe, les cellules fusionnées peuvent être lues avec les entêtes indiqués dans l'attribut **headers** de ces cellules.

WAI-ARIA [8] conseille d'ajouter l'attribut **role** dans la balise **tr** et si c'est nécessaire l'attribut **aria-describedby** dans les attributs **th**. Des répétitions sont observées avec ce dernier attribut, ce qui suggère de ne l'utiliser qu'en cas d'indications précises qui n'ont pas été dites par ailleurs [9].

4.3. Exemple d'accessibilité des tableaux sur Wikipédia

L'accessibilité des tableaux est, en général, assez peu traitée dans les faits. Nous prendrons comme exemple le site de Wikipédia. C'est la plus grande encyclopédie. Elle est alimentée quotidiennement par plus de cent mille contributions à travers le monde. Elle est visitée chaque mois par près de 500 millions de visiteurs (Juin 2017). Wikipédia est le site le plus visité en France qui ne soit ni un moteur de recherche, ni un réseau social, ni un site marchand, avec 24 millions de visiteurs uniques par mois. Sur Wikipédia, il existe trois documents qui expliquent la façon de créer des tableaux : débutants (~250 mots), avancé (~1600 mots), expert (~6500 mots). Ce n'est qu'au niveau expert que les problèmes d'accessibilité sont abordés. L'atelier dédié à l'accessibilité ne compte pas moins de 10000 mots ; la partie dédiée aux tableaux en compte environ 1800. On comprendra donc qu'à moins de pratiquer volontairement l'accessibilité, celle-ci est loin d'être aisée. Le codage pratiqué par MédiaWiki (moteur de Wikipédia) est, de plus, très proche de l'encodage HTML ce qui ne le rend compréhensible que de développeurs avertis [10].

Il existe une autre forme de tableaux, les plus répandus sur Wikipédia : les tableaux pré-dimensionnés pour recevoir des informations présentes dans les bases de données de l'encyclopédie. Il s'agit du format Infobox. Dans les documents expliquant le fonctionnement de ces tableaux, le terme accessibilité n'est employé que pour aborder l'accessibilité aux données. C'est-à-dire le contrôle de ces données ; il n'est pas fait allusion à une politique d'accessibilité orientée vers le handicap. Les exemples donnés contiennent des titres cachés non accessibles par les PPIV.

5. PROTOTYPE PROPOSE

Il est possible de simplifier la conception de tableaux via un CMS (Content Management System) tout en lui donnant une accessibilité étendue. Nous avons développé un logiciel en Java qui prend à la base un texte simple et linéaire comme le font les éditeurs de type Wikitext. Il n'exige pas de connaître et encore moins d'introduire les balises et les propriétés (attributs) imposées pour améliorer l'accessibilité telles que celles proposées par le WAI-ARIA. Notre approche différencie trois phases dans la conception d'un tableau :

5.1 Phase 1 : écriture d'un code simple et accessible par l'usager rédacteur. Les données sont rentrées avec un séparateur laissé au choix du contributeur : pipe (ligne verticale), point-virgule ou tabulation. La fusion de cellules est possible sur une ligne (colspan). Le choix est possible de multiplier à volonté le nombre de lignes en en-têtes voire de ne pas en indiquer. Afin de permettre la séparation entre lignes d'en-tête et de corps d'un tableau, il est nécessaire d'indiquer (par une suite de tirets) la séparation physique des deux parties. Une mise en place automatique des références lignes/colonnes est faite.

5.2 Phase 2 : analyse du code pour permettre la conception d'un tableau. Notre analyseur va déterminer la dimension et la structure de l'en-tête. Cette partie est modélisée sous forme de segments, ils seront autant de références utiles pour renseigner les cellules lors du parcours par le lecteur d'écran. La décomposition en colonnes du corps du tableau va permettre, ensuite, de lier chaque cellule à un ensemble d'informations présentes dans l'entête. En cas d'usage de la propriété **colspan**, le logiciel sait fusionner les indications pour rappeler la fusion (Fig.1). Les références utiles à chaque colonne sont détectées par une progression descendante, permettant de placer les informations de la plus générale à la plus spécifique.

5.3 Phase 3 : réalisation en HTML du tableau par notre générateur en garantissant l'inclusion des balises ARIA ad hoc. Les parties **thead** et **tbody** sont placées dans les tableaux. Le premier recueille les lignes d'en-tête tandis que le second contient les lignes avec les données. Ces deux parties permettent de signifier la sémantique qui différencie en-tête et valeurs. Chaque cellule fera donc explicitement référence aux cellules d'en-tête avec la propriété headers suivie des identifiants générés lors de la création des en-têtes. La propriété **scope** précise pour chaque cellule son appartenance à la ligne identifiée par la cellule indiquée par la balise **th**.

6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cette communication a proposé une analyse de l'accessibilité des tableaux sur le web et dans les documents numériques en général. Nous avons mis en évidence quelques critères importants dans la présentation et utilisation des tableaux. Nous avons développé un prototype pour faciliter l'accessibilité des tableaux dans un CMS. Nous sommes en train de faire une série de tests auprès d'un échantillon d'usagers PPIV ou non.

Un standard de structuration logique du contenu des tableaux devrait être guidé par sa représentation interne balisée, et tenir compte des mécanismes cognitifs de recherche des informations [11][12].

7. REFERENCES

[1] IFOP, « Perceptions, regards et vécus des salariés sur le handicap dans l'entreprise », Dépt Opinion et Stratégies d'Entreprise, Octobre 2009.

[2] https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment publié le 11 octobre 2018

[3] https://www.w3.org/Translations/WCAG20-fr/#content-structure-separation-sequence consulté le 18 mars 2019

[4] https://references.modernisation.gouv.fr/rgaa-accessibilite/criteres.html

[5] https://www.accessiweb.org/index.php/accessiweb_2.2_liste_generale.html#tableaux consulté le 18/3/2019

[6] Opquast, https://checklists.opquast.com/fr/oqs-v3/ consulté le 18/3/ 2019

[7] Paragraphe : Tableaux pour les utilisateurs non voyants. https://developer.mozilla.org/fr/docs/Apprendre/HTML/Tableaux/Advanced consulté le 15 Mars 2019

[8] https://www.w3.org/TR/wai-aria-1.1/#row consulté le 18/3/2019

[9] A. Altinier, « Accessibilité Web », Ed. Eyrolles, 2012

[10] https://www.mediawiki.org/wiki/Help:Tables consulté le 18/3/2019

[11] K. Romeo, E. Pissaloux, F. Serin, Accessibilité aux informations textuelles et visuelles sur les sites web pour les personnes avec une déficience visuelle. HANDICAP 2018, 13-15 Juin 2018, Paris

[12] K. Romeo, E. Pissaloux, F. Serin, *Accessibilité des sites web pour les personnes présentant une incapacité visuelle.* CNRIUT 2018, Aix-en-Provence, p163-165, 7-8 Juin 2018

Modèle Binaire Local multispectral pour le diagnostic du paludisme sans coloration

Yao Taky Alvarez Kossonou[1, 2], Alain Clément[2], Bouchta Sahraoui[3], Jérémie Zoueu[1]

[1] Laboratoire d'Instrumentation, Image et Spectroscopie (L2IS), Institut National Polytechnique - Felix Houphouët Boigny, BP 1093, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire ; jeremie.zoueu@inphb.edu.ci

[2] Laboratoire Angevin de Recherche en Ingénierie des Systèmes (LARIS), EA 7315, Institut Universitaire de Technologie, Université d'Angers, 4 Bd Lavoisier, BP 42018, 49016 Angers cedex 01, France ; alain.clement@univ-angers.fr

[3] Institut des Sciences et Technologies Moléculaires d'Angers (MOLTECH ANJOU), UMR 6200, Université d'Angers, 2 Bd Lavoisier, 49045 Angers cedex 01, France ; bouchta.sahraoui@univ-angers.fr

THEMATIQUE

- Imagerie

RESUME – Ce papier propose une extension de la technique d'analyse de la texture basée sur les Modèles Binaires Locaux (en Anglais Local Binary Pattern ; LBP), à des images multispectrales issues de frottis sanguins minces infectés par le paludisme sans ajout de colorant chimique Giemsa. Les images ont été acquises via un microscope multispectral et multimodal équipé de 13 diodes électroluminescentes (DELs) de 375 nm à 940 nm dans trois modalités d'imagerie : la transmission, la réflexion et la diffusion. L'application de notre stratégie aux images de globules rouges révèle la transmission comme étant la meilleure modalité d'imagerie pour le diagnostic du paludisme, avec 97.67% de cellules sanguines bien classées.

Mots-clés—Local Binary Pattern (LBP), analyse de la texture, diagnostic du paludisme, microscopie optique.

1. INTRODUCTION

Méritant une attention particulière en raison de son taux élevé de morbidité et de mortalité, le paludisme a été et reste l'une des principales causes de décès de la population mondiale. En 2013, 1500 à 2000 infections palustres ont été enregistrées dans le royaume uni et approximativement 12000 cas en Europe [1]. Selon le rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), le nombre d'infections causées par le paludisme a été estimé à 214 millions en 2015 dont 438000 trépas [2-3]. Les techniques destinées au diagnostic du paludisme assisté par ordinateur peuvent être scindées en deux grandes parties dont la première repose sur l'utilisation d'un appareil pour l'acquisition des images émanant de cellules sanguines tandis que la deuxième consiste à traiter ces images par les moyens des techniques de traitement d'images.

L'appareil généralement utilisé dans l'étude du diagnostic du paludisme assisté par ordinateur est le microscope standard commercial. Il est utilisé pour l'acquisition d'images de cellules sanguines marquées au Giemsa. Cette méthode est fastidieuse et nécessite un personnel bien formé pour la préparation des échantillons [4-5]. De ce fait, l'exactitude des résultats dépend de l'expertise de ce personnel, ce qui engendre un taux souvent anormal de faux positifs et de faux négatifs. Afin d'éradiquer la subjectivité des tests, en lieu et place du microscope standard, nous proposons un microscope multispectral et multimodal basé sur des diodes électroluminescentes en tant qu'appareil sensible, rapide, économique et facile à utiliser pour l'acquisition d'images de cellules sanguines sans coloration. Cet appareil couplé à l'analyse multi-variée s'est avéré efficace pour le diagnostic du paludisme [6-9].

Les approches destinées à l'analyse de la texture peuvent être regroupées en 7 catégories [10] : les approches statistiques, les approches structurelles, les approches basées sur la transformation, les approches basées sur les modèles, les approches basées sur les graphes, les approches basées sur l'apprentissage et celles basées sur l'entropie. Parmi ces approches, celles basées sur les modèles binaires locaux (en Anglais Local Binary Pattern ou LBP) issues des approches statistiques ont été largement analysées, étudiées et utilisées dans l'analyse de la texture en raison de leur faible complexité de calcul, leur facilité de mise en œuvre, leur robustesse dans la classification de la texture [11-12].

Le LBP, étant initialement formulé pour les images en niveaux de gris n'est pas directement applicable aux images multispectrales. De ce fait, des stratégies basées sur son principe pour l'analyse des images en couleur ont été élaborées [13]. Limitées par le fait qu'elles ne sont adaptées qu'aux images couleur, la version marginale du LBP a été la stratégie facile et rapide à utiliser [14]. Présentant l'inconvénient de ne pas considérer la corrélation entre les composantes spectrales, la méthode pionnière a été proposée dans [15]. Les limites de cette méthode résident dans le fait que sa dimensionnalité augmente avec le nombre de composantes de l'image multispectrale tout en ignorant la corrélation complète entre les plans spectraux. Afin de pallier ces inconvénients, nous proposons une stratégie simple permettant d'étendre le LBP à l'analyse des images multispectrales, puis nous l'appliquons à nos images de cellules sanguines sans coloration.

Dans la suite, nous allons décrire la préparation des échantillons, présenter l'appareil utilisé pour l'acquisition des images de globules rouges, exposer la stratégie utilisée pour

l'extension du LBP aux images multispectrales et enfin présenter les résultats de l'application de notre stratégie sur les images de globules rouges.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. PREPARATION DES ECHANTILLONS

Nos expérimentations ont été effectuées sur du sang humain, prélevé chez des patients infectés par le paludisme. Une petite goutte de sang capillaire du patient a été étalée sur une lame de verre résistant à la corrosion. Elle a une dimension de 75 mm x 25 mm et une épaisseur de 1 mm. Ensuite, la lame de verre est séchée pendant environ 15 mn. Différente de la préparation standard d'échantillons de frottis sanguins, la nôtre exclut l'utilisation du colorant chimique appelé Giemsa afin de préserver les propriétés optiques des composantes des cellules sanguines.

2.2. SYSTEME D'ACQUISITION DES IMAGES

Le système d'acquisition des données a été largement décrit dans de précédents travaux [7-9]. C'est un microscope optique métallurgique modifié (Brunel Compound microscope), conçu pour l'acquisition de données multi-spectrales et multimodales. Muni des modalités d'imagerie que sont la transmission, la réflexion et la diffusion, il est équipé de 13 différentes diodes électroluminescentes (DELs) de 375 nm à 940 nm. Afin de supprimer les artefacts issus de la préparation des échantillons et le bruit de l'environnement d'acquisition, les images spectrales sont prétraitées comme suit : dans la modalité transmission, les images issues du spécimen I_S (lame de verre avec le frottis sanguin), de la référence I_R (lamelle vide) et du bruit I_D (sources d'illumination éteintes) sont acquises, puis l'image spectrale finale est obtenue comme suit :

$$I_{TRANS} = \frac{I_S - I_R}{I_D - I_R} \tag{1}$$

La construction des images spectrales finales dans les modalités réflexion et diffusion est similaire [7]

2.3. METHODE UTILISEE

Le Modèle Binaire Local ou Local Binary Pattern (abrégé LBP) est un descripteur textural simple consistant à coder les valeurs d'intensités des pixels dans un voisinage circulaire de rayon R constitué de P pixels comme suit :

$$LBP_{R,P} = \sum_{i=0}^{P-1} S(g_i - g_c)2^i \tag{2}$$

g_i est l'intensité du pixel de niveau de gris, g_c l'intensité de pixel de niveau de gris central dans le voisinage et S est l'opérateur *signe* défini par :

$$S(x) = \begin{cases} 1 \; si \; x \geq 1 \\ 0 \; sinon \end{cases} \tag{3}$$

Ensuite, un histogramme est utilisé pour modéliser la distribution des codes LBP comme ci-dessous :

$$H_k(LBP_{R,P}) = \sum_{x=1}^{M} \sum_{y=1}^{N} \delta\{LBP_{R,P}(x,y) = k\} \tag{4}$$

Avec : $k = \{0, 1, 2, \dots, 2^{P-1}\}$ et :

$$\delta_k\{x\} = \delta\{x = k\} = \begin{cases} 1 \; si \; x = k \\ 0 \; sinon \end{cases} \tag{5}$$

L'amélioration du caractère distinctif de l'opérateur LBP dans l'analyse de la texture a été réalisée en divisant les codes LBP en deux groupes : ceux appelés codes uniformes et ceux connus sous le nom de codes non-uniformes. La mesure d'uniformité est calculée comme suit :

$$U(LBP_{r,p}) = \sum_{i=1}^{p} \left| S(g_{mod(i,p)} - g_c) - S(g_{i-1} - g_c) \right| \tag{6}$$

Tel qu'illustré à la figure 1, appliquer la mesure d'uniformité à l'opérateur $LBP_{R,P}$ donne :

$$LBP_{R,P}^{U2} = \begin{cases} LBP_{R,P} \; si \; U(LBP_{R,P}) \leq 2 \\ P(P-1) + 2 \; sinon \end{cases} \tag{7}$$

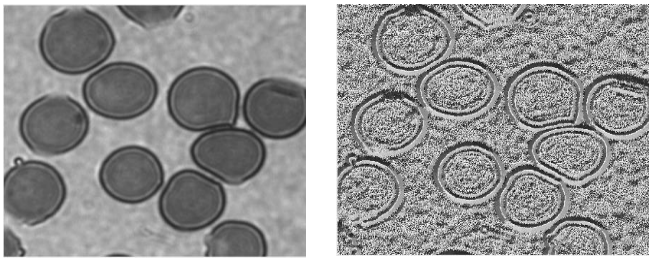


Fig. 1 : application de $LBP_{1,8}^{U2}$ à l'image issue de la longueur d'onde de 405 nm

Pour étendre ces résultats aux images multispectrales, nous proposons une formulation du LBP de la façon suivante :

$$AMLBP_{R,P} = \sum_{i=0}^{P-1} D(V^i - V^c)2^i \tag{8}$$

Avec D représentant un opérateur *signe* défini par :

$$D(V^i - V^c) = \begin{cases} 1 \; si \left(\sum_{q=1}^{Z} V_q^i - V_q^c \right) \geq T \\ 0 \; si \left(\sum_{q=1}^{Z} V_q^i - V_q^c \right) < T \end{cases} \tag{9}$$

V_q^i est la $q^{ième}$ composante du $i^{ième}$ vecteur voisin, V_q^c la $q^{ième}$ composante du vecteur central *et Z* le nombre de composantes constituant un vecteur. *T* est une valeur seuil définie par :

$$T = median \left\{ \left| \sum_{q=1}^{Z} V_q^i - V_q^c \right| \right\} \tag{10}$$

Avec $i = 0 \dots P - 1$

median represente la valeur médiane d'un ensemble de données et | . | l'opérateur *valeur absolue*. T est calculé dans le voisinage local et sur tout l'ensemble de $AMLBP_{R,P}$ produisant $MLBP_{L\,R,P}$ et $MLBP_{G\,R,P}$ respectivement. Après application du concept d'uniformité sur $MLBP_{L\,R,P}$ et $MLBP_{G\,R,P}$, l'histogramme joint de $MLBP_{L\,R,P}^{U2}$ et $MLBP_{G\,R,P}^{U2}$ est utilisé pour construire $MLBP_{R,P}^{U2}$ qui est l'opérateur final destiné à l'analyse de la texture des images multispectrales.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Dans nos expérimentations, la classification des images a été réalisée à l'aide du classificateur NNC (Nearest Neighbor Classifier) utilisant *1* voisin avec la métrique x^2 [12]. À des fins de comparaison, nous avons implémenté différentes variantes

LBP traitant des images multispectrales : *MaLBP* [14] et *OCLBP* [15].

Tableau 1 : resultats de classification en mode transmission (en %)

(R,P)	Taux de bien classés (cellules)				
	$OCLBP_{R,P}^{U2}$	$MaLBP_{R,P}^{U2}$	$MLBP_{L\ R,P}^{U2}$	$MLBP_{G\ R,P}^{U2}$	$MLBP_{R,P}^{U2}$
(1,8)	91.860	93.023	95.349	94.186	97.674
(2,8)	93.023	93.023	96.512	93.023	97.674
(3,8)	93.023	93.023	95.349	93.023	96.512
Taux de faux positifs (cellules)					
(1,8)	06.024	04.819	01.204	2.409	00.000
(2,8)	03.614	03.614	00.000	3.614	00.000
(3,8)	03.614	03.614	01.204	3.614	01.204
Taux de faux négatifs (cellules)					
(1,8)	66.666	66.666	100.00	100.00	66.666
(2,8)	100.00	100.00	100.00	100.00	66.666
(3,8)	100.00	100.00	100.00	100.00	66.666

Tableau 2 : resultats de classification en mode reflexion (en %)

(R,P)	Taux de bien classés (cellules)				
	$OCLBP_{R,P}^{U2}$	$MaLBP_{R,P}^{U2}$	$MLBP_{L\ R,P}^{U2}$	$MLBP_{G\ R,P}^{U2}$	$MLBP_{R,P}^{U2}$
(1,8)	96.512	96.512	95.349	93.023	95.349
(2,8)	96.512	96.512	95.349	89.535	95.349
(3,8)	96.512	96.512	95.349	96.512	94.186
Taux de faux positifs (cellules)					
(1,8)	00.000	00.000	01.204	03.614	01.204
(2,8)	00.000	00.000	01.204	07.228	01.204
(3,8)	00.000	00.000	00.000	01.204	02.409
Taux de faux négatifs (cellules)					
(1,8)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
(2,8)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
(3,8)	100.00	100.00	100.00	66.666	100.00

Tableau 3 : resultats de classification en mode diffusion (en %)

(R,P)	Taux de bien classés (cellules)				
	$OCLBP_{R,P}^{U2}$	$MaLBP_{R,P}^{U2}$	$MLBP_{L\ R,P}^{U2}$	$MLBP_{G\ R,P}^{U2}$	$MLBP_{R,P}^{U2}$
(1,8)	96.512	94.186	95.349	96.512	96.512
(2,8)	94.186	94.186	95.349	96.512	95.349
(3,8)	94.186	93.023	94.186	95.349	96.512
Taux de faux positifs (cellules)					
(1,8)	00.000	02.409	01.204	00.000	00.000
(2,8)	02.409	02.409	01.204	00.000	01.204
(3,8)	02.409	03.614	02.409	01.204	01.204
Taux de faux négatifs (cellules)					
(1,8)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
(2,8)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
(3,8)	100.00	100.00	100.00	100.00	66.666

Les bases de données utilisées dans nos expérimentations ont été conçues avec comme vérité terrain le mode Dark-Field [8] permettant de distinguer les cellules infectées des non-infectées au détriment d'une implémentation plus difficile. Les variantes LBP ont été testées sur 10 échantillons contenant en moyenne 150 cellules sanguines chacun.

Le taux élevé de faux négatifs observé est à relativiser au regard du très faible nombre de cellules infectées dans nos échantillons. Il est normal que le nombre de cellules infectées chez un patient atteint du paludisme soit très faible ; cela est une raison majeure de la difficulté du diagnostic.

En comparant le taux de bien classés, le taux de faux positifs et le taux de faux négatifs, notre méthode donne les meilleurs résultats en transmission. Cela peut s'expliquer par le fait que cette modalité, résultant de la lumière non absorbée et non réfléchie par l'échantillon étudié, met en exergue l'intérieur de l'échantillon. De plus, parmi les modalités d'imagerie susmentionnées, la transmission est la plus facile à mettre en œuvre.

4. CONCLUSION

Une méthode de diagnostic du paludisme sans coloration a été mise au point sur des échantillons d'images de globules rouges, acquis à l'aide de 13 diodes électroluminescentes de 375 nm à 940 nm. Parmi les trois modalités d'imagerie explorées, la transmission semble donner les meilleurs résultats même si ces derniers restent à améliorer. Notre investigation nous incite à privilégier la modalité de transmission dans nos travaux futurs. La principale difficulté reste de disposer d'échantillons sanguins en nombre suffisant, en particulier pour les cellules infectées avec une parasitémie de référence.

5. REFERENCES

[1] Manser, M., Olufsen, C., Andrews, N. & Chiodini, P. L. Estimating the parasitaemia of Plasmodium falciparum: experience from a national EQA scheme. *Malaria Journal* **12**, 428 (2013).

[2] World Health Organization. World Health Organization, 2015.

[3] Buonsenso, D. & Cataldi, L. Watch out for malaria: still a leading cause of child death worldwide. *Italian Journal of Pediatrics* **36**, 58 (2010).

[4] Chavan, S. N. & Sutkar, A. M. Malaria disease identification and analysis using image processing. *Int. J. Latest Trends Eng. Technol* **3**, 218–223 (2014).

[5] Díaz, G., González, F. A. & Romero, E. A semi-automatic method for quantification and classification of erythrocytes infected with malaria parasites in microscopic images. *Journal of Biomedical Informatics* **42**, 296–307 (2009).

[6] Zoueu, J. T. & Zan, S. G. T. Trophozoite stage infected erythrocyte contents analysis by use of spectral imaging LED microscope. *Journal of Microscopy* **245**, 90–99 (2012).

[7] Bagui, O. K., Zoueu, J. T. & Wählby, C. Automatic malaria diagnosis by the use of multispectral contrast imaging. (2017).

[8] Omucheni, D. L., Kaduki, K. A., Bulimo, W. D. & Angeyo, H. K. Application of principal component analysis to multispectral-multimodal optical image analysis for malaria diagnostics. *Malaria Journal* **13**, 485 (2014).

[9] Merdasa, A., Brydegaard, M., Svanberg, S. & Zoueu, J. T. Staining-free malaria diagnostics by multispectral and multimodality light-emitting-diode microscopy. *J. Biomed. Opt* **18**, 036002–036002 (2013).

[10] Humeau-Heurtier, A. Texture Feature Extraction Methods: A Survey. *IEEE Access* (2019).

[11] Ojala, T., Pietikainen, M. & Maenpaa, T. Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **24**, 971–987 (2002).

[12] Liu, L., Fieguth, P., Guo, Y., Wang, X. & Pietikäinen, M. Local binary features for texture classification: Taxonomy and experimental study. *Pattern Recognition* **62**, 135–160 (2017).

[13] Ledoux, A., Losson, O. & Macaire, L. Color local binary patterns: compact descriptors for texture classification. *JEI* **25**, 061404 (2016).

[14] Peyret, R., Bouridane, A., Al-Maadeed, S. A., Kunhoth, S. & Khelifi, F. Texture analysis for colorectal tumour biopsies using multispectral imagery. in *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2015 37th Annual International Conference of the IEEE* 7218–7221 (IEEE, 2015)..

[15] Maenpaa, T., Pietikainen, M. & Viertola, J. Separating color and pattern information for color texture discrimination. in *Pattern Recognition, 2002. Proceedings. 16th International Conference on* **1**, 668–671 (IEEE, 2002).

Procédé de datation des images et de caractérisation de la fréquence d'acquisition des caméras vidéo

Michel GRIMALDI[1], Philippe ARLOTTO[2], Olivier CARON[3]
[1]I.U.T de Toulon - département GEII - Laboratoire MIO
[2]I.U.T de Toulon - département GEII - plateforme SMIoT
[3] Université de Toulon - Laboratoire LAMHESS

INFORMATIQUE - ROBOTIQUE - ELECTRONIQUE (61ème section CNU)

RESUME - Depuis les années 80 et l'avènement des caméras numériques, une multitude de techniques de capture ou de quantification du mouvement par traitement d'images vidéo ont émergées. Toutes ces méthodes, très différentes les unes des autres, ont pourtant toute un point commun : la dimension temporelle est directement déduite de la fréquence d'acquisition des images vidéo qui, par hypothèse, est toujours supposée connue et stable, tout au long de la séquence d'images analysée. Or, il s'avère que cette condition, fondamentale pour une bonne quantification du mouvement, n'est pas toujours scrupuleusement respectée par les systèmes d'acquisition. Dans cet article, nous proposons un dispositif permettant de montrer que pour certaines caméras numériques, les instants d'acquisition des images ne sont pas aussi réguliers qu'on aurait pu l'espérer. Nous verrons ensuite comment dater précisément chaque image de la séquence pour compenser ce défaut lors de la détermination du modèle cinématique du mouvement observé.

Mots-clés—Traitement d'images, capture de mouvement.

1. INTRODUCTION

La capture de mouvement par traitement d'images vidéo et les analyses qui en découlent sont à l'origine de nombreux progrès technologiques, scientifiques et même artistiques. La capture du mouvement humain [1][2], par exemple, a très nettement fait progresser le réalisme des animations de personnages virtuels dans le cinéma de fiction. Dans le domaine du sport de haut niveau, en permettant des analyses biomécaniques fines du mouvement des sportifs, elle a contribué à l'amélioration des performances et de la récupération. Plus généralement, en physique expérimentale, ou en mécanique des fluides, elle a permis de vérifier des modèles théoriques de mouvement ou d'étudier certains phénomènes de turbulence complexes. Quelles que soient les techniques utilisées, les paramètres cinématiques du mouvement sont déduits du déplacement de points, ou de zones, caractéristiques entre deux ou plusieurs images successives [3][4][5]. Les paramètres cinématiques de vitesse ou d'accélération sont ensuite évalués par dérivation de ces déplacement par rapport au temps. La composante temporelle est elle, déduite de la fréquence d'échantillonnage du flux vidéo, supposée parfaitement constante, par hypothèse [9][10] [11].

Un peu par hasard, en travaillant sur des images de biomécanique, nous nous sommes rendus compte que la majorité des caméras, même de bonne qualité, ne respectaient par toujours cette condition fondamentale. Tous les modèles qui découlent alors du traitement de la séquence d'images peuvent, dans ce cas là, considérablement différer de la réalité, et mener à des conclusions erronées.

Dans un premier temps, nous allons décomposer le processus d'acquisition des caméras numériques pour tenter d'identifier les sources d'erreur pouvant conduire à une instabilité de la fréquence d'échantillonnage. Nous présenterons ensuite un dispositif optoélectronique permettant de mettre évidence ce défaut, que l'on pourra utiliser, par exemple, avant toute expérience pour spécifier les caméras. N'ayant souvent aucune action possible sur cette dérive de la fréquence d'échantillonnage, nous présenterons une méthode de datation des images de la séquence, afin de tenir compte des décalages temporels réels dans les modèles cinématiques.

2. STRUCTURE D'UNE CHAÎNE D'ACQUISITION D'IMAGE

D'une manière générale, une caméra numérique délivre une image *n* à partir d'une phase d'intégration des photons par le capteur, Ψ_n, suivi d'une macro phase de mise en forme, transfert et stockage sur la machine hôte.

Fig.1 chronogramme d'acquisition typique d'une caméra numérique

Quelle que soit la durée du transfert, le contenu de l'image est figé à la fin de la phase d'intégration. Dans le cas de caméras asynchrones, cette durée $a_{n+1}-b_n$ conditionne la prise de l'image suivante. Elle dépend du type de bus utilisé (USB, FireWire, IP, ou autre), mais également de la capacité de la machine hôte à récupérer les données. Pour les applications d'analyse de mouvement, on évite en général les modes de fonctionnement dans lesquels la durée d'intégration est variable (contrôle automatique de la luminosité). Pour les caméras synchrones, pour lesquelles le déclenchement de l'intégration est extérieur, nous avons remarqué que celles-ci peuvent avoir différentes stratégies, en fonction de leur *firmware*, en cas d'allongement de la phase de transfert/stockage, pouvant conduire à des images « doublons » ou à des images manquantes.

3. DESCRIPTION DU DISPOSITIF PROPOSÉ

Pour spécifier la caméra, nous effectuons l'acquisition vidéo de l'image d'une carte électronique constituée d'une matrice de diodes électro-luminescentes, *led*, divisée en deux blocs. Le premier, constitué de *k led* , est contrôlé par un registre à décalage délivrant un motif, formé par l'éclairement d'une *led*, qui se déplace à chaque période d'horloge à la fréquence f_0 parfaitement connue. Le registre étant rebouclé, le motif est périodique (*k-cycle*). Le second, constitué de *N led*

sciencesconf.org:cnriut2019:264269

représente le numéro *n* du cycle précédent, en binaire. En fonction du nombre de bits, ce numéro est également cyclique (*g-cycle*).

nota : Pour éviter des aléas dans la lecture des *N led* nous utilisons du binaire réfléchi (code Gray).

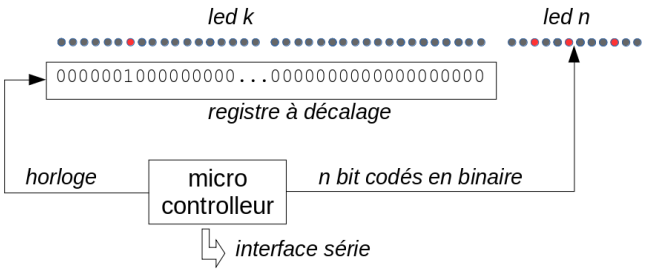


Fig.2 commande de la matrice de *led*

T_0 , la période de l'horloge principale

$T_1 = k T_0$, la période du *k-cycle*

$T_2 = 2^N T_1$, la période du *g-cycle*

L'instant exact t_i d'un front d'horloge *i* est donné par :

$$t_i = i T_0 + n k T_0 \qquad [1]$$

avec *i* le numéro du front, *n* le numéro du *k-cycle* au sein du *g-cycle*, $0 < n < 2^{N-1}$

notons que t_i est défini à une période T_2 près, avec

$$T_2 = \frac{k 2^N}{f_0}$$

La figure 3, ci-dessous, montre un exemple de chronogramme sur deux images successives avec k=8. Les rectangles représentent l'allumage des 8 *led*, la zone grisée les *led* intégrées par la caméra.

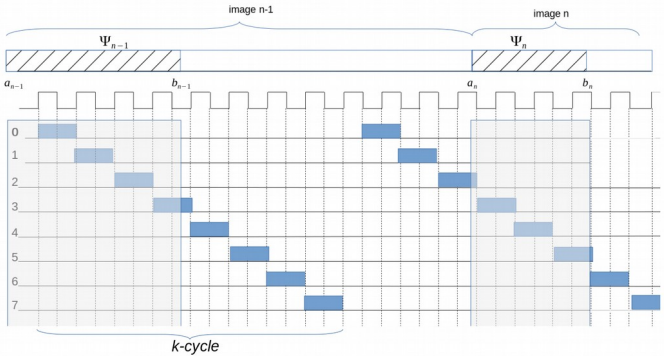


Fig.3 exemple d'intégration des *led* avec k=8

On remarquera que pour que la méthode s'applique il faut impérativement que la durée d'intégration soit inférieure à la durée d'un *k-cycle*, $\Psi < T_1$ et que la durée maximale entre deux images successives soit inférieure à la durée d'un *g-cycle*, $a_n - a_{n-1} < T_2, \forall n$. Dans ces conditions, la résolution temporelle est de l'ordre de T_0 .

4. Traitement d'image

La tache principale du programme de traitement des images de la séquence vidéo consiste à localiser chaque *led* et à en déterminer sa luminosité. Nous utilisons des images monochromes codées sur 256 niveaux de gris, avec la bibliothèque OpenCV [7].

Sur la première image, l'utilisateur est invité à désigner un référentiel, par simples clics sur les quatre coins de la carte électronique. Les dimensions réelles de cette dernière étant parfaitement connues, la transformation perspective représentant l'inverse de la déformation du système optique, est évaluée. Après correction, les positions approximatives des *led* sont encadrées par une zone carrée (*region of interest*, *ROI*) et le niveau maximum dans cette zone leur est associé.

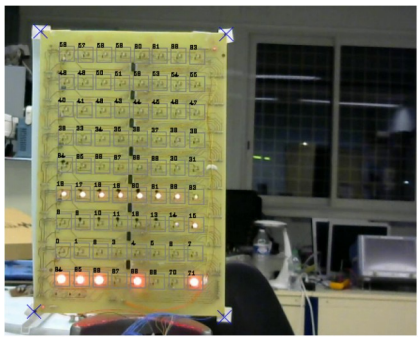


Fig.4 exemple d'image d'une scène incluant le dispositif. On peut remarquer les repères du référentiel et les zones *ROI* de chaque *led*.

5. Expérimentation et Résultats

Pour vérifier la technique, nous avons réalisé une carte électronique comportant 72 *led*, (*k*=64 et *N*=8). L'horloge est fournie par un microcontrôleur Atmel (Arduino), permettant de régler la fréquence f_0 et d'afficher le numéro du *k-cycle* en binaire réfléchi sur 8 bits. Le code a été optimisé pour garantir une bonne stabilité. Une étude indépendante [12] évalue l'écart type des variations fréquentielles de ce type de carte à 0.7Hz sur 16MHz sur une période de 18 heures, ce qui est largement suffisant pour notre application.

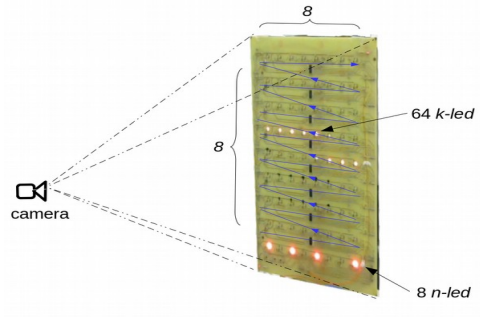


Fig.5 dispositif expérimental k=64 et N=8. Dimension : 20 cm x 30 cm. L'ordre d'allumage est matérialisé par les lignes bleu, de gauche à droite en montant

Pour valider le dispositif, nous utilisons une caméra, Basler ACE – AC1920-155UM [8], synchronisée par une horloge externe, donnée pour 250*fps* @ 1200x740 en USB-3.0., avec les paramètres suivants :

$(T_0 = 218 \mu s)$ la période de l'horloge principale, $f_0 \approx 4587\, Hz$, $T_1 = 13952 \mu s$ la durée du *k-cycle* et $T_2 \simeq 3{,}5 s$ la durée du *g-cycle.*

La figure 6, ci dessous, représente le chronogramme des intensités des 64 *k-led*, horizontalement de gauche à droite, en fonction des images, verticalement de haut en bas.

On remarquera les débuts d'intégration (repères 1, 3, 5, *.etc*,), les fins d'intégration (repères 2, 4, 6, *.etc*.) et les transferts de données vers la machine hôte, dans les périodes intermédiaires (repères 2 à 3, 4 à 5, 6 à 7, *.etc*.), pour environ 9 périodes T_0 d'horloge. Il est à noter qu'à la 5ème ligne, l'intégration commençant en fin de cycle (13), elle se poursuit en début (14) conformément au balayage modulo 64 du *k-cycle*. La durée d'intégration est d'environ 10 périodes de $218 \mu s$, soit

$\approx 2{,}18\,ms$. La durée d'une image est comprise entre 18 et 19 périodes, ce qui correspond bien à 250 images par seconde (18,35 périodes). Les seules variations observables sont dues à l'erreur sur la résolution temporelle : T_0

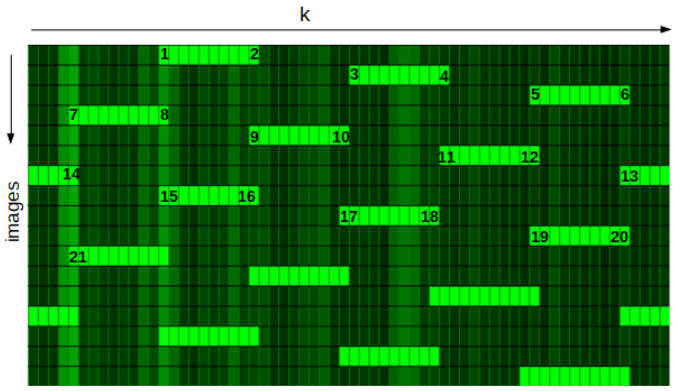


Fig.6 Chronogramme de la Basler ACE : chaque bande horizontale représente l'intensité des 64 *k-led* (K=64) observées sur une même image.

Une deuxième expérience a été menée avec une Webcam Logitech C270 de 3 MPix, 30*fps* @ 1280x720 avec les paramètres suivants :

$T_0 = 2\,ms$ la période de l'horloge principale, $f_0 = 500\,Hz$, $T_1 = 128\,ms$ la durée du *k-cycle* et $T_2 \simeq 32{,}7\,s$ la durée du *g-cycle*.

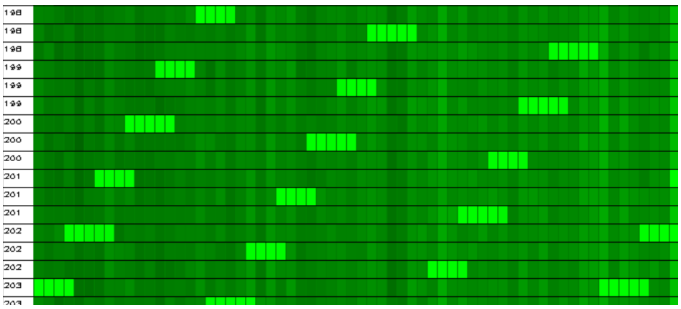


Fig.7 Chronogramme de la Logitech C270: chaque bande horizontale représente l'intensité des 64 *k_ led* (K=64) observées sur une même image. Le numéro du *k-cycle* est reporté en ordonnée.

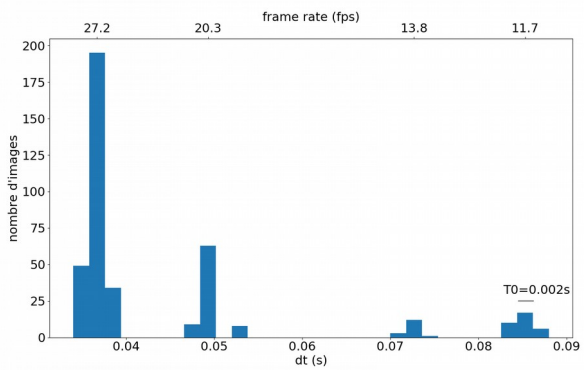


Fig.8 Histogramme des durées d'acquisition/transfert de la Logitech C270. On remarque un caractère multimodal avec des variations de part et d'autre correspondant exactement à la résolution temporelle T_0 .

Nous remarquons que les durées des images ont une variabilité beaucoup plus importante, entre 11 et 27 *fps*, mais surtout que certaines configurations ne correspondent à aucune image réelle, figure 7 avant dernière ligne, avec des diodes non contiguës allumées. Ceci nous conduit à penser que cette caméra ne respecte par le modèle de la figure 1. Le *firmware* doit très certainement effectuer les intégrations et les transferts de façon asynchrone.

6. Conclusions

La technique que nous avons présenté, ainsi que le dispositif associé, permettront de quantifier un phénomène qui a, très certainement, été observé par les personnes qui étudient le mouvement à partir d'images numériques. Cette irrégularité dans la chronologie d'acquisition des images est pourtant très peu évoquée dans la littérature, ou dans de domaines très éloignés [6], alors qu'elle peut conduire à des erreurs importantes dans les modèles cinématiques qui en découlent.

Nous montrons que certaines caméras à bas coût varient énormément et peuvent même induire des images d'artefacts. Elles sont donc à proscrire pour l'analyse du mouvement.

La datation précise et systématique de chaque image telle qu'elle a été présentée peut servir, dans un premier temps, comme moyen de caractérisation de caméras avant leur mise en œuvre dans un système d'analyse de mouvement. N'ayant aucune action sur ces irrégularités, le seul intérêt est alors d'apprécier la véracité des modèles obtenus. En revanche, si l'application le permet, l'inclusion du dispositif directement dans la scène à traiter, pendant l'acquisition, peut apporter un avantage considérable en procédant à une datation, *a posteriori*, qui pourra être prise en compte dans les modèles cinématiques.

La suite logique de ce travail, est de réaliser une étude comparative sur un grand nombre de caméras, dans des conditions d'utilisation aussi larges que possible.

La description du matériel et les logiciels associés à ce dispositif seront prochainement mis à la disposition de la communauté sous licence *Creative Commons*.

7. Références

[1] J.K. Aggarwal and Q. Cai, « Human Motion Analysis: A Review, Computer Vision and Image Understanding », Volume 73, Issue 3, 1 March 1999, Pages 428-440

[2] Ormoneit H., Sidenbladh M.J., Black T. and Hastie D., « Learning and Tracking Human Motion Using Functional Analysis », Proc.IEEE Workshop on Human Modeling, Analysis and Synthesis, June 2000.

[3] Philip H.S. Torr and Andrew Zisserman: « Feature Based Methods for Structure and Motion Estimation », ICCV Workshop on Vision Algorithms, pages 278-294, 1999

[4] B. Horn and B. Schunck. « Determining optical flow », Artificial Intelligence, 16(1-3):185–203, August 1981.

[5] Jianbo Shi and Carlo Tomasi, « Good Features to Track », Conference Paper, 1994 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'94), pp. 593 - 600, January, 1994

[6] Trang Nguyen, Nam Tuan Le, and Yeong Min Jang, « Asynchronous Scheme for Optical Camera Communication-Based Infrastructure-to-Vehicle Communication », International Journal of Distributed Sensor Networks, Volume 2015, Article ID 908139

[7] Open Source Computer Vision Library, https://opencv.org/

[8] Basler, site du constructeur, https://www.baslerweb.com

[9] Grigg, J., Haakonssen, E., Rathbone, E., Orr, R., & Keogh, J. W. L. (2018). « The validity and intra-tester reliability of markerless motion capture to analyse kinematics of the BMX Supercross gate start ». Sports Biomechanics, 17(3), 383–401.

[10] Sayers, M. G. L. (2011). « Kinematic analysis of line-out throwing in elite international rugby union ». Journal of Sports Science & Medicine, 10(3), 553–558.

[11] Trewartha, G., Casanova, R., & Wilson, C. (2008). « A kinematic analysis of rugby lineout throwing ». Journal of Sports Sciences, 26(8), 845–854.

[12] Joris van Rantwijk, « Arduino clock frequency accuracy », http://jorisvr.nl/article/arduino-frequency.

Apprendre à programmer en autonomie et par l'exemple: efficacité d'une plateforme en ligne dédiée

Antoine MOULIN [1] Karim CHIBOUT [1, 2] Antonio CAPOBIANCO [1, 2] David CAZIER [1, 2]

[1] IUT de Haguenau, Université de Strasbourg - Département **M**étiers du **M**ultimédia et de l'**I**nternet - **MMI**

[2] Laboratoire des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie, Université de Strasbourg / CNRS (UMR 7357)

THEMATIQUE - Informatique - Robotique - Imagerie – Electronique. CNU 27

RESUME – Le présent article dresse un premier bilan du potentiel pédagogique de Colibri, plateforme de e-learning développée originellement pour l'apprentissage de la programmation informatique à destination des étudiants de DUT. L'outil s'appuie sur une approche pédagogique inductive (acquisition de concepts à partir de l'observation d'exemples au préalable). Nous évoquons les fonctionnalités de Colibri, utilisé pour l'essentiel en parallèle et en complément des cours habituels. Nous décrivons ensuite les profils particuliers des étudiants inscrits en DUT MMI et, pour chaque profil, la facilité/difficulté à appréhender les modules d'informatique dispensés au moyen d'une pédagogie classique : les écarts de performance académique entre profils apparaissent significatifs dans l'ensemble. Au contraire des données précédentes, la comparaison des performances évaluées sur la plateforme atteste d'un lissage des différences entre profils, expliqué - pense-t-on - par l'efficacité de Colibri.

Mots-clés — E-learning, méthode inductive, programmation, performance académique, profil étudiant.

1. INTRODUCTION

Le projet **COLIBRI** (pour **CO**urs **LIBR**es **I**nteractifs) est issu d'une réflexion menée par les enseignants et enseignants-chercheurs en informatique du DUT MMI avec, en ligne de mire, le développement d'un outil pédagogique innovant en mesure de faciliter l'apprentissage de la programmation informatique. Pour l'heure, la plateforme ouverte à tous - https://colibri.unistra.fr/ - permet d'accéder à des formations complètes sur les langages SQL et PHP. Cet article se veut un premier retour d'expérience sur l'efficacité pédagogique de Colibri après plusieurs années de déploiement. En premier lieu, nous présentons la plateforme dans sa logique pédagogique (de type inductif) et ses fonctionnalités principales. Puis, au moyen de la typologie de personnalité de Holland [1], nous précisons le caractère hétéroclite des étudiants inscrits dans la formation du DUT MMI et le niveau de difficulté marqué qu'ils rencontrent dans les modules d'informatique dispensés classiquement en présentiel. Enfin, nous montrons les premiers résultats issus de la plateforme sur deux promotions : ils font apparaitre un lissage des difficultés relativement probant en regard du mode classique d'apprentissage.

2. COLIBRI : ''BUTINER'' DU CODE A LA SOURCE

Colibri est une plateforme de e-learning dédiée à l'apprentissage de langages informatiques. A cette heure, elle propose des formations aux langages SQL et PHP à travers différentes ressources comme des exemples, des questions à choix multiples, des textes à trous et, plus singulièrement, des exercices à correction automatisée dans lesquels les apprenants saisissent du vrai code informatique. Le code proposé en saisie est ensuite interprété et comparé à celui attendu ; l'apprenant est informé de son échec ou de sa réussite à chaque tentative. Ainsi, l'outil crée les conditions d'un véritable apprentissage en autonomie.

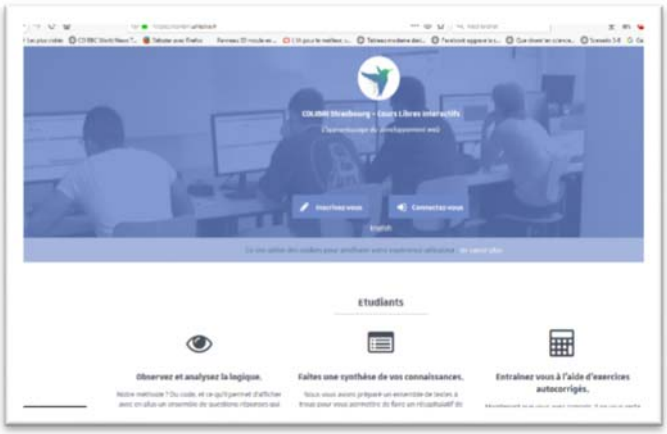


Fig.1 page d'accueil de la plateforme Colibri

Autre singularité d'importance, Colibri a été pensé et réalisé en conformité avec l'approche pédagogique inductive : les concepts sont acquis à partir de l'observation d'exemples et de situations concrètes au préalable. Naturellement, il y a derrière cette optique la volonté explicite de contrebalancer le modèle dit 'déductif' dans lequel le versant théorique des concepts étudiés précède leur versant pratique ; ce qui correspond au schéma CM – TD – TP largement pratiqué dans les progressions pédagogiques universitaires. Avec ces deux spécificités dans le mode d'apprentissage – en autonomie et par l'exemple - la plateforme se présente comme le pendant complémentaire des enseignements offerts en présentiel. Outre cet usage de ressource complémentaire côté apprenants, le logiciel propose

d'autres fonctionnalités davantage à destination des enseignants :

- le suivi de la progression des apprenants à travers la création possible de classes virtuelles (dans le cadre d'une classe inversée par exemple) ;
- la récupération des ressources partagées ou encore la création de ses propres ressources (cours et exercices).

3. Le DUT MMI : une nichee heteroclite, une qualite d'envol variable

Le DUT Métiers du Multimédia et de l'Internet accueille des étudiants en provenance de toutes les filières du baccalauréat général (S et ES principalement avec respectivement 48 et 23% des effectifs sur 5 promotions, L dans une moindre mesure avec seulement 7%) et technologique (STI 2D pour beaucoup -17% du total). A l'entrée en formation, ces étudiants présentent – à l'image du DUT - des compétences académiques et des centres d'intérêt très variés : informatique, communication, marketing, création visuelle, audiovisuel… Par ailleurs et (souvent) indépendamment du baccalauréat d'origine, certains rencontrent des facilités sur les modules d'informatique là où d'autres sont au contraire en grande difficulté. Une telle disparité de performance se retrouve dans un autre pôle de cœur de métier, celui de la création numérique. De ces constats, nous souhaitions aller plus avant dans l'analyse des profils de nos étudiants en nous appuyant sur le RIASEC (aussi appelé typologie de Holland) utilisé en Projet Personnel et Professionnel. Ce test, extrêmement répandu dans le monde et largement validé depuis plus de 40 ans, permet de déterminer la personnalité d'un individu en fonction de ses intérêts, de l'environnement de travail dans lequel il est à l'aise, de ses activités préférentielles et de ses compétences. Il distingue six types :

- Le type R(éaliste) pratique, centré sur les aspects techniques (objets, machines).

- Les types I(nvestigateur) et A(rtistique) centrés sur les idées : l'un analytique et rationnel ; l'autre imaginatif et intuitif.

- Les types S(ocial) et E(ntreprenant) centrés sur les personnes : le premier coopératif, dans une relation d'aide ; le second davantage compétitif et ambitieux.

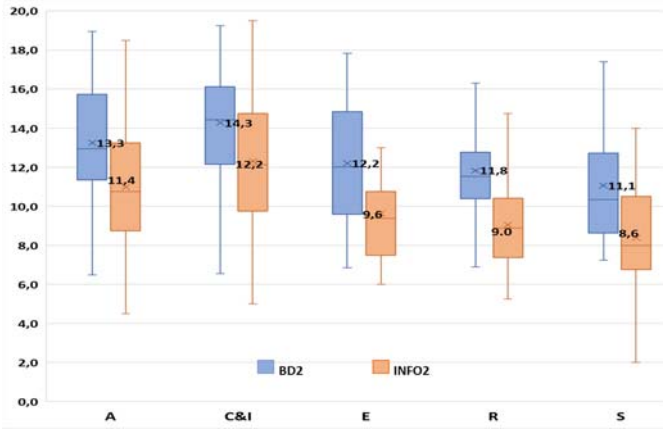
- Le type C : précis, méthodique, centré sur les données.

Le test est effectué en début de première année et s'avère être hautement prédictif de la pré-spécialisation au semestre 4 [2], de la poursuite d'études ultérieure et du devenir professionnel des DUT MMI [3]. De manière synthétique, les profils **A** s'orientent pour 53% d'entre eux vers les poursuites d'études et les métiers dans le domaine du graphisme (infographiste, graphiste, designer web…), les **C** et **I** davantage vers le développement Web (65%), les **R** se tournent sensiblement plus (55%) vers l'audiovisuel (cadreur, monteur…), les **S** vers les métiers de la communication (41%) et les **E** vers le marketing et/ou le management (42%).

De manière encore plus spécifique, nous avions également observé une relation significative entre le profil principal et la performance académique dans les modules programmation web dispensés au moyen d'une pédagogie classique (CM, TD, TP).

Le tableau ci-dessous illustre de manière notable les différences de moyennes obtenues dans deux modules d'informatique de niveau intermédiaire (semestre 2) en fonction des profils de 194 étudiants sur quatre promotions.

Tableau 1. Comparaison entre le profil RIASEC des étudiants de DUT et leurs performances académiques en informatique (notes moyennes sur 20).



Les '**C**onventionnel' & '**I**nvestigateur' – deux types, bien que distincts dans le modèle de Holland, ont été couplés pour l'étude en raison de fortes affinités dans leurs intérêts académiques et leur orientation professionnelle – ont des facilités pour le domaine et, à l'inverse, les '**R**éaliste' et les '**S**ocial' sont les plus en difficulté. Les analyses de variances confirment de manière significative la disparité de niveau d'un profil à l'autre avec pour la formation BD2 ($F = 4,71$; $p< .002$ et pour la formation INFO2 ($F = 6,35$; $p< .0002$).

Dans l'ensemble, ces résultats circonstanciés sont un reflet foncièrement fidèle de la tendance générale observée sur les données pour l'ensemble des évaluations en informatique. Les évaluations en question couvrent une dizaine de modules dispensés par des enseignants différents et de statut variable sur trois semestres. Les langages abordés vont des langages dit 'de balisage' d'ordinaire accessibles au plus grand nombre (par ex. HTML) aux langages plus complexes (PHP ou JavaScript) en passant par ceux considérés comme de niveau intermédiaire (SQL pour l'interrogation de bases de données). Les performances comparées peuvent se résumer ainsi : ***Les C&I réussissent mieux que les A qui eux-mêmes présentent des facilités en informatique par rapport aux E, R et S ; les performances de ces trois derniers profils étant globalement assez proches.***

En remarque finale à cette classification, on peut noter le caractère hybride des profils A qui semblent, pour une part d'entre eux, disposer des qualités de créativité, attendues dans leur cas, couplées à une appétence pour la programmation, beaucoup plus inhabituelle les concernant.

A l'issue de ces analyses, on constate que l'informatique enseignée sur le modèle déductif et dans un cadre contraint (CM, TD, TP) bénéficie à certains profils plutôt qu'à d'autres ; elle réussit davantage aux apprenants méthodiques, rationnels, portés vers les données (C) ou les idées (A et I). En revanche, les étudiants aux profils plus concrets, qu'ils soient techniques (R) ou au contraire tournés vers les personnes (E et S) n'en tirent pas aussi grand parti.

Comme nous l'avons dit plus haut, Colibri avait pour ambition d'offrir une alternative complémentaire aux modalités d'enseignement existantes : essentiellement une pédagogie inductive en autonomie. Le prochain chapitre fait état des

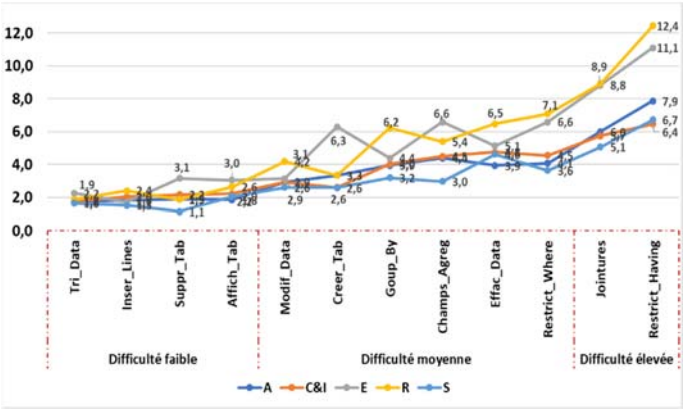
résultats de de la première évaluation portant sur l'efficacité de l'outil en ligne.

4. Colibri "fait sa part"

L'évaluation ici présentée porte sur le cours de SQL exclusivement – langage jugé communément de niveau de difficulté intermédiaire. Dans un premier temps, nous n'avons retenu comme critère unique de performance que le nombre de tentatives (saisie de code) avant réussite pour chaque exercice de chapitre. En préalable à l'analyse des données de réussite par profil, nous avons estimé le degré de difficulté des différents chapitres par jugement d'experts (enseignants du domaine). Ils ont discerné 3 niveaux de difficultés qui vont de chapitres très accessibles comme le tri de données à des chapitres portant sur des concepts réputés difficiles : les jointures et les restrictions.

Le tableau suivant synthétise ces résultats.

Tableau 2. performance par profil selon sur le degré de difficulté des chapitres pour la formation SQL (nombre moyen de tentatives avant réussite).



Sur l'ensemble des traitements inférentiels, il ressort une différence significative pour les chapitres :

- **'champ agrégat'** (F=3,12 ; p<.02), mais uniquement entre les R et les S ; p<.05) ;
- **'restrictions where'** (F=3,09 ; p<.03) qui ne porte encore une fois que sur la comparaison des R et des S ; p<.03) ;
- '**jointures'** (F=4,76=5 ; p<.002), avec cette fois-ci dans le détail une différence marquée entre les C&I et les R d'une part (p<.03) et entre les S et les R d'autre part (p<.0005).

Pour le reste des chapitres, il n'est apparu aucune différence significative entre les cinq grandes catégories de profils.

De façon générale, les résultats restent relativement probants : Colibri réduit les écarts entre profils au point de n'être pas significatifs sur la quasi-totalité des exercices : le niveau de performance corrèle avec le niveau de difficulté quel que soit le profil pris en compte. A notre sens, ce lissage des différences s'explique par le bénéfice que tirent les apprenants les plus 'concrets' dans leur appréhension des concepts : à partir d'exemples et par la découverte ''à tâtons'' en mode autonome. Dans le détail, les S semblent bénéficier le plus de la ''méthode'' Colibri et les R restent à la traîne, en particulier quand le niveau de difficulté augmente.

5. Discussion et conclusion

Après avoir explicité les fonctionnalités et les usages de la plateforme de E-learning Colibri, nous avons montré son intérêt comme ressource complémentaire aux enseignements d'informatique. D'évidence, elle participe à réduire les écarts de performance (i.e. de compréhension) et ce malgré la multitude de profils d'étudiants inscrits en formation de DUT MMI (artistiques, techniques, communicants, etc.) Néanmoins, ces premiers résultats bien qu'encourageants, sont fondés sur un critère d'évaluation unique (nombre de tentatives avant réussite à un exercice). Il faudra sans doute s'ouvrir à d'autres critères quantitatifs (temps de traitement d'un exercice, temps de latence entre deux tentatives, …) et qualitatifs (types d'erreurs les plus fréquentes...) pour affiner les analyses et améliorer ainsi Colibri dans ses fonctionnalités comme dans ses contenus pédagogiques. Ce travail est en cours et sera de plus enrichi par les données de la promotion à venir.

6. References

[1] J. L. Holland, « Making vocational choices: A theory of vocational personalities and work environments » . Odessa, FL: Psychological Assessment Resources, 1997.

[2] K. Chibout, A. Moulin et A. Capobianco, « Exploration de profils types d'étudiants de DUT en vue de la personnalisation d'une application d'apprentissage en ligne ». Actes du Congrès National de la Recherche dans les IUT, Aix-en-Provence, France, juin 2018.

[3] K. Chibout, J.C. Devaux et A. Moulin, « La typologie de Holland utilisée dans le cadre du module de PPP : un outil prédictif robuste de l'orientation professionnelle des étudiants de DUT ». Actes des Journées Professionnalisation et Insertion Professionnelle Saint-Nazaire, France, mars 2019. A paraître

Capteurs Connectés et supervision – Application à la mesure de température en milieu contraint

Jordan CHAMPLON**, Christophe PLOT**, Pierre MOUSSEAU*, Yannick MADEC**, Julien LAUNAY***, Daniel COUEDEL***

**GEPEA – IUT de Nantes*
Département Science et Génie des Matériaux
2, rue du Professeur J.Rouxel 44470 CARQUEFOU
***IUT de Nantes – Université de Nantes*
Service SATER – Service d'Assistance Technique pour l'Enseignement et la Recherche
2, rue du Professeur J.Rouxel 44470 CARQUEFOU
**** CAPACITES SAS (filiale de l'Université de Nantes)*

THEMATIQUE - Informatique - Robotique - Imagerie – Electronique. Section 63-62

RESUME -En milieu industriel, la maîtrise des procédés d'injection, d'extrusion et de moulage de matières thermoplastiques nécessitent des mesures multiples de température, de flux thermique. Ces points de mesure sont souvent situés dans des endroits difficilement accessibles ou sur des dispositifs en mouvement. Ces configurations matérielles excluent de fait les liaisons filaires pour transmettre l'information. L'offre technologique actuelle permet d'envisager la transmission sans fil de signaux issus de capteurs de température multiples implantés directement sur le procédé. Ces solutions technologiques reposent sur l'encapsulation d'un microcontrôleur et d'un modem bluetooth 4.0 opérant dans la bande RF ISM 2.4 GHz. Cette technologie LE (Low Energy) permet l'alimentation en énergie par de simples piles lithium. L'interfaçage avec les thermocouples sera assuré par des conditionneurs analog device qui assurent la mise en forme des signaux et la compensation de soudure froide. La récupération des informations thermiques peut se faire sur un contrôleur à poste fixe restituant des signaux analogiques normalisés rendant l'ensemble du système totalement transparent ou bien sur un smartphone ou tablette numérique permettant la surveillance directe du processus

Mots-clés—capteur, température, transmission sans-fil.

1. INTRODUCTION

La mesure de grandeurs physiques dans des endroits inaccessibles va constituer dans les années à venir un enjeu stratégique dans le domaine de l'analyse des performances dans les procédés de mise en œuvre des produits polymères. Par exemple, dans le secteur automobile, la volonté de suivre l'évolution du comportement mécanique des pièces dans les conditions réelles d'utilisation est complexe du fait du peu de place disponible pour positionner un système d'acquisition in situ. La taille des pièces elles même rend le positionnement des capteurs compliqué.

Pour minimiser la perturbation occasionnée par la mesure, la miniaturisation du capteur présente une importance capitale. Par ailleurs, l'acheminement des mesures par liaison filaire depuis le capteur vers le système d'acquisition est souvent contraignant voire impossible à mettre en œuvre avec le système que l'on souhaite instrumenter (exemple des machines tournantes).

Il existe plusieurs méthodes pour mesurer des températures sur des matériaux polymères inaccessibles ou en mouvement. Cet article décrit un prototype de capteur sans fil, connecté, de température à basse consommation d'énergie. Un état de l'art suivi d'une description du prototype sont développés dans le premier paragraphe. Ensuite nous décrirons les premières expériences de mesures de conduction en température d'un outil coupant lors d'un usinage ainsi que les méthodes d'obtention de nos premiers résultats.

2. PRINCIPE DE LA MESURE

Développer dans les sections, sous-sections et sous sous-sections (ne pas excéder 3 niveaux hiérarchiques) les travaux réalisés en présentant les grandes étapes et les principaux résultats.

2.1. Techniques de mesure de température

Il existe de nombreuses méthodes pour mesurer une température. La plus utilisée à ce jour en milieu industriel est la technique CTE (mesure de couple thermoélectrique). Elle permet de mesurer une température de façon localisée à l'aide d'un thermocouple. A ce jour nous maîtrisons la réalisation et l'implantation de thermocouple dont la taille peut descendre jusqu'à 12 µm. La Fig.1 montre un exemple d'implantation de thermocouples dans un moule destiné à l'injection de silicone liquide. Les deux empreintes circulaires font 30 mm de diamètre.

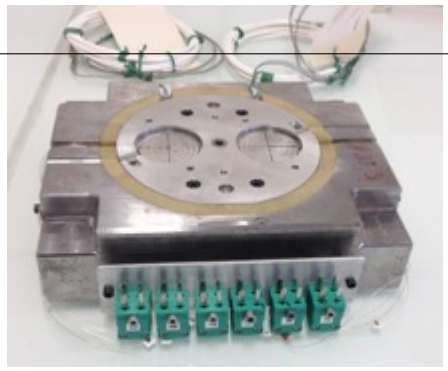


Fig.1 exemple de moule d'injection instrumentée de micro-thermocouples.

Un thermocouple est un montage exploitant l'effet Seebeck, le couple est constitué de deux fils de métaux différents, soudés aux extrémités. L'une des soudures est maintenue à température constante, c'est la soudure froide. L'autre soudure constitue le capteur à proprement parlé et est positionné à l'endroit où la mesure doit être faite. En ouvrant la boucle et en mesurant la différence de potentiel, on dispose d'une tension électrique à l'image de la température. Le maintien de la température de soudure froide, l'amplification du signal de mesure sont assurés par un conditionneur de thermocouple de type K (Chromel Alumel) qui délivre une tension proportionnelle à la température. Le conditionneur que nous avons utilisé dans ce dispositif expérimental est un AD8495 fabriqué par la société Analog Device. Il délivre une tension directement proportionnelle à la température, à raison de de 5 mV/ °C, il est disponible en boitier MSOP, sa tension d'alimentation est de 2.7V et sa consommation typique est inférieure à 1 mW. Tous ces paramètres permettent une intégration miniaturisée facile dans une instrumentation embarquée.

2.2. Capteur connecté de température BLE

Son principe repose sur l'émission d'une trame Bluetooth Low Energy (BLE). La transmission de paquets se fait à travers des canaux appelés « Advertising Channels » dans des intervalles de temps appelés « Advertising Event ». Cette technologie lui procure de nombreux avantages :

- Une bonne distance de propagation des données (environ 10 mètres)
- Une faible consommation en énergie
- Débit de données brutes de 1Mbps
- Interopérabilité avec Bluetooth 4.0 et versions ultérieures
- Haut niveau d'immunité contre les autres sources radio de 2.4 Ghz ainsi qu'une forte robustesse aux perturbations du fait de la largeur de sa bande passante.

La Fig.2 montre le montage réalisé.

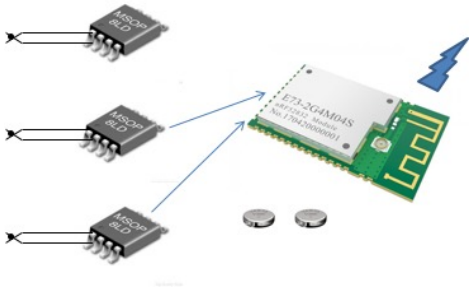


Fig.2 Description du système embarqué.

Après des tests préliminaires de programmation, ce dispositif sans fil a été utilisé pour mesurer des variations de température à l'intérieur d'un outil en rotation à plusieurs milliers de tours par minute de sorte à appréhender les paramètres inhérents à l'usinage d'un matériau polymère

La Fig.3 montre la carte réalisée et la connexion possible avec son environnement.

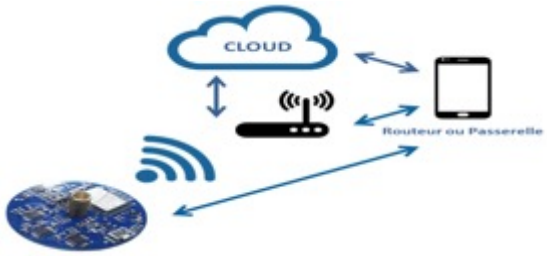


Fig.3 carte électronique réalisée.

3. CONCLUSIONS

Les applications de cette technologie sans fil sont nombreuses. Dans le secteur industriel, elles nécessitent un développement spécifique à l'application. Ces solutions ne peuvent pas être sur étagère, car il est indispensable de maîtriser toute la chaine de mesure : la position du capteur lui même vis-à-vis de la mesure souhaitée, la conception de la carte avec des problématiques possibles d'autonomie énergétique et de tenue en température, la réception de ces données en nombre et leur traitement pour une éventuelle supervision.

De la sérendipité dans les projets pour cultiver l'imprévisible…

Jean-Paul Bécar[1], Jean Vareille[2]

[1] UPHF, LAMAV, CNRS 2956, IUT de Valenciennes, UVHC - Campus du Mont Houy - 59313 VALENCIENNES

[2] UBO, Lab-STICC UMR 6285, IUT de Brest-Morlaix, département GMP, CS 93837 29238 BREST CEDEX 3

THEMATIQUE - Informatique - Robotique - Imagerie – Electronique - Mathématiques

CNU 26 et 60

RESUME - **L'article traite de la sérendipité dans les projets conduits dans nos IUT. La sérendipité est la découverte accidentelle de quelque chose d'inattendu. Elle se produit souvent lors du déroulement de projets. Forts de leurs expériences vécues dans les projets, les auteurs mettent en évidence les moments privilégiés de découverte fortuite. Elle met en évidence de nouveaux éléments de motivation et de partage chez les acteurs des projets aussi bien étudiants qu'enseignants.**

Mots-clés—sérendipité, projet, fortuité, innovation.

1. INTRODUCTION

Lors du déroulement de projets il arrive fréquemment qu'une découverte fortuite ait lieu. Parfois elle a lieu dans le périmètre du projet, elle participe alors à son accomplissement, mais le plus souvent cette découverte est l'occasion d'ouverture de nouvelles pistes totalement différentes de celle envisagée au démarrage du projet. À cela s'ajoute un sentiment d'émerveillement ou d'accomplissement ou de prise de conscience d'une réalité méconnue et cachée, qui peut distraire ou détourner la démarche de projet. L'objet de cet article est de décrire quelques cas et de proposer des pistes pour que la fortuité puisse être fructueuse.

2. LA SERENDIPITE

La sérendipité est la découverte accidentelle de quelque chose d'inattendu [1][2]. Le vaccin contre le choléra, la poussée d'Archimède, la découverte de la grotte de Lascaux et la pénicilline en constituent des exemples connus. Ces découvertes peuvent stimuler la créativité et donner lieu à des inventions, par exemple le velcro, le viagra initialement destiné à lutter contre l'angine de poitrine, ou de nouvelles recettes comme celles de la tarte Tatin, des bêtises de Cambrai, ou des innovations comme Lascaux 2, 3 et 4. La sérendipité influence les processus créatifs selon 3 axes :

- L'amplification : la sérendipité ouvre l'esprit à des résultats nouveaux inattendus,
- La validation : la sérendipité se confirme comme étant un concept à part ou un plan d'action,
- L'innovation : la sérendipité incite aux changements dans les plans d'action, l'interprétation et la vue d'ensemble.

La sérendipité vient de nulle part. Elle ne se maîtrise pas. Elle ne s'enseigne pas. Toutefois elle peut être stimulée, un environnement propice prépare sa venue [3] [4]. Être observateur et réceptif en sont les deux éléments fondamentaux. À quelles occasions découvre-t-on fortuitement quelque chose d'inattendu ? En général en dehors de la routine :

- en travaillant en groupe et en partageant les informations,
- en voyageant,
- en rencontrant des personnes inconnues et en leur parlant,
- en participant à un événement dans un endroit inconnu,
- en recherchant les causes et les effets de quelque chose qui a été observé dont on ne connait pas l'explication.

Quelques principes pour la stimuler :

- se mettre en éveil,
- changer de point de vue sur les lieux habituels, changer de chemin, changer la disposition de meubles, changer la décoration,
- se mettre en situation de devoir s'adapter à des lieux inconnus, des outils inconnus, des personnes inconnues, des us et coutumes différents,
- quand une observation est répétée, elle semble devoir correspondre à un phénomène systématique, en rechercher l'explication à l'extérieur du champ connu, mais aussi en échafaudant un modèle,
- toujours noter et dater les faits et les ressentis.

Dans ces environnements et ces circonstances, une part non négligeable est dédiée au partage de connaissances, de savoirs et de savoir-faire. Par exemple des tiers lieux comme les Fab Labs, les médiathèques ou les locaux d'associations sont propices à la sérendipité. Le tout récemment créé 110bis, laboratoire d'innovation du ministère de l'éducation nationale, concorde avec cette dynamique. [5]

3. EXEMPLES

Le concept car :
L'exemple rapporté dans la suite concerne un projet du

domaine mécanique connexe à celui de la spécialité enseignée. Il essaie de prouver que la démarche volontaire est essentielle dans l'aboutissement d'un projet à la manière de John Dewey [6] qui modélisa le comportement du consommateur. Un projet de numériseur 3D basé sur l'emploi d'un équipement basique de jeu vidéo a rassemblé un groupe de quatre étudiants. Les réunions hebdomadaires régulières dans un espace dédié validaient les expérimentations, le travail effectué et favorisaient l'émergence de nouvelles idées. C'est l'espace dédié aux projets qui active de fait la communication puis le partage des connaissances et des compétences.

Lors d'une réunion, une personne extérieure au groupe de projet s'est intéressée au travail en cours. Elle a mentionné un des acteurs du groupe comme étant un bon dessinateur de voitures de course à ses heures de loisir. Les photos des dessins sont montrées au groupe. Un autre membre se propose de les modéliser avec un logiciel de visualisation 3D qu'il pratiquait à ses heures de loisir. Un nouveau projet a ainsi pris corps sous l'impulsion des étudiants et le relai de l'enseignant. Le modèle une fois conçu a été 3D-imprimé par les spécialistes de l'équipe technique du département, puis un prototype en bois a été réalisé avec une machine spéciale de stratoconception. Le modèle réduit de la forme de voiture a pu être au final thermoformé pour de futurs tirages en plâtre. Trois années ont été nécessaires pour mener à bien les différentes phases de réalisation. Elles ont permis l'exploitation de la plateforme technologique de l'IUT. En conclusion les opportunités de découvrir de nouveaux talents au hasard des rencontres doivent leur succès à la structure du lieu de travail, ici un atelier de génie électrique, la régularité et l'assiduité aux rendez vous programmés et le laisser faire de l'enseignant, terme pris dans le sens de laisser s'exprimer avec bienveillance toutes les initiatives émanant des étudiants, quitte à les recadrer parfois du point de vue de leur faisabilité.

Regula Falsi ou méthode de la fausse position :

en travaillant à la préparation de conférences-débats sur la face cachée du numérique, l'intention d'origine était d'expliquer la notion de systèmes d'information et de communication éco-responsables, en introduisant la notion de transmatérialisation. La numérisation de documents ou d'objets nécessite l'emploi d'énergie et de moyens techniques matériels, les données produites ne sont utilisables que si elles sont stockées dans un support matériel compatible avec un équipement de traitement et d'affichage. La dématérialisation n'existe donc pas, nous ne pouvons que transmatérialiser, c'est à dire transférer les informations relatives à un document ou un objet dans d'autres matériaux, moyennant une consommation d'énergie. Les caractères positifs de la transmatérialisation qui sont la diminution de l'inertie, la rapidité de traitement et de communication, impliquent une empreinte négative sur l'environnement. En résumé les effets positifs ont toujours pour corollaire des effets négatifs, du fait de la nature conservative de notre environnement. Lorsqu'on ajoute un terme dans une expression formelle reflétant un bilan d'un système physique, il est retranché dans l'expression duale représentant le bilan pour l'extérieur du système. Donc le signe + est un signe – barré. Moyennant une brève recherche sur Internet et une discussion avec des amis, il est apparu que cette idée singulière mais très simple a été écrite telle que dans un roman de Denis Guedj [7]. Celui-ci en indique la source, un livre publié en 1489 [8] dans lequel sont apparus pour la première fois les signes + et –. Il en donne l'explication. Une pratique de commerçants au XVème siècle consistait à barrer des signes – inscrits sur certaines caisses remplies de produits marchands pour signaler qu'elles contenaient un surplus. À l'origine le + est bien un – barré. En regardant de plus près ce livre et les autres publications de son auteur, Johannes Widmann, survinrent deux surprises. La première fut que l'auteur écrivit des algorithmes textuels, la seconde est qu'il décrivit une méthode de résolution de problèmes qui n'est pas enseignée en Europe continentale, sauf en analyse numérique : la méthode de la fausse position ou Regula Falsi [9]. Pourtant cette méthode transversale de résolution de problèmes est enseignée aux USA dans le dispositif K12 (qui englobe dans un tout l'enseignement élémentaire et les deux cycles de l'enseignement secondaire). Elle y est appelée « guess and check » ou « trial and error » [10]. Comme cette méthode est à la base du raisonnement en conception mécanique, matière enseignée par un des auteurs de cet article, il a écrit un texte réunissant deux exercices puis l'a testé auprès d'étudiants de DUT GMP. Il apparut alors que 15% des étudiants savaient résoudre le premier exercice en quelques minutes et 5% le second. Par conséquent, sans avoir appris la méthode pendant leur scolarité ces étudiants savent la mettre en œuvre spontanément. Ce constat suggère qu'elle serait transmise lors d'activités extrascolaires ou familiales et qu'elle persisterait ainsi dans la société française. Cet exemple montre un cas de sérendipité, transformé en expérience pédagogique, aboutissant à un résultat inattendu.

L'objectif poursuivi par un enseignant de conception mécanique est de libérer l'initiative des étudiants, de les pousser à proposer des solutions, quitte à ce qu'ils soient confrontés à des erreurs ou à des contradictions. L'erreur n'est pas une faute pendant le développement d'un produit, le déroulement d'un projet. Nous apprenons tous beaucoup de nos erreurs. L'observation ultérieure des étudiants des groupes testés semble indiquer un infléchissement de leurs attitudes vers plus de dynamisme. Cela mériterait une analyse scientifique par des spécialistes des sciences de l'éducation. Dans la partie suivante nous proposons un questionnaire pour faire faire découvrir que chacun peut vivre une telle expérience.

4. Proposition de questionnaire

Afin de mieux faire comprendre ce qu'est la sérendipité et ce qu'elle peut nous apporter dans nos activités, nous proposons aux participants à la session de répondre à un questionnaire. Ci-après les questions :

- sauriez-vous ce qu'est la sérendipité ?
- si oui cela vous est-il déjà arrivé :
    - avant le CNRIUT2019 ?
    - dans la vie personnelle ou sociale ?
    - dans la vie professionnelle ?
    - lors d'un projet ?
    - en préparant un cours ou un exposé ?
- auriez-vous vécu une situation de sérendipité lors du CNRIUT2019 ?
- si oui était-ce :
    - pendant une session orale ?
    - pendant une session poster ?
    - pendant la soirée de gala ?
    - pendant un repas ?
    - à un autre moment ? (transport en commun avion, train, bus, petit-déjeuner à l'hébergement, etc.)

Quelle importance relative donneriez-vous à la sérendipité dans :

- l'orientation de vos recherches ?

– votre vie personnelle ?
– une situation de sérendipité dans votre vie professionnelle autre que la recherche aurait-elle eu une influence sur vos recherches ?
– réciproquement une situation de sérendipité dans vos recherches aurait-elle eu une influence sur votre vie personnelle ?

5. PROPOSITION ET DISCUSSION

Comme la sérendipité peut apporter quelque chose de plus lors du déroulement d'un projet, il est judicieux de la stimuler en essayant de mettre en pratique les quelques principes vus plus haut. Pour pouvoir en tirer des éléments utiles, il est nécessaire d'effectuer une synthèse permettant de mettre en évidence les éléments susceptibles de contenir des germes de découvertes inattendues. Ces germes seraient cultivés ultérieurement pour qu'ils s'épanouissent et éventuellement débouchent sur des innovations techniques économiques ou sociales. Nous proposons ci-après une démarche visant ces buts.

Il ne faut sous aucun prétexte renoncer à effectuer une investigation sur un des éléments repérés, mais avant de commencer chaque investigation il faut lui attribuer un nom et lui dédier un temps suffisant.

Après investigation il faut élaborer un bilan pour identifier ce qui a été trouvé qui pourrait être exploité dans le cadre du projet d'origine et ce qui ne l'est pas. Il faut alors intégrer dans le projet les éléments nouveaux qui peuvent l'être, les associer à des tâches inscrites au planning du projet.

Les éléments qui ne peuvent pas être intégrés au projet doivent alors faire l'objet d'une rédaction sous la forme d'un sujet de projet futur. Cela permet de se libérer psychologiquement de l'envie de s'en occuper au détriment du projet initial. Toutefois le ou les sujet(s) de projet(s) futur(s) peuvent être évoqués lors de la conclusion du projet d'origine. Chaque étudiant, chaque enseignant, etc. peut constituer son propre « silo de graines d'idées » dont les données sont privées. Pour constituer ce silo il est possible de s'inspirer du cahier d'expériences de la main à la pâte [11], qui est en usage dans l'enseignement secondaire, mais dont le but est de stimuler les qualités d'observation scientifique. Il est constitué d'une partie personnelle et d'une partie publique. Dans notre cas le but est l'innovation technologique abordée sous forme de projets.

Nous proposons qu'au « silo de graines d'idées » soit adjoint une « pépinière des idées en germe » en trois parties, la première intime, la seconde limitée à un groupe restreint, le groupe de projet et la dernière publique. Dans la partie intime il faudrait noter l'observation et ses ressentis, car la création est toujours accompagnée d'émotions. La partie accessible au groupe restreint doit être traitée comme un projet, en utilisant les outils habituels, avec leurs délivrables. Elle peut donner lieu à la l'utilisation du cahier de laboratoire [12] s'il est nécessaire de préserver des droits. La partie publique de la pépinière des idées en germe nous semble indispensable, elle peut prendre la forme d'une page Web, d'un espace de partage entre plusieurs groupes d'étudiants, de l'Institut en entier, etc. Elle peut aussi être mise en œuvre par le biais d'un réseau social. Notons que l'association la main à la pâte propose un blog incubateur sur sa page Web. Par ailleurs des entreprises reprennent ce qui fut la boîte à idées [13] en la mettant en ligne, par exemple Motivation Factory (www.motivationfactory.com) avec la boîte à idées 2.0. Ainsi la sérendipité peut devenir intentionnelle [14].

Le rôle des réseaux sociaux et les influences réciproques entre contemporains ont été déterminants dans le passé dans l'innovation et les inventions bien avant Internet. L'ouvrage de Francis C. Moon [15] met en évidence que les inventeurs ne furent pas des individus isolés qui travaillaient solitairement. Dans son ouvrage il propose un modèle d'analyse qui permet de caractériser une évolution dans un domaine et d'estimer le degré de maturité d'une technique.

6. CONCLUSIONS

Le CNRIUT est toujours l'occasion de rencontres dans un cadre propice aux partages d'expériences, à la confrontation des idées et aux rencontres fructueuses. Par cet article nous espérons transmettre à des collègues des éléments leur permettant de cultiver la sérendipité, cette fortuité heureuse qui nous ouvre des perspectives sur le monde et la compréhension de son fonctionnement sous un jour inattendu et totalement inconnu. Nous proposons ici quelques pistes pour constituer un environnement propice à son émergence. À partir de nos expériences différentes nous proposons des démarches de mise en valeur de ce qui pourrait être recueilli à l'occasion de déroulement de projets. Notre souhait serait que des collègues se les approprient afin de les améliorer.

7. REFERENCES

[1] Christophoro Armeno, « Voyages et aventures des trois princes de Serendip »; édité par Michele Tramezzino, Venise, 1557. Traduit en français par Louis de Mailly, édition de MDCCLXXXVIII ☞🕸☞🕸

[2] Office québécois de la langue française, « Grand Dictionnaire », fiche terminologique sur la sérendipité, ☞🕸

[3] Stephann Makri, « Accidental information discovery, cultivating serendipity in the digital age », Tammera m. Race, ,Elsevier Chandos publishing, 2016.

[4] Mickaël Gallais, « La sérendipité : présentation, typologie, applications et rôle en sciences de l'information et en documentation », mémoire DUT Septembre Bordeaux, 2007. ☞🕸

[5] Ministère de l'éducation nationale et de la jeunesse, « Le 110bis, lab d'innovation de l'éducation nationale », 2018. ☞🕸

[6] John Dewey, "How we think", D.C, Heath and CO. Publishers, 1910.

[7] Denis Guedj, « Le théorème du perroquet », Éditions du Seuil, coll., Points roman, Paris, 1998.

[8] Johannes Widmann, « Behende und hübsche Rechnung auff allen Kauffmannshafften » imprimé par Conrad Kacheloffen, 236 folios non numérotés, Leipzig, 1489. (L'édition d'Augsbourg de 1526 est en ligne, elle peut être téléchargée ☞🕸)

[9] Jérôme Gavin, Alain Schärlig, « Longtemps avant l'algèbre : la fausse position ; ou comment on a posé le faux pour connaître le vrai, des Pharaons aux temps modernes », Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 224 p., 2010.

[10] Christopher Glavin, « Problem solving », K12 Academics, 2004-2019. ☞🕸

[11] La main à la pâte, « Qu'est ce que le cahier d'expériences », 2001. ☞🕸

[12] Réseau Curie, « cahier de laboratoire national », 2007. ☞🕸

[13] Corinne Moriou, « Comment réinventer la boîte à idées dans l'entreprise ». l'Express l'Entreprise, 2013. ☞🕸

[14] Jean-Yves Garnier, « la Sérendipité intentionnelle ». ☞🕸

[15] Francis C. Moon, "Social Networks in the History of Innovation and Invention", Springer verlag, 2013/

Économie circulaire, développement durable et modélisation mathématique

Jean Vareille[1], Jean-Paul Bécar[2],

[1] UBO, Lab-STICC UMR 6285, IUT de Brest-Morlaix, département GMP, CS 93837 29238 BREST CEDEX 3

[2] UPHF, LAMAV, CNRS 2956, IUT de Valenciennes, UVHC - Campus du Mont Houy - 59313 VALENCIENNES

THEMATIQUE - Informatique - Robotique - Imagerie – Electronique – Mathématiques.

CNU 26 et 60

RESUME - La révision des programmes des DUT en 2013 a été menée en fonction des modifications du baccalauréat, et en particulier de la transformation des sections STI en STI2D. Dans cette dénomination le 2D signifie développement durable. A cette occasion la spécialité génie-civil a été renommée génie-civil construction durable. Or les modélisations formelles du développement durable et de l'économie circulaire n'ont pas été introduites dans les programmes des spécialités des DUT. Pourtant la question a fait dans le passé l'objet de nombreux ouvrages, selon différents points de vue. Nous rappelons ici le modèle de la croissance freinée, sa modélisation et proposons d'inclure dans les programmes de mathématiques des spécialités de DUT le chapitre des fonctions hyperboliques, parce qu'elles sont à même de permettre d'expliquer à la fois de nombreux phénomènes naturels mais aussi ce qui fonde l'économie circulaire en accord avec le développement durable.

Mots-clés—économie circulaire, sigmoïde, tangente hyperbolique.

1. INTRODUCTION

Notre époque est marquée par la prise de conscience d'être tous passagers d'une planète finie, vulnérable, exposée au cosmos qu'elle traverse avec fulgurance. L'ensemble des ressources terrestres ont aujourd'hui presque toutes été prospectées. Tout point nous est désormais accessible à très peu d'exceptions près. Il apparaît que notre mode de vie qui repose sur la surconsommation ne peut être étendu à toute l'humanité du fait des limites des ressources naturelles. D'autre part leur exploitation grignote les espaces sans propriétaire ni frontière que sont les océans, l'atmosphère, les pôles et saccage les terres émergées. Pour achever ce sinistre constat nous observons partout les méfaits de nos rejets polluants qui portent atteinte à la vie naturelle et dépasse ses capacités biologiques de régénération. La publication en 1972 du rapport du MIT « The Limits to Growth » [1] eut un écho mondial. Dès lors les dirigeants et les populations savaient que l'extension dans le temps à toute l'humanité du système économique et social de la civilisation de consommation se heurterait tôt ou tard aux limites terrestres [2] et qu'il serait difficile d'aller chercher ailleurs un complément. Un des aspects du problème tient dans ce que nous mélangeons la notion de valeur d'utilité d'un objet avec celle de valeur d'estime ou de l'argent permettant de se le procurer. Un autre problème provient du fait qu'un objet consommé est considéré après usage comme un déchet devant disparaître. Or notre monde est conservatif, la masse de l'objet devenu déchet subsiste, il n'a perdu que son utilité. Rien n'empêche de lui trouver un autre emploi, tel qu'il est ou bien en le transformant. Une issue du problème consiste à généraliser le recyclage, supposé redonner de la valeur d'usage à des objets. Il faut faire plus et mieux avec moins. D'où l'idée de l'économie circulaire. Mais celle-ci nécessite des investissements importants ainsi que de nombreuses recherches car malheureusement un très grand nombre de produits commercialisés et de matériaux de construction ne sont pas recyclables. D'autre part la comparaison des performances entre les matières premières et les matières recyclées sont en général en défaveur des secondes. Le recyclage est le plus souvent un sous-cyclage.

La civilisation humaine mondiale d'aujourd'hui est confrontée à l'obligation de réduire ses prélèvements sur la nature tout en conservant des structures sociales et économiques héritées des idéologies de la croissance [3].

Le gouvernement français [4][5] et l'Union Européenne [6][7] ont adopté des textes légaux pour favoriser l'économie circulaire. Des sociétés industrielles spécialisées dans la valorisation des déchets comme Dalkia travaillent en fonction de ces évolutions réglementaires [8]. Le développement durable est promu par des organisations internationales non gouvernementales comme la GRI qui édite documentations et guides. La GRI publie des indicateurs de performance relatifs aux différents piliers du développement durable, dont l'un est l'environnement [9]. Dans cet article nous abordons simplement la modélisation mathématique de ces limites de croissance.

2. LA CROISSANCE FREINEE ET SON MODELE EN FONCTIONS SIGMOÏDES

La croissance freinée a fait l'objet de travaux en particulier en génie de l'environnement [10]. Elle fut introduite par P-F. Velhust au milieu du XIXème siècle pour modéliser la croissance démographique [11][12]. Le modèle exponentiel de Malthus pour les populations ne tenait pas compte de la décroissance de la population. Dans un corps humain un virus ne se développe pas de manière infinie, son expansion est

ralentie puis annulée par les résistances immunitaires et corporelles (ou par la mort). Le professeur Adolphe Quetelet, membre de l'académie royale des sciences de Belgique demanda à l'un de ses élèves Pierre-François Verhulst de modéliser une population tenant compte des phases de croissance et de décroissance. Celui-ci proposa que la variation de population soit proportionnelle à la population elle-même et aussi proportionnelle à ce qui reste de la population. L'équation différentielle qui en résulte peut se réduire à l'expression (1) :

$$\frac{dP(t)}{dt} = (a - b\,P(t))\,P(t) \qquad (1)$$

où *P(t)* est l'effectif de la population à l'instant *t*, *a* est le taux d'accroissement sans frein, par exemple le taux de natalité moins le taux de mortalité, *bP(t)* est un facteur de freinage supposé proportionnel à l'effectif de la population, pour tenir compte par exemple de la diminution de la proportion de procréatrices dans une population vieillissante ou des capacités agricoles. Les deux coefficients a et b sont supposés positifs.

Cette équation à variables séparables se résout en les isolant. Une décomposition en éléments simples suivie d'une intégration fournit une expression de *P(t)* comme quotient de fonctions exponentielles. D'après l'expression (1) la population peut atteindre un niveau stationnaire qui correspond à une dérivée temporelle nulle, alors soit *P(t) = 0*, soit *a – bP(t) = 0*. La population stationnaire correspond alors à :

$$P_{lim} = a/b \qquad (2)$$

Dans l'expression (2) P_{lim} est la limite de *P(t)* lorsque *t* tend vers l'infini. La fonction solution de l'équation différentielle s'écrit ainsi :

$$\frac{P(t)}{P_0} = \frac{ae^{at}}{a+bP_0(e^{at}-1)} = \frac{a}{bP_0+(a-bP_0)e^{-at}} \qquad (3)$$

Dans l'expression (3) l'instant de départ correspond à *t=0* et la population initiale à cet instant est notée P_0. En général P_0 est inférieure à la population stationnaire P_{lim}. Cette fonction s'appelle fonction logistique ou fonction sigmoïde.

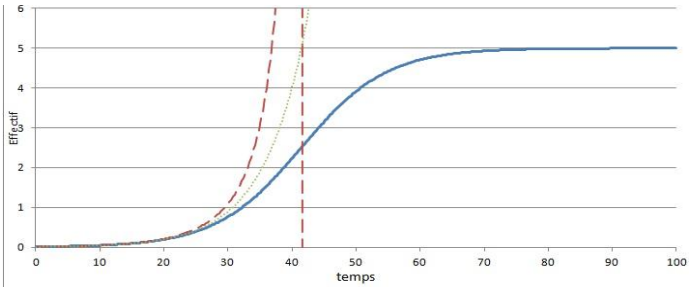


Figure 1 : Sigmoïde (courbe continue, *a= 0,15 b=0,03 Po=0,01*), exponentielle (pointillés, *b=0*), croissance accélérée (en discontinu, *b=-0.03*) avec son asymptote verticale.

Le modèle développé par Verhulst a été comparé avec succès aux statistiques de population de la Belgique et de la France [11][12]. À son époque le modèle de Laplace Gauss faisait loi en matière de modélisation, mais il n'était exploitable qu'au travers d'un usage fastidieux de tables numériques, fort heureusement remplacées aujourd'hui par des calculateurs et des logiciels dédiés. Le modèle de Verhulst, outre sa validation sur des exemples concrets, fournissait une aisance calculatoire immédiate car il faisait intervenir peu de paramètres. La détermination de leurs valeurs s'opérait à partir de quelques mesures, ce qui permettait de consacrer plus de temps à l'analyse des prévisions. Ensuite d'autres modèles démographiques plus élaborés furent développés [13]. Les fonctions sigmoïdes sont aujourd'hui largement employées dans d'autres sciences.

À l'opposé de la croissance freinée se trouve la croissance accélérée qui se produit lorsque le signe placé devant le coefficient b dans l'expression (1) est positif. La solution formelle de l'équation différentielle est identique, mais elle présente une asymptote verticale à un temps critique t_c :

$$t_c = \frac{\ln\left(\frac{a+|b|P_0}{|b|P_0}\right)}{a} \qquad (4)$$

L'instant critique de divergence t_c calculé selon (4) est l'alter ego de l'instant correspondant au point d'inflexion de la croissance freinée. Sur la figure 1 la croissance accélérée est tracée en trait discontinu avec son asymptote verticale qui coupe la sigmoïde en son point d'inflexion. L'exponentielle *(*soit *b = 0)* est tracée en pointillé entre les deux autres courbes.

La possibilité d'une croissance qui se renforce d'elle-même a fait naître bien des rêves et excité les convoitises. Au XXème siècle l'invention de la réaction en chaîne (1933), la révolution verte et les surgénérateurs nucléaires (Phoenix, 1963-2010) ont suggéré que dans certains domaines la croissance accélérée existerait, en l'occurrence l'agriculture et les productions d'énergie électrique et thermique. Or les limites d'extension de la Terre sont apparues à partir du moment où les véhicules aériens permirent de survoler toutes les parties du monde, soit 1919. Dès le début de ce siècle là de nombreux pays européens voyaient leurs croissances démographiques freiner.

3. DES FONCTIONS SIGMOÏDES AUX FONCTIONS HYPERBOLIQUES

La fonction solution (3) de l'équation différentielle (1) peut s'exprimer à l'aide de fonctions hyperboliques :

$$\frac{P(t)}{P_0} = \frac{ae^{at}}{a+bP_0(e^{at}-1)} = \frac{a\{cosh(at)+sinh(at)\}}{a+bP_0\{cosh(at)+sinh(at)-1\}} \qquad (4)$$

La fonction cosinus hyperbolique est utilisée en mécanique dans le classique calcul de la forme prise par une chaînette tendue entre deux points d'attache de même altitude, ainsi que dans la détermination des modes propres de lames vibrantes. La fonction exponentielle, les fonctions hyperboliques associées sinh, cosh, et tanh interviennent dans de nombreuses autres matières enseignés dans les IUT.

Mais ici l'emploi de la fonction tangente hyperbolique *tanh()* est préférable car elle révèle la ressemblance des géométries de leurs courbes galbées comme le montrent les figures 1 et 2 :

$$P(t) = \frac{a}{2b}\left\{1 + tanh\left[\frac{at+\ln\left(\frac{bP_0}{a-bP_0}\right)}{2}\right]\right\} \qquad (5)$$

La fonction *P(t)* apparaît dans l'expression (5) comme une tangente hyperbolique décalée verticalement de valeur $P_{lim}/2$ ayant subie une affinité orthogonale de coefficient $P_{lim}/2$ verticalement et horizontalement de coefficient ½ avec une translation de l'origine.

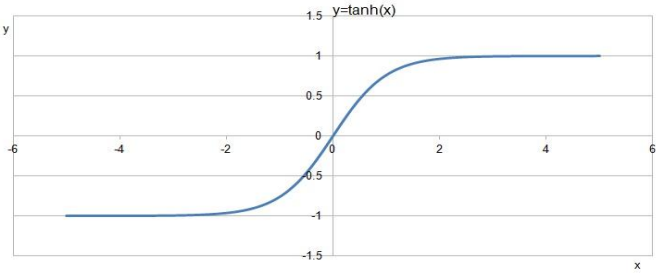


Figure 2 : Tangente hyperbolique.

Le retrait des fonctions hyperboliques dans les programmes de mathématiques de certaines spécialités est suffisamment récent pour que les cours et exercices soient encore disponibles et en ligne [14], y compris parmi les ressources du site Web IUTenligne accessibles au public. La conclusion de cette partie est qu'un retour des fonctions hyperboliques dans les programmes de mathématiques des spécialités de DUT est envisageable, surtout s'il est associé à des applications.

4. Les utilisations diverses des sigmoides

Leur emploi historique se trouve dans les études démographiques [11][12]. Elles sont aussi employées pour la croissance des végétaux, en particulier en sylviculture [15]. Les courbes en S sont très fréquentes dans les asservissements [16]. Plus récemment le deep-learning, une technique d'intelligence artificielle faisant appel aux réseaux de neurones, les emploie [17] pour calculer des pondérations. Elles sont aussi utilisées dans la conception de modèles multi-agents pour la gestion des ressources renouvelables [18], ainsi que dans une théorie récente sur la croissance économique sur Terre reposant sur la thermodynamique [19].

Comme aujourd'hui l'adoption des nouvelles technologies est très rapide, plus rapide que le renouvellement des générations humaines, les progrès successifs sont représentés comme des paliers entre lesquels le taux d'adoption est modélisé par des fonctions sigmoïdes [20][21][22][23]. Cette approche est proposée par des spécialistes du management de l'innovation.

Les nombreuses applications présentées ici ne doivent pas cacher la richesse des notions vues depuis l'équation de base de la population. Elles couvrent un large spectre dans les enseignements théoriques et pratiques des IUT. De nombreux emplois sont proposés à nos étudiants dans le domaine du génie de l'environnement [10], par exemple la société SERIP à Donzenac conçoit et produit des équipements de station d'épuration et de valorisation des déchets. Son directeur Charles Couppé a été récemment président du conseil de l'IUT du Limousin et membre de la commission pédagogique nationale des DUT GMP et QLIO.

Rappelons aussi que la réintroduction du chapitre sur les fonctions hyperboliques devrait être associée à leur emploi dans différentes matières, en gestion de projet, sans omettre les aspects légaux et règlementaires. Elle devrait aussi induire la prise en compte de la fin de vie des produits dès le début de l'étude des projets, aux travers des études des pollutions induites par les activités industrielles, les épaves [24] et leurs effets sur les écosystèmes. En outre les méthodes de développement de produits prenant en compte les indicateurs environnementaux existent, elles devraient être appliquées : éco-conception, analyse du cycle de vie (ACV) qui est normalisée ISO, la méthode de développement en X [25], etc.

5. Conclusions

En vertu de la loi Française n° 2015-992 du 17 août 2015, de la directive Européenne (UE) 2018/851 du 30 mai 2018, au nom de l'économie circulaire et du développement durable, nous proposons de rétablir dans les programmes de la majorité des DUT et des licences professionnelles des IUT, si ce n'est tous, le chapitre de mathématique relatif aux fonctions hyperboliques, car depuis 2013 il n'est hélas plus au programme que des deux spécialités : GCGP (Génie Chimique et Génie des Procédés) et GTE (Génie Thermique et Énergie). Ce rétablissement durable doit être accompagné par les collègues qui enseignent les matières de cœur de métier concernées et qui encadrent des projets.

6. References

[1] Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jtsrgen Randers, William W. Behrens III, "The limits to growth, a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind", MIT, 1972.

[2] Virginie Raisson, Tarik El Aktaa, « 2033, atlas des futurs du monde » Laffont, Paris, 2010.

[3] Henri Lefebvre, « Les idéologies de la croissance », In: L'Homme et la société, N. 27, Sociologie idéologie et politique, pp 3-17, 1973.

[4] Constitution française, « Loi constitutionnelle n° 2005-205 du 1er mars 2005 relative à la Charte de l'environnement », JORF n°0051 du 2 mars 2005 page 3697, 2005.

[5] Loi française, « LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte », JORF n°0189 du 18 août 2015 page 14263, 2015.

[6] Union Européenne, « DIRECTIVE (UE) 2018/851 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL », 30 mai 2018.

[7] Union Européenne, « Économie circulaire: les nouvelles règles adoptées par l'Union européenne feront d'elle le chef de file au niveau mondial dans le domaine de la gestion et du recyclage des déchets », communiqué de presse du 22 mai 2018.

[8] Société Dalkia, « Économie circulaire, faire plus et mieux avec moins », dossier, 2017.

[9] Global Reporting Initiative (GRI), « Indicateurs & protocoles : Environnement », 2006.

[10] Lucien Yves Maystre, « Initiations aux calculs économiques pour les ingénieurs, PPUR, 1997.

[11] Pierre-François Verlhust, « Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement. » Correspondance Mathématique et Physique, 1838.

[12] Pierre-François Verhulst, « Recherches mathématiques sur la loi d'accroissement de la population. », Nouveaux mémoires de l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres de Bruxelles, vol.XVIII, 1-45, 1845.

[13] Alain Hillion, « Les théories mathématiques des populations », PUF, collection Que sais-je ?, Paris, 1986.

[14] Mickaël Lescop, page Web pour les étudiants du département GMP de l'IUT de Brest-Morlaix, 2018.

[15] Cyrille Rathgeber, Laurence Blanc, Christian Ripert & Michel Vennetier, « Modélisation de la croissance en hauteur du pin d'Alep Pinus halepensis Mill en région méditerranéenne française », ecologia mediterranea, tome 30, fascicule 2, p. 205-218, 2004.

[16] Jean Duplaix, « Régulation Industrielle, boucle ouverte », Automatique : Asservissement et Régulation (AU3), IUT en ligne, à partir du cours de seconde année GEII IUT de Toulon.

[17] Philippe Besse, « Les réseaux de neurones », wikistat, Statistique & Machine Learning de Statisticien à Data Scientist , Toulouse, 2018.

[18] Pierre Bommel, « Définition d'un cadre méthodologique pour la conception de modèles multi-agents adaptée à la gestion des ressources renouvelables », PhD, Université de Montpellier II, 2009.

[19] Timothy J. Garrett, "Thermodynamics of long-run economic innovation and growth", arXiv:1306.3554 [q-fin.GN], 2013.

[20] Ron Neumann, "Innovation ans the S-Curve, practical tips for managing innovation within your company", 2013 Lift conference : driving innovation based growth, mars 2013.

[21] Ciel S.Cantoria, "Explaining the S-Curve Theory & Analysis as Metrics Tools for Project Management", Bright Up Project Management, 2010.

[22] Andreas Roderburga, Fritz Klockea, Philip Koshy, "Principles of technology evolutions for manufacturing process design", Procedia Engineering 9 (2011) 294–310, 2011.

[23] Shohreh Ghorbani, "Common uses of S-Curves", Project Control Academy, 24 juin 2017.

[24] Camille Mazoyer, « Modélisation des flux et du transport de polluants en rade de Toulon », PhD, Université de Toulon, 2019.

[25] Mehdi Tahan, Amara Touil, Jean Vareille, Philippe Le Parc, «La méthode de développement en X, un autre point de vue sur le cycle de vie», CFM2011, Besançon, 2011.

Détection de fortes collisions pour robots humanoïdes : application au robot NAO

Vincent Hugel
vincent.hugel@univ-tln.fr

Université de Toulon, COSMER, Toulon, France
Département GMP, IUT de Toulon

Thèmes – *Robotique*

Résumé – *Cet article est dédié au développement d'algorithmes de détection de collision par l'emploi de capteurs proprioceptifs d'un robot humanoïde. L'objectif est de permettre au robot d'anticiper les ruptures d'équilibre suite à des collisions sur la partie arrière ou avant de la partie supérieure du robot qui peuvent survenir lors de matches de football à la RoboCup. Deux types de critères sont utilisés pour la détection, à savoir la comparaison entre les positions du centre de pression (CoP) et du point de moment horizontal nul (Zero Moment Point - ZMP), et l'évaluation de l'énergie cinétique transmise au robot juste après collision. L'estimation de l'énergie cinétique permet de minimiser le temps de détection de la collisions, laissant ainsi plus de temps au robot pour réagir. L'algorithme proposé est évalué dans une série d'expériences avec l'humanoïde NAO où le robot est soumis à des collisions frontales et dorsales avec une balle de fitness utilisée comme pendule.*

Mots-clés – *robotique humanoïde, détection de chocs, maintien de l'équilibre.*

1 Introduction

Le maintien de l'équilibre est un enjeu fondamental pour les robots humanoïdes dont l'objectif est d'interagir physiquement avec des humains. Ces robots doivent être capables de se déplacer de manière autonome en toute sécurité, et de résister à des perturbations fortes de l'équilibre soit en adoptant un mouvement du corps [1, 2], soit en déclenchant des pas réflexe. L'exemple typique est la pratique du football qui engendre des collisions entre joueurs, qui sont souvent frontales ou dorsales. La première étape du maintien d'équilibre consiste par conséquent à détecter le choc le plus tôt possible afin de réagir dans les meilleures conditions. En cas de rupture d'équilibre irrattrapable, il existe des stratégies de chute visant à limiter les dommages en changeant de direction, ou en déclenchant des mouvements adaptés de recroquevillement [3, 4].

Lee et al. [5] ont utilisé un contrôle de l'équilibre basé sur le moment dynamique en utilisant le centre de pression et la force de réaction au sol désirée. Borovac et al. [6] ont classé les perturbations selon le niveau de sévérité par l'utilisation du point de moment horizontal nul, et ont proposé un mouvement compensatoire pour chaque classe. Kalyanakrishnan et al. ont opté pour des méthodes d'apprentissage [7], Hengst et al. [8] pour des méthodes d'apprentissage par renforcement afin d'éviter la chute. Alcaraz-Jiménez et al. [9] ont proposé une technique basée sur le contrôle prédictif avec une boucle fermée sur la vitesse angulaire ; cette technique permet d'adapter les prochaines étapes de marche après la perturbation pour garder l'équilibre. Ce travail s'est appuyé sur le contrôle prédictif du ZMP imaginé par Kajita et al. [10].

La suite de cet article décrit les techniques utilisées pour la détection de collisions grâce à la comparaison du ZMP avec le CoP, et au moyen de l'estimation de l'énergie cinétique transmise au robot au moment de l'impact. Il présente ensuite les expériences réalisées avec le robot NAO et les résultats obtenus.

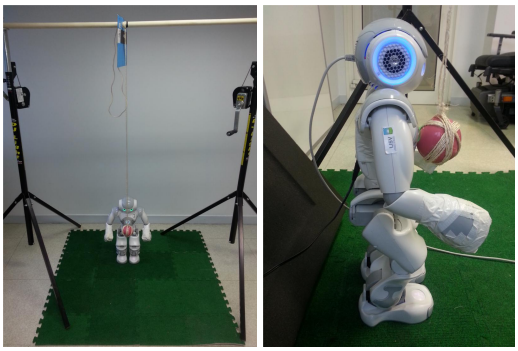


FIGURE 1 – Expérimentation de collision à l'aide d'une balle de fitness suspendue lâchée d'un angle déterminé

2 Méthodes de détection

2.1 Comparaison du ZMP avec le CoP

Le centre de pression est mesuré grâce aux quatre capteurs résistifs de force situés sous chaque pied. Le ZMP est calculé à partir de la position du centre de masse du robot et de l'accélération mesurée par l'accéléromètre 3 axes situé à l'intérieur du torse du robot. Pour obtenir ces deux points par rapport à un référentiel fixe externe, nous supposons que les articulations du robot restent rigides et que la collision entraîne un basculement du robot autour d'un point appartenant à la circonférence de l'une des semelles du pied. Les angles de tangage et de roulis du torse mesurés par la centrale gyromètre/accéléromètre permettent de passer du référentiel du torse au référentiel externe, en utilisant le modèle géométrique du robot.

La valeur du centre de pression reste valable tant que la plante des pieds reste à plat au sol. Lorsque le robot commence à basculer après une forte collision, le centre de pression ne peut plus être considéré comme fiable puisque le contact de la plante du pied avec le sol est réduit à une partie de la circonférence du pied. Cependant, le ZMP peut toujours être calculé. Lorsque la semelle du pied reste en contact avec le sol, le CoP et le ZMP sont confondus en un même point de la surface de contact. Par conséquent, la comparaison de leurs emplacements respectifs permet de détecter la perturbation produite par la collision.

2.2 Estimation de l'énergie cinétique

La méthode de la comparaison ZMP/CoP donne des résultats satisfaisants mais la détection reste sensible aux vibrations du sol qui peuvent provoquer de faux positifs. On introduit alors un critère alternatif de détection basé sur l'énergie, en utilisant la mesure de la vitesse angulaire du torse. La collision provoque un échange d'énergie entre l'objet et le robot, et l'énergie cinétique de rotation transmise lors de l'impact est calculée comme suit :

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m\, V^2 = \frac{1}{2} m\, h^2 \dot{\theta}^2 \tag{1}$$

où m est la masse du robot NAO, et V la vitesse linéaire instantanée du centre de masse (CM), le robot étant considéré comme rigide. La vitesse angulaire $\dot{\theta}$ peut être mesurée directement à partir du capteur gyrométrique embarqué. Cependant, les valeurs mesurées restent très bruitées quelques millisecondes suivant l'impact et peuvent atteindre des valeurs physiquement irréalistes. L'idée consiste donc à utiliser pendant ce laps de temps la mesure des angles articulaires dans le modèle cinématique direct du robot pour calculer la vitesse angulaire du torse. En effet, les capteurs angulaires articulaires sont moins sensibles à l'impact et permettent une estimation plus précise de la vitesse angulaire. Mais ceci n'est valable que si la plante des pieds reste en contact avec le sol. Par conséquent, nous pouvons filtrer

la vitesse angulaire comme étant proche de la vitesse obtenue "cinématiquement" juste après l'impact, et compter sur le gyromètre quelques millisecondes après. La vitesse angulaire filtrée peut alors s'exprimer de la manière suivante :

$$\dot{\theta}^2_{filter} = K\dot{\theta}^2_{gyro} + (1-K)\dot{\theta}^2_{dkm} \quad (2)$$

où $\dot{\theta}_{gyro}$ et $\dot{\theta}_{dkm}$ sont respectivement la vitesse angulaire mesurée par le gyromètre et celle calculée par le modèle cinématique direct, K est le coefficient du filtre, variable.

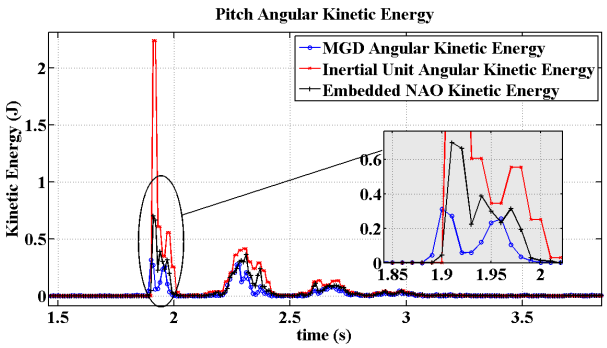


FIGURE 2 – Energies cinétiques angulaires

La figure 2 représente l'énergie cinétique angulaire filtrée telle qu'incorporée dans le robot, en comparaison avec les deux énergies cinétiques (gyromètre et modèle cinématique). La détection de collision est déclenchée sur un dépassement de seuil dont la valeur est déterminée expérimentalement.

3 Resultats et conclusion

TABLE 1 – Délais de détection (ms)

Angle initial	ZMP/CoP	Energie cinétique
23 °	63	22
33 °	55	28
40 °	42	14
47 °	36	10

Le délai de détection de la collision varie entre 36[ms] et 63[ms] avec la méthode CoP/ZMP, et entre 10[ms] et 28[ms] avec la méthode de l'énergie cinétique, soit un gain de 30[ms] en moyenne, permettant de déclencher un mouvement de réaction plus tôt. La détection de collision a été suivie d'un mouvement réflexe du tronc et des chevilles intégré dans le robot. Les expériences menées ont montré que la solution proposée peut améliorer la réaction du robot en réduisant l'oscillation perturbatrice à une demi-période et en réduisant le nombre de chutes en cas de fortes collisions.

Les études futures se concentreront sur la fusion des données proprioceptives afin d'accélérer le temps de détection, et sur la conception de mouvements réactifs incluant des pas réflexe en fonction de la sévérité du choc reçu.

Références

[1] Stefan Glaser and Klaus Dorer. Trunk controlled motion framework. In *IEEE International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)*, 2013.

[2] E. M. Hoffman, N. Perrin, N. G. Tsagarakis, and D. G. Caldwell. Upper limb compliant strategy exploiting external physical constraints. In *IEEE Int. Conf. on Hum. Rob. (Humanoids)*, 2013.

[3] A. Goswami, S.-K. Yun, U. Nagarajan, S-H. Lee, Ka. Yin, and S. Kalyanakrishnan. Direction-changing fall control of humanoid robots : theory and experiments. *Aut. Rob.*, 36(3) :199–223, 2014.

[4] S-K. Yun and A. Goswami. Hardware experiments of humanoid robot safe fall using aldebaran nao. In *IEEE Int. Conf. Rob. and Aut.*, pages 71–78. IEEE, 2012.

[5] S-H. Lee and A. Goswami. Ground reaction force control at each foot : A momentum-based humanoid balance controller for non-level and non-stationary ground. In *IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems*, pages 3157–3162. IEEE, 2010.

[6] B. Borovac, M. Nikolić, and M. Raković. How to compensate for the disturbances that jeopardize dynamic balance of a humanoid robot ? *Int. J. of Humanoid Robotics*, 8(03) :533–578, 2011.

[7] S. Kalyanakrishnan and A. Goswami. Learning to predict humanoid fall. *Int. J. of Hum. Rob.*, 8(02) :245–273, 2011.

[8] B. Hengst, M. Lange, and B. White. Learning ankle-tilt and foot-placement control for flat-footed bipedal balancing and walking. In *11th IEEE-RAS Int. Conf. on Hum. Rob. (Humanoids)*, pages 288–293. IEEE, 2011.

[9] J.J. Alcaraz-Jiménez, M. Missura, H. Martínez-Barberá, and S. Behnke. Lateral disturbance rejection for the nao robot. In *RoboCup 2012 : Robot Soccer World Cup XVI*, pages 1–12. Springer, 2013.

[10] S. Kajita, F. Kanehiro, K. Kaneko, and al. Biped walking pattern generation by using preview control of zero-moment point. In *Proc. IEEE Int. Conf. Rob. and Aut., 2003*, volume 2, pages 1620–1626. IEEE, 2003.

Adaptive Functional Electrical Stimulation (AFES) to Increase Ankle Dorsiflexion in Spastic Paresis

Carlos CANCHOLA-HERNANDEZ[1], Weiguang HUO[1], Mouna GHEDIRA[2], Emilie HUTIN[2], Jean-Michel GRACIES[2], Samer MOHAMMED[1]
carlos.canchola-hernandez@u-pec.fr

[1]LISSI Lab, University of Paris-Est Créteil, Vitry-sur-Seine, France,
[2]Laboratoire Analyse et Restauration du Mouvement, EA 7377, BIOTN, HU Henri MONDOR, AP-HP, UPEC

Thèmes – *Systèmes adaptatifs pour l'assistance à la mobilité.*

Résumé – *The present work explores the use of adaptive Functional Electrical Stimulation (FES) to address the foot-drop effects of paretic patients during the swing phase. The rationale behind the adaptive FES is to amplify dorsiflexor stimulation in the late swing when it is most needed in order to face the increased plantar flexor co-contraction as gastrocnemius muscles are stretched by knee re-extension. In this study, three different FES profiles were applied and analyzed. The classical FES (characterized by high stimulation intensity leading to premature fatigue) was compared with two different profiles of adaptive Functional Electrical Stiulation (AFES). The first AFES profile provides stimualtion below the movement threshold, while the latter provides a range of motion of 20 degress with the maximum stimulation intensity. The clinical experimental results reveal that AFES provides an increased dorsiflexion during the initial swing while FES performs better for the mid and terminal swing phases.*

Mots-clés – *Adaptive stimulation, ankle, dorsiflexion, drop-foot.*

1 Introduction

Functional Electrical Stimulation (FES) of the peroneal nerve has long been proposed to improve ankle dorsiflexion during swing phase of gait in hemiparesis [2]. The present study focuses on the analyses of three different profiles of stimulation to assess the long-term effects of a knee joint angle-based adaptive FES (AFES) assistance compared with respect to a conventional or trapezoidal stimulation that is mostly used in clinical settings and may lead to a fast muscular fatigue. The rationale behind the adaptive FES is to amplify the stimulation to face the increased plantar flexor co-contraction during late swing as gastrocnemius muscles are stretched by knee re-extension [3, 5].

2 Methods

Six subjects with chronic hemiparesis participated in the preliminary results of this tests. The time since lesion is 4±3 years (mean±SD). The subjects were randomly assigned to three different groups :

1. Placebo (AFES stimulation provided below movement threshold), 1 patient.
2. Classical FES (trapezoidal stimulus), 1 patient.
3. Adaptive FES, 4 patients.

The stimulus intensity profiles of the AFES is shown below :

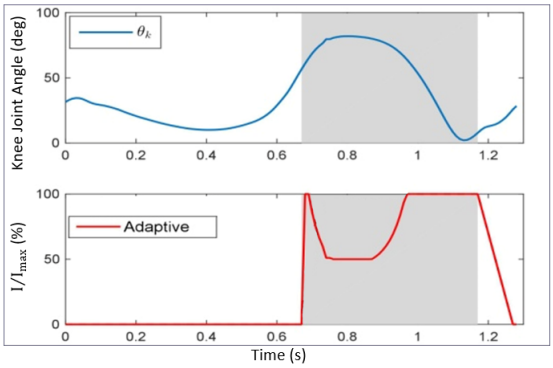


FIGURE 1 – AFES Profile of stimulus intensity in relation to the knee flexion

As figure 1 illustrates, the stimulation is only provided during the swing phase of the gait cycle (indicated by the gray area). The knee flexion angle is indicated in blue (top) and the red plot corresponds to the stimulation profile of AFES (bottom). The maximum value of the stimulation occurs at the minimum threshold of the knee flexion. Therefore, the maximum stimulation will be provided at the initial and final stage of the swing phase.

3 Systems

For this study, two different stimulation systems were used, the AFES system developed at LISSI [1] and a classical trapezoidal stimulation provided by a commercially available device. The AFES system consists of the following :

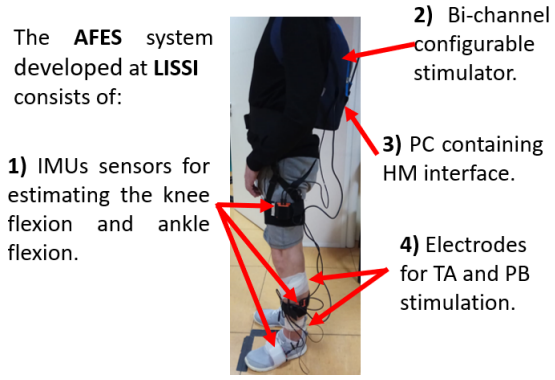


FIGURE 2 – AFES system characteristics

The AFES system is both used to generate the AFES stimulation (group 3) and the placebo stimulation (group 1). The AFES stimulation is directly compared with respect to the conventional profile (commercially available device).

The peroneal nerve is stimulated during the swing phase at comfortable speed in two particular muscles : Tibialis Anterior (TA) and Peroneus Brevis (PB). The stimulation of the TA will generate an induced dorsiflexion movement. Evaluation of the groups is done with and without stimulation taking into account the following key events :

1. Maximum dorsiflexion during swing phase (initial, medium and terminal).
2. Maximum knee flexion during swing phase.

4 Results

The results of comparing the ankle dorsiflexion with and without stimulation for the three groups (knee and ankle joint angles) is shown in the table 1.

TABLE 1 – Average Increased Ankle Dorsiflexion Angles

Phases	**AFES**	**FES**	**Placebo**
Initial swing	2.33	1.52	1.16
Mid swing	2.99	4.88	1.64
Final swing	3.61	6.53	1.14

As figure 3 demonstrates, the stimulation of TA and PB with reduced current (placebo) generates a non-significant increse in the ankle dorsiflexion. B oth, c onventional and

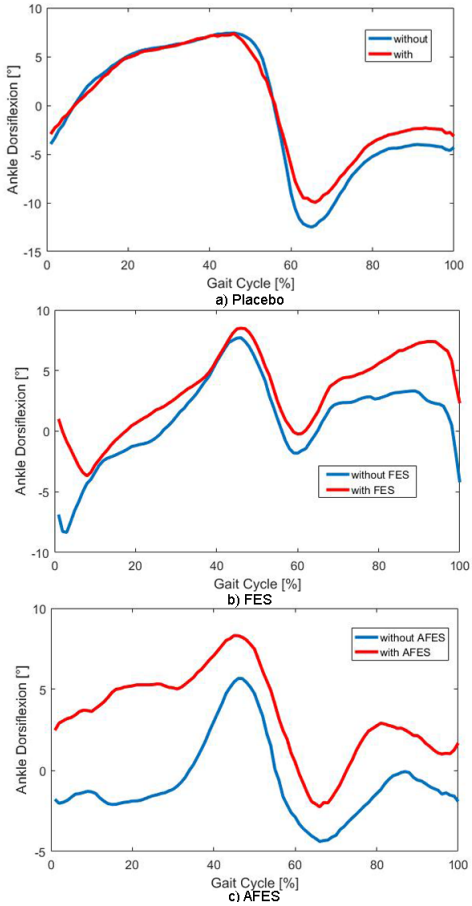


FIGURE 3 – Experimetal results ok ankle dosiflexion conducted for 6 subjects.

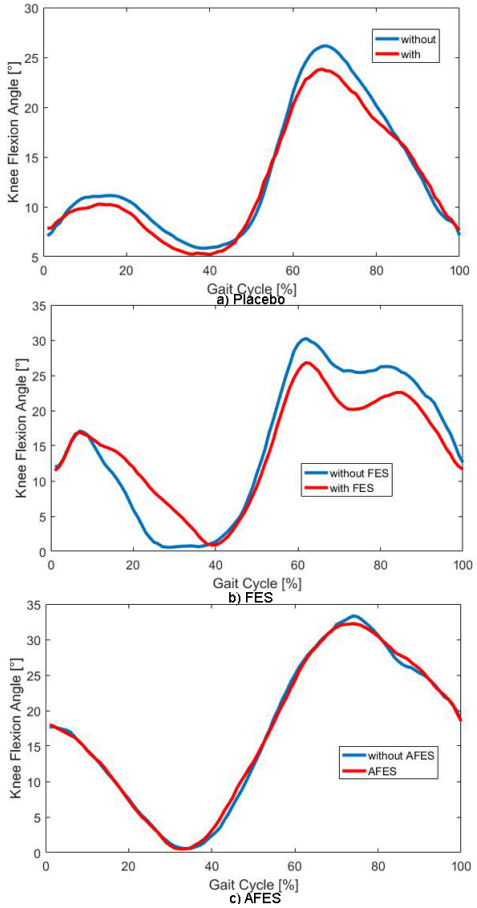


FIGURE 4 – Experimetal results of knee flexion conducted for 6 subjects.

adaptive FES are able to increase the ankle dorsiflexion, but retaining the same range of motion for the ankle. Adaptive stimulation provides a better increase of dorsiflexion during the early swing, while the conventional FES provides a considerable increase for the mid and terminal sub-phases of the swing.

5 Conclusions

Both, classical and adaptive FES increase ankle dorsiflexion during swing phase in hemiparesis. These first case studies suggest higher effect of adaptive FES compared to trapezoidal FES in early swing. In contrast, conventional FES provides a considerable increase for the mid and terminal sub-phases of the swing. The AFES used lower stimulation intensity.

Références

[1] W. Huo, V. Arnez-Paniagua, M. Ghedira, Y. Amirat, J. Gracies and S. Mohammed *Adaptive FES Assistance Using a Novel Gait Phase Detection Approach.* 2018 IEEE/RSJ IROS, Madrid, 2018, pp. 1-9.

[2] Liberson WT, Holmquest HJ, Scot D, Dow M. *Functional electrotherapy : stimulation of the peroneal nerve synchronized with the swing phase of the gait of hemiplegic patients.* Arch Phys Med Rehabil. 1961 ;42:101-105.

[3] Gracies JM. *Pathophysiology of spastic paresis. II : Emergence of muscle overactivity.*, Muscle Nerve. 2005 ;31(5):552-571.

[4] Vinti M, Couillandre A, Hausselle J, Bayle N, Primerano A, Merlo A, Hutin E, Gracies JM. *Influence of effort intensity and gastrocnemius stretch on co-contraction and torque production in the healthy and paretic ankle.* Clin Neurophysiol. 2013 ;124(3):528-535.

[5] Ghedira M, Gracies JM, Mardale V, Loche CM, Albertsen IM, Bayle N, Hutin E. *Spastic cocontraction of plantar flexors during swing phase of gait in chronic hemiparesis.* Ann Phys Rehabil Med. 2016 ;59S:e72-e73.

RoboCup 2019 : University and IUT Toulon RCT Team Presentation

Valentin Gies, Valentin Barchasz, Nicolas Hinden, Thierry Soriano
Quentin Rousset, Jean-Marc Herve, Quentin Baucher
Sevan Larue, Guillaume Borowicz, Baptiste Talaron, and al.
gies@univ-tln.fr - barchasz@univ-tln.fr

IUT GEII Toulon, IUT GMP Toulon - Université de Toulon, La Garde, France
Laboratoire IM2NP, Université de Toulon, CNRS, IM2NP - UMR 7334, Toulon, France
Laboratoire COSMER, Université de Toulon, EA 7398, Toulon, France

Thèmes – *Informatique - Robotique - Vision - Intelligence Artificielle - Électronique - Mécanique*

Résumé – *Robot Club Toulon is a new Middle-Size League team from IUT Toulon and University of Toulon participating in the RoboCup 2019. For its first participation to this Robot Soccer World Cup, a whole robot team has been developped from scratch.*
This paper explains the architecture of our robots with the technologies and research fields involved in the project.

Mots-clés – *RoboCup, Robotic, Positioning, Vision, Artificial Intelligence, Real-Time Control, Path Planning,*

1 Introduction

RoboCup is an international robots competition considered as the Robot World Cup. In RoboCup Middle Size League, the goal is to play soccer with a team of 5 autonomous cooperative robots (50cm * 50cm * 80cm each).
For the first time, Robot Club Toulon (RCT) representing University of Toulon and IUT Toulon has qualified for the competition in Australia. Even if we have no experience in the RoboCup, our team is a confirmed one, participating in several robot competitions for the last 5 years, with 4 titles in the French Institute of Technology National Cup (link to RTC results).

This paper describes shortly most of the parts of our soccer robots.

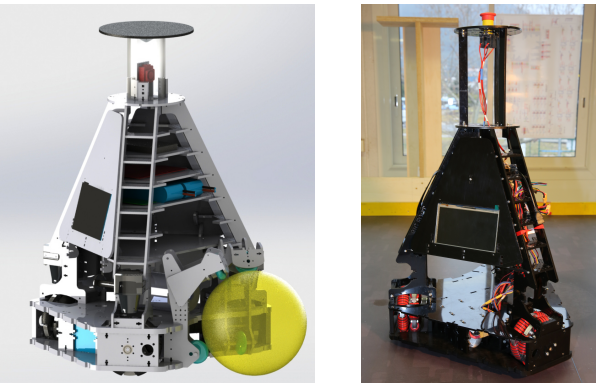


FIGURE 1 – Pictures of the 2019 robot of Robot Club Toulon Team.

2 Robot Platform

Our robots have been entirely designed by our team. They are strongly inspired by existing robots designs [1, 2], using a 3-wheels omnidirectional platform having a pyramid shape, with a coil gun kicking system and a ball control. Featuring an embedded computer, they are controlled using advanced techniques such as Kalman filters for positioning, deep learning for vision or reinforcement learning for strategy.

2.1 Electronics

Architecture of the robot relies on a cortex composed by an **embedded computer** interfacing advanced sensors such as two LIDARs and an omnidirectional camera for positioning, scene analysis and collision avoidance, and communicating with **a peripheral board** for interfacing actuators and simple sensors as shown in Fig. 2. The kicking system is a **third board**, independent for development and safety reasons due to high voltage.

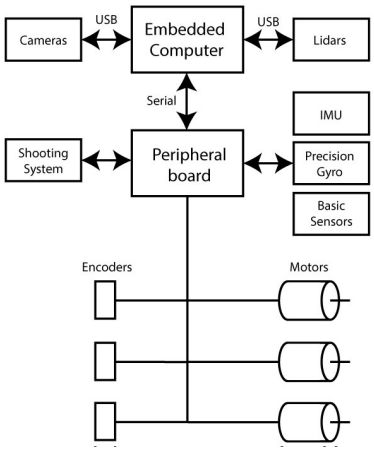


FIGURE 2 – RCT robots electronic bio-inspired architecture

This architecture is bio-inspired : the cortex of the system is an embedded computer able to perform complex tasks, whereas most repetitive tasks (autonomic nervous system) such as sensor management are using dedicated hardware from the peripheral board. An **embedded computer** programmed in C# is used for high level sensor processing and behavior coordination such as artificial intelligence (AI). The **peripheral board** is a home-designed one able to drive six 150W motors, 8 quadrature encoders and basic sensors.

2.2 Hardware and mechanical features

Mechanical design of RCT robots is a 3-wheel omnidirectional robot driven by independent 150W Maxon RE40 motors having a gearbox ratio of 1 :19. It embeds a kicking system using a coil gun. Moving part is a 20mm of diameter iron bar sliding in a stainless steel tube. On the stainless steel tube a magnetic circuit has been added in soft iron on order to channelling magnetic field lines. Inside this magnetic circuit, a 1200 loops coil has been wound around the stainless steel tube using 1.25mm diameter isolated copper wire.
This kicking system has been designed and validated using a finite elements simulator as shown in Fig. 3, in order to calculate the inductor value for each position of the iron bar in the stainless steel tube. Then the differential equation characterizing the position and speed of the iron bar over the time as been solved numerically in order to find the best initial position of the iron bar for maximizing the kicking strength.

3 Software

Software architecture of our robots is explained in Fig.4.

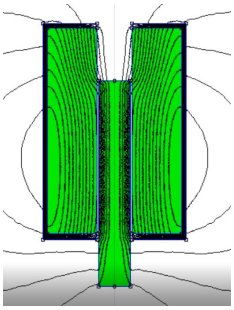


FIGURE 3 – Magnetic field simulation using a finite elements software.

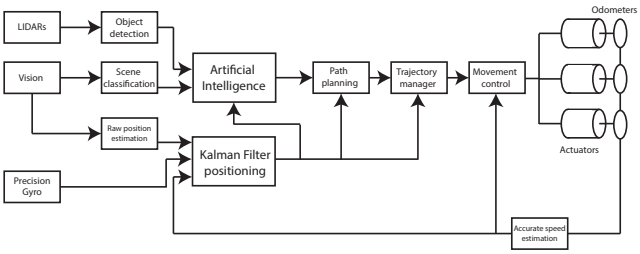


FIGURE 4 – Software architecture.

3.1 Positioning, path planning and trajectory generation

Movement are based on AI strategy decisions using deep-learning and on accurate positioning calculated by Kalman filter. Moves are performed in three step : path planning, trajectory management and movement control.

3.1.1 Positioning

Probably the most important part of the robot software, accurate positioning is done using a Kalman filter. An extremely interesting example has been described in [3]. This implementation is a two stages one using extended Kalman filters. In order to limit computation time and to let more CPU resources available for other tasks, we have designed Kalman filter for our robot, having in input x_{camera}, y_{camera}, θ_{camera}, $\dot{x}_{odometry}$, $\dot{y}_{odometry}$, $\dot{\theta}_{odometry}$, $\dot{\theta}_{gyro}$. In order to have a linear model, all the variables have to be calculated in the soccer field referential, resulting in a linear implementation of the Kalman filter. Implemented and tested, it leads to an error of less than 2 cm in positioning.

3.1.2 Path Planning

is necessary for determining the path to the current destination to be reached by the robot in order to follow the AI strategy. This path is calculated by AI using a A* path finding algorithm in order to check whether they can be reached or not in a defined time limit. A* algorithm is fed in real time data from both LIDARs, image processing and positioning. It takes about $1ms$ to compute in *C#* a path on a 220*140 grid having a cell size of 10 cm by 10 cm and used for mapping the MSL field (22m*14m).

3.1.3 Trajectory management

is used for obtaining a smooth movement using minimum jerk algorithms [4, 5] and following the path returned by the path planner.

To minimize jerk, trajectories in X, Y and θ in the field referential are following a 6th order polynom determined by solving a set of 6 equations obtained by specifying initial and final conditions about position, speed and acceleration. Polynoms are calculated (it is only a matrix inversion) in real time for each update of the move to be done by the robot ensuring a smooth movement in every directions.

3.2 Perception and vision

Perception of the environment is done by using deep learning algorithms such as *Yolo*, and combining redundant high semantic level sensors such as omnidirectional camera and LIDARs. This allows to make the most of the sensors on different situations. For example, omnidirectional camera image analysis is very useful when working on objects in a same geometrical plane (for example determining position using the soccer field lines), but less efficient when working with 3D objects far from the robot as shown in Fig.6. At the opposite, objects in 3D are very well detected by LIDAR with a statistical error of ±20mm whereas objects in an horizontal plane will not be detected by a LIDAR working on an horizontal plane too. For theses reasons, combining cameras with LIDARs is particularly interesting.

3.2.1 Omnidirectional vision system

Omnivision system has been designed by our team and cut and polished at the mechanical department of IUT GMP Toulon as shown in Fig. 5. Mirror has been calculated using finite element modelling with the following constraints : seeing a 10 meter radius circle around the robot from 75cm atop the ground with the smallest possible distortion, meaning that 2 equal horizontal distances anywhere in the scene have to be equal in the final image. Mirror has been calculated in software using a home-made finite elements model and simulated using Solidworks rendering tool has shown in Fig. 6.

System used for vision is a Jevois smart machine vision camera which is a combination of an OV7725 camera sensor and a quad-core ARM M7 embedded CPU implemen-

FIGURE 5 – Mirror making on a CNC production system at IUT GMP Toulon.

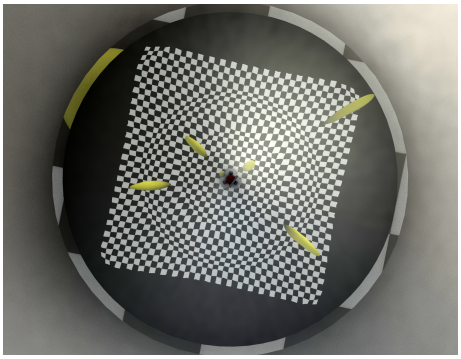


FIGURE 6 – Simulation image seen by the camera of the robot over a black and white checker board with yellow balls.

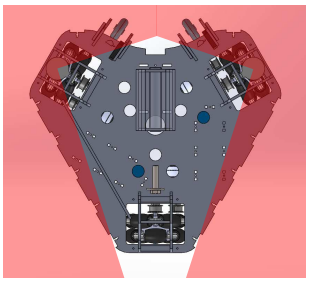


FIGURE 7 – Sectional view form top at LIDARs level. LIDARs active zones are in red.

ting Open CV and deep learning frameworks such as Tensor Flow or Yolo.

3.2.2 LIDARs

Two SICK TIM561 LIDARs are used in each robot in order to have a 360°view around the robots as shown in Fig. 7. Each LIDAR has a perception angle of 270°. Combining both of them gives an omnidirectional range view of the scene in any situation with very few occlusion.

LIDARs are used to predetermine a list of objects around the robot. This list is then cross-checked with the vision system analysis of the scene in order to determine obstacles such as opponent robots or the ball.

4 Conclusion

Participating in the RoboCup for a first year is a huge challenge. Many scientific fields have to be addressed in the same time : mechanics, electronics, embedded programming, AI, and a lot more including more unusual activities such as producing mirrors. Thanks to the help of other teams, we have succeede in beeing qualified for the competition in Australia from July 2nd to 8th 2019.

Acknowledgment

We would particularly like to thank *Toulon University* and *IUT Toulon* for their unfailing and ongoing support in this technological adventure. We would also like to thank SICK company for providing us top-end quality LIDARs and sensors, and to the technology platform of Toulon University named SMIoT (Scientific Microsystems for Internet of Things) for its support in electronics and mechanics.

Many thanks also to all the staff and colleagues supporting us every day at Toulon IUT in GEII and GMP departments.

Références

[1] Ferry Schoenmakers, Koen Meessen, Yanick Douven, Harrie van de Loo, Dennis Bruijnen, Wouter Aangenent, Jorrit Olthuis, Wouter Houtman, Cas de Groot, Marzieh Dolatabadi Farahani, Peter van Lith, Pim Scheers, Ruben Sommer, Bob van Ninhuijs, Patrick van Brakel, Jordy Senden, Marjon van 't Klooster, Wouter Kuijpers, , and Ren´e van de Molengraft. Tech united eindhoven team description 2018. 2018.

[2] R. Dias, F. Amaral, J. L. Azevedo, M. Azevedo, B. Cunha, P. Dias, N. Lau, A. J. R. Neves, E. Pedrosa, A. Pereira, F. Pinto, D. Silva, J. Silva, and E. Sousa. Cambada team description 2017. 2017.

[3] Johan Kon, M.J.G Van de Molengraft, and W. Houtman. Planar pose and velocity estimation of a soccer robot. a two-stage kalman filter approach using odometry, vision and imu data. *Bachelor End Project*, 2018.

[4] K. J. Kyriakopoulos and G. N. Saridis. Minimum jerk path generation. In *Proceedings. 1988 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 364–369 vol.1, April 1988.

[5] Mika's coding blog. Trajectory generation with a minimum jerk trajectory. https ://mika-s.github.io/python/control-theory/trajectory-generation/2017/12/06/trajectory-generation-with-a-minimum-jerk-trajectory.html.

Etude du comportement d'un réseau électrique utilisé pour la transmission de données numériques

Ismail Aouichak[1], Imene Elfeki[2],Yves Raingeaud[3], Jean-Charles Le Bunetel[4]
[1,3,4] IUT de Tours, Université de Tours,
[1,2,3,4] Groupement de Recherche En Matériaux Microélectronique, Acoustique et Nanotechnologie, UMR 7347

THEMATIQUE - Informatique - Robotique - Imagerie - Electronique

RESUME - Le présent article illustre l'utilisation du réseau électrique comme support de communication pour transmettre des données numériques ou de contrôle entre un émetteur et un récepteur. Le principe utilisé se nomme le « courant porteur en ligne » (CPL). Un signal haute fréquence (kHz) est superposé au signal électrique 50Hz-230V. Plusieurs problématiques sont présentées. La première résulte de la difficulté de mesurer les paramètres caractérisant le réseau électrique. La seconde est de reproduire en laboratoire le comportement du réseau électrique. Différents outils de calcul ont été développés pour identifier le réseau électrique et pour simuler la transmission de données sur le réseau à l'extérieur comme à l'intérieur des habitations. Les résultats obtenus sont conformes à ceux obtenus sur le terrain. Ce travail offre la possibilité d'analyser les performances des boitiers de transmission CPL avant de les déployer chez les particuliers et sur le réseau électrique réel.

Mots-clés— Courant porteur en ligne, atténuation, perturbation

1. INTRODUCTION

La consommation électrique des ménages et des entreprises augmente continuellement d'année en année impliquant un nécessaire de renforcement du réseau électrique pour satisfaire la demande croissante en énergie électrique. Une solution pour éviter ou retarder ces gros travaux de renforcement du réseau électrique consiste en une gestion plus intelligente des consommations électriques et des productions renouvelables sur le réseau basse tension. Cette gestion repose sur le contrôle à distance de la consommation des entreprises et/ou des particuliers en fonction de la disponibilité d'énergie produite localement. Le réseau électrique peut alors être utilisé comme support pour véhiculer les commandes (à distance) entre le gestionnaire du réseau et le consommateur.

En parallèle, le développement d'appareils électriques connectés dans l'habitat permet d'envisager une gestion intelligente de la consommation en fonction du tarif de l'électricité. Dans ce cas, le réseau électrique se positionne comme une alternative de communication complémentaire du WiFi.

Nous proposons d'utiliser le courant porteur en ligne (CPL) pour transmettre ces informations. Son principe consiste à superposer au signal électrique 230V/50Hz des signaux de fréquence élevée compris entre 9 kHz à 100 MHz. Deux bandes de fréquence sont allouées à la communication par courant porteur en ligne, l'une en basse fréquence (9kHz-500kHz) permettant des transmissions bas débit et l'autre plus haut en fréquence pour des transmissions haut débit (1-100 MHz) (Fig.2).

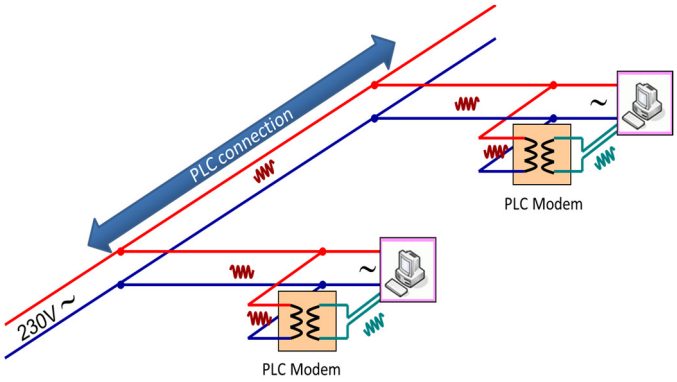


Fig.1 Principe du courant porteur en ligne

Cette technologie CPL a été retenue par le distributeur d'énergie (ENEDIS) pour faire la télé-relève de consommation des ménages. Pour pouvoir étudier les performances avant de déployer les systèmes de gestion, nous proposons de modéliser l'environnement que constituent les différents réseaux électriques (réseau de distribution public, réseau des habitations privées) et de simuler son comportement.

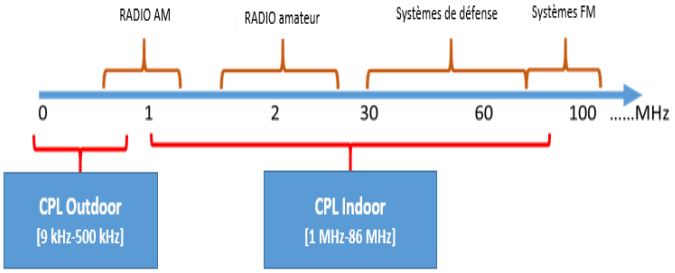


Fig.2 Bande de fréquence des communications par CPL

Pour de modéliser les réseaux, il nous faut connaître leur architecture, leur taille, les câbles les constituant, l'atténuation

que provoquent ces derniers. … Nous avons identifié le réseau électrique de distribution public de manière différente de celui de l'habitation privée.

2. CARACTERISATION DU RESEAU DE DISTRIBUTION PUBLIC

Les normes européennes et internationales encadrent la technologie de communication par courant porteur en ligne [1]. La fréquence des signaux transmis doit être comprise, en fonction des pays, au maximum entre 9 kHz et 500 kHz. Cette gamme de fréquence oriente le type du modèle mathématique à appliquer et la méthode à adopter pour mesurer les paramètres qui caractérisent un réseau électrique [2][3]. Sa caractérisation est difficile à cause de la distance élevée entre l'émetteur (poste de distribution) et le récepteur (compteur du particulier), de l'ordre de plusieurs kilomètres. Pour mesurer les caractéristiques d'un réseau électrique, il est nécessaire de disposer d'une référence de temps unique entre ces deux points distants. Une synchronisation du signal envoyé avec le système de mesure s'impose. Les appareils de mesure intègrent et gèrent les signaux envoyés et reçus et leur synchronisation.

Pour remédier à cette contrainte de distance entre le point d'envoi et le point de réception des signaux, nous avons développé un système fournissant une référence de temps universelle pour synchroniser l'appareil d'émission avec celui de réception (Fig.3). Notre système de mesure ainsi équipé va permettre de mesurer l'atténuation provoquée par les câbles électriques sur le signal transmis entre l'émetteur et le récepteur sur une grande distance. Nous pourrons aussi mesurer le temps mis par le signal pour se propager entre les 2 points de mesure. Dans ce type d'analyse, la distance et le type de câble entre les 2 points de mesure sont généralement connus. Plusieurs types de câble sont utilisés pour édifier le réseau électrique.

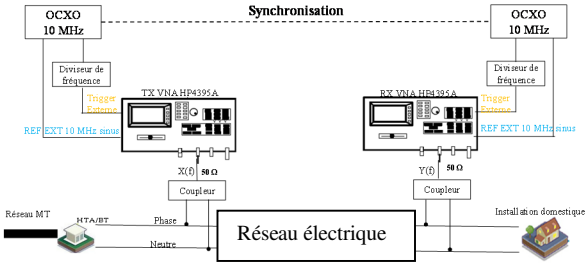


Fig.3 Principe de la mesure du réseau

Ce travail est complété par la modélisation de l'atténuation d'une longueur de 2m de différents câbles présents dans les réseaux électriques. Cela consiste à mesurer les paramètres électriques (résistances, inductances, condensateurs..) en laboratoire. De ces paramètres, nous en déduisons le schéma électrique équivalent (Fig.4) d'un câble de 2 m.

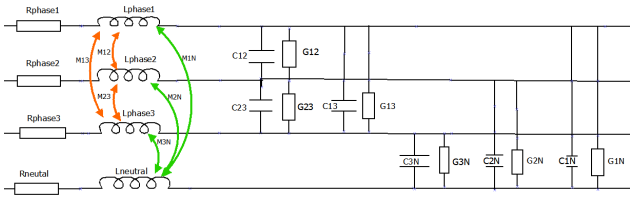


Fig.4 Schéma électrique équivalent d'un câble de 2 m

Pour représenter un réseau électrique de plusieurs kilomètres, nous allons associer autant de tronçons de 2 m que nécessaire (Fig.5). Les habitations présentes entre l'émetteur et le récepteur sont aussi prises en compte au travers d'un schéma électrique résultant d'une approche équivalente. La reproduction médium de propagation et de son environnement se résume à la concaténation de schémas électriques. Le résultat du calcul de l'atténuation est ensuite comparé à la mesure réalisée.

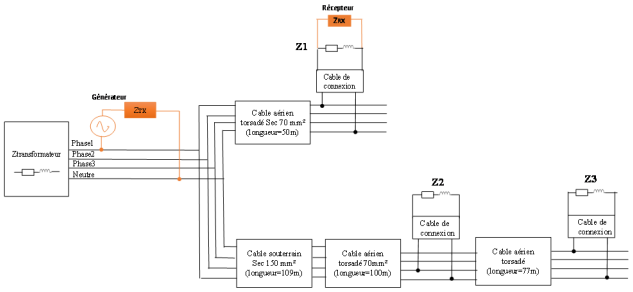


Fig.5 Mise en cascade de tronçons élémentaires

3. CARACTERISATION DU RESEAU ELECTRIQUE D'UNE HABITATION

La caractérisation du réseau dans une habitation se fait de façon similaire à celle du réseau de distribution public sans le problème de distance entre l'émetteur et le récepteur. La bande de fréquence choisie pour la transmission de données est comprise entre 1 et 100 MHz. Cette largeur de bande permet d'atteindre des débits de transmission importants et du même ordre grandeur que les transmissions WiFi.

Pour reproduire le comportement de ce type de réseau, nous avons choisi d'utiliser une autre approche que celle du schéma électrique équivalent présentée dans le cas du réseau de distribution public. Nous avons choisi une méthode appelée « multi-trajet » qui calcule l'atténuation $H_N(f)$ en fonction de la fréquence en prenant en compte les phénomènes de propagation (réflexion, transmission, atténuation et retard) des signaux électriques (Eq.1) [4][5]. L'onde injectée dans une prise électrique se propage dans l'ensemble des branches du réseau électrique et prend de multiples chemins pour arriver à la seconde prise. Chaque chemin pris par l'onde est caractérisé par son poids traduisant des phénomènes de réflexion et transmission, son atténuation et son déphasage. Pour connaitre l'atténuation de l'ensemble du réseau électrique sur l'onde, il faut faire la somme de tous ces chemins atténués.

$$H_N(f) = \sum_{p=1}^{N} \underbrace{|g_p(f)|}_{Poids} \underbrace{e^{-\alpha(f)d_p}}_{Attenuation} \underbrace{e^{-j2\pi f\tau_p}}_{déphasage} \qquad (1)$$

Pour que cette méthode soit réalisable, nous avons besoin de connaitre la taille du réseau électrique de l'habitation. Cette information n'est pas fournie lors de la construction d'un logement. Pour remédier à ce problème, nous avons développé une technique de mesure permettant de déterminer la longueur de câble électrique entre 2 prises. Nous avons développé un circuit électronique générant une impulsion électrique que nous injectons dans une prise électrique. Cette impulsion va se propager sur le réseau électrique à la vitesse de 200 10^6 m.s^{-1}, soit 66 % de la vitesse de la lumière. Nous mesurons de façon simultanée l'impulsion envoyée sur une première prise électrique et l'impulsion reçue sur une seconde prise pour déterminer le temps de propagation entre les prises. La figure 6 illustre la mesure de propagation des 2 impulsions : la courbe jaune est l'impulsion émise et la courbe bleue est l'impulsion reçue quelques mètres plus loin sur la seconde prise.

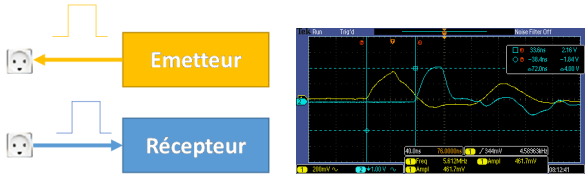


Fig.6 Mesure de la longueur de câbles entre 2 prises

Dans l'exemple présenté, l'impulsion a mis 70 nanosecondes pour aller d'une prise à l'autre. A partir de ce temps de mesure, nous pouvons calculer la longueur parcourue par l'impulsion entre les 2 prises (Eq.2).

$$d_{ij} = \Delta t_{ij}.v \qquad (2)$$

La mesure est répétée sur une multitude de combinaisons de 2 prises électriques différences de l'habitation. Le réseau à identifier est représenté par un circuit électrique faisant le lien entre les mesures réalisées (d) et les longueurs des câbles (L) qui constituent le réseau électrique. Un système d'équations est associé à ce circuit électrique. La résolution mathématique de ce système d'équations permet de trouver les longueurs (L) de chaque branche du réseau électrique (Fig.7).

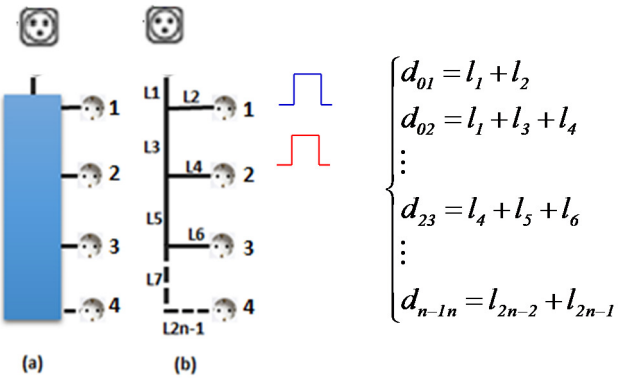


Fig.7 Mesure de la longueur de câbles entre 2 prises

Nous avons aussi besoin de connaitre le coefficient d'atténuation du câble α. Un analyseur d'impédance permet de le mesurer en fonction de la fréquence sur un échantillon d'un mètre de câble.

4. Resultats

La caractérisation du réseau de distribution électrique et celle des habitations sont utilisées pour calculer l'atténuation des données numériques à transmettre entre le poste de distribution électrique et le tableau électrique d'une habitation et entre 2 prises électriques d'un logement. Ce calcul est comparé aux mesures d'atténuation entre l'émetteur de données numériques et le récepteur.

La figure 8 montre l'atténuation obtenue sur un réseau de distribution de 50 m constitué d'un câble souterrain et d'un câble aérien torsadé. Le calcul a été réalisé avec des valeurs approximatives des différentes branches du réseau. Le résultat obtenu est suffisamment précis pour estimer la capacité du réseau à transmettre des données numériques.

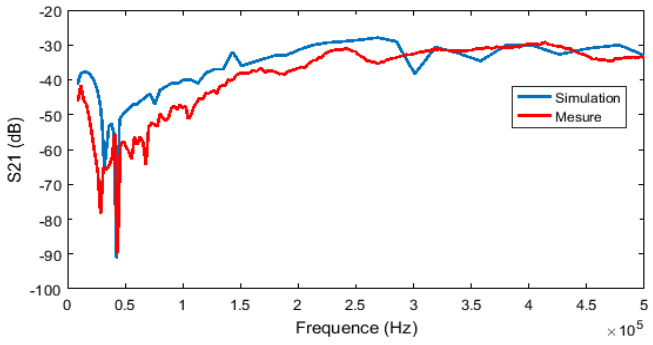


Fig.8 Compraison des atténuations simulées et mesurées sur le réseau de distribution

La figure 9 montre l'atténuation obtenue sur un réseau électrique beaucoup plus petit. Le résultat obtenu est très représentatif de l'influence sur les données numériques à transmettre. Les fortes atténuations sont dues à la présence de nombreuses branches présentes dans un réseau électrique. [6]

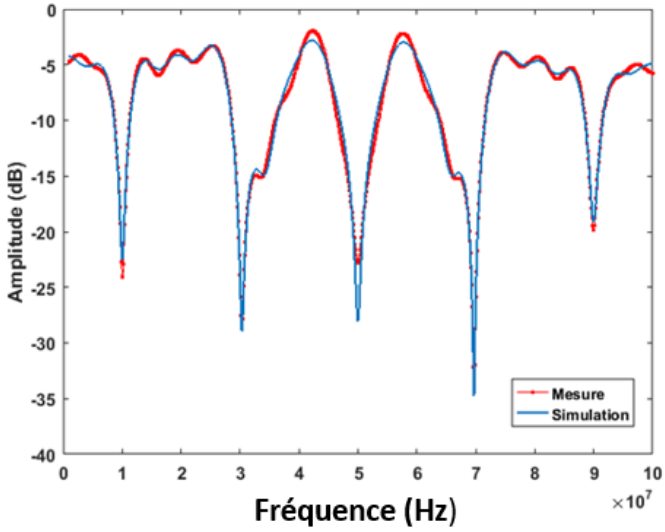


Fig.9 Comparaison des atténuations simulées et mesurées entre 2 prises électriques d'un logement

5. Conclusions

Cette étude permet d'aider à la mise en œuvre cette technique de transmission de données numériques par courant porteur en ligne. Economiquement, cette technologie évite des travaux d'installation de nouveaux câblages.

Ces travaux se sont déroulés en deux phases, la première est la caractérisation expérimentale des phénomènes d'atténuation sur les réseaux électriques, la seconde est l'identification mathématique permettant d'obtenir les capacités des réseaux électriques à être utilisés pour transmettre de l'information.

Ces travaux ont abouti au développement d'un logiciel de calcul avec une interface graphique pour la saisie des réseaux électriques à étudier et à la détermination des capacités à transmettre des données du réseau électrique.

6. References

[1] L. Lampe, A. M. Tonello, and T. G. Swart, Eds., Power Line Communications: Principles, Standards and Applications from Multimedia to Smart Grid. Wiley, 2016.

[2] J. Bausch, T. Kistner, M. Babic, and K. Dostert, "Characteristics of Indoor Power Line Channels in the Frequency Range 50 - 500 kHz," in *2006 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications*, 2006, pp. 86–91

[3] Elfeki, S. Jacques, I. Aouichak, T. Doligez, Y. Raingeaud, J.-C. Le Bunetel, I. Elfeki, S. Jacques, I. Aouichak, T. Doligez, Y. Raingeaud, and J.-C. Le Bunetel, "Characterization of Narrowband Noise and Channel Capacity for Powerline Communication in France," *Energies 2018, Vol. 11, Page 3022, vol. 11, no. 11, p. 3022, Nov. 2018.*

[4] M. Zimmerman, K. Dostert, "A multi-path signal propagation model for the powerline channel in the high frequency range", Proceedings of IEEE International Symposium of Power Line Communications and its Applications ISPLC 99, Lukaster, UK, Apri1999, pp 45-51

[5] I. Aouichak, Y. Kergosien, I. Elfeki, J. C. Le Bunetel, Y. Raingeaud and J. C. Billaut, "Multipath model simulator for PLC home networks," 2017 International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE, Angers, 2017, pp. 1

[6] I. Aouichak, I. Elfeki, Y.Raingeaud, J-C. Le Bunetel, "Amélioration de débit CPL avec filtrage et étude d'impédance", *19ème Colloque International & Exposition sur la Compatibilité ElectroMagnétique, Juillet 201*

Automatic detection of disc herniation using axial view MRI

Wafa Mbarki [1,2], Moez Bouchouicha [3], Sebastien Frizzi [3], Mounir Sayadi [1], Frederick Tshibasu [4], Leila Ben Farhat [5]

[1] Laboratoire Signal Image et Maîtrise de l'Énergie, ENSIT, Université de Tunis, Tunis, Tunisie

[2] Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sousse, ENISO, Tunisie

[3] Laboratoire LIS, Université de Toulon, France

[4] Cliniques Universitaires de Kinshasa, République Démocratique du Congo

[5] Service Imagerie Médicale, Hopital Mongi Slim, La Marsa, Tunisia

THEMATIC – Biomedical Imaging

Abstract-We consider the problem of building a Computer aided diagnosing system (CAD) for diagnosing herniated and normal disks. Several conditions of the lumbar spine including herniated disks are a main cause of low back pain. Disruption of inner annular fibers with intact outer annular fibers, fragment without tail extending into disc space and fragment may be reabsorbed spontaneously. Statistics from different national institutes of health showed that 80% of people suffer from Lower Back Pain [1].In this paper, we worked toward 2-D semi-automatic detection of both herniated and normal lumbar intervertebral discs from T2-Weighted Magnetic Resonance Imaging (MRI). we proposed the Intuitionistic fuzzy C-means the for detecting the intervertebral disc herniation to differentiate between healthy and herniated discs and also to find the type of herniation such as foraminal, post-lateral or median. In this study, we proposed to explore the importance of axial lumbar MRI for the automatic detection of abnormalities.

Key-Words —Herniation, LBP, Axial MRI, detection.

1. INTRODUCTION

The lumbar spine helps any person in movement, structural support and protection of body tissues. It consists of vertebrae and lumbar intervertebral disks wich two vertebrae were lied by one disc(label them as L1-L2, L2-L3, L3-L4, L4-L5,L5-S1). Lumbar discs detection is a several problem due to a wide range of variabilities in the count, shape, size and appearance of discs and vertebrae. The traditional thresholding methods and segmentation have some drawbacks. The main objective is to overcome these drawbacks. Automation of the segmentation process of medical images is a difficult task. It is complex and does not contain any of the simple features. The Watershed approach takes non-membership and hesitancy values into account along with membership value and these sets are useful to deal with uncertainty and vagueness in the image pixel intensities. Clustering methods are mostly dependent on selection of parameter, noise sensitivity and their convergence mainly depends on cluster centroid initialization. For each disc in sagittal view, we can find a suitable axial view, which shows the size and location to find the type of herniated disc as shown in figure [2]. A disc substance compresses the spinal cord. It is the herniation that comprises four stages according to the nucleus pulpous state. The first step is called bulging in which the disc has a mild herniation. The second stage is called protrusion in which the herniated disc compresses the spinal cord. The third step is called extrusion in which the fragment migrates superiorly. The fourth step is the exclusion when the herniated disc with a free fragment has ruptured through the posterior ligaments [3]. The valuation of degenerated and herniated discs are performed in axial T2- weighted MRI. Labeling and localizing of the intervertebral discs represent the first step to find the type of disc herniation. Differentiation between bulge, protrusion, extrusion and exclusion are made according to the shape of disc. The figure1 shows the disc degenerated type2 in L4-L5 (paramedian and right foraminal protrusion). In l5-S1, we show paramedian extrusion and degeneration type c in L1-L2.

2. RELATED WORK

There are many studies for the labeling and segmentation of the intervertebral disc, so there are several problems with Detection intervertebral disc. Chwialkowsky et al [4] presented a method to detect lumbar pathologies in MRI images by first localizing candidate vertebrae with an estimated model and then studying the change in gray level intensities in healthy and damaged discs. Alomari et al [7] presented a fully automated herniation detection system using GVF snake for an initial disc contour and then trained a Bayesian classifier on the resulting shape features. They achieved 92.5% accuracy on 65 clinical MRI cases but a low sensitivity of 86.4%. Hoad et al [8] respectively developed a technique to segment vertebrae and spinal cord on MRI images. For both cases, the initialization phase needed a user interaction to manually detect the center of the spinal cord at every spine level or to manually locate 4

sciencesconf.org:cnriut2019:271677

points on each vertebral body. On the other hand, they proposed an algorithm that could automatically localize the center of the spinal canal on the axial images based on a symmetry measure. Then they applied an active contour algorithm to segment the spinal canal. Tsai et al [5] detected herniation from 3D MRI and CT volumes of the discs by using geometric features like shape, size and location. Michopolou et al [6] achieved 86-88% accuracy for normal vs degenerated disc classification. They used fuzzy C-means to perform semi-automatic atlas-based disc segmentation and then used a Bayesian Classifier. They also reported 94% accuracy using texture features for 50 manually segmented discs. Elias et al [9] developed a system in order to diagnose lumbar disc herniation disease by MRI image. They used the Otsu thresholding method and extracted features by calculating the shape feature and finally they found the classification by using the Multi-layer perceptron, the k-nearest neighbor and the support vector machine. The MLP and KNN classifiers showed around 91.90% and 92.38% of accuracy respectively. Subarna et al [12] proposed a robust and fully automated lumbar herniation diagnosis system. They reduced the time to analyze each case. They constructed five different classifiers (SVM, PCA+LDA, PCA+Naïve, Bayes, PCA+QDA, PCA+SVM) and combined them to achieve the best results; they got 94.86% accuracy and 95.90% specificity. Schmidt et al [13] introduced a probabilistic inference method using a part-based model that measures the possible locations of the intervertebral discs in full back MRI. They achieve upto 97% part detection rate on 30 cases. Oktay et al. [14] proposed another approach using PHOG (pyramidal histogram of oriented gradients) based SVM anda probabilistic graphical model and achieved 95% accuracy on 40cases. In all these works, the authors have concentrated on finding a point inside the disc, which immediately leads to the added requirement of a challenging segmentation step in order to diagnose a disc abnormalities.

2.1. Herniation Detection Approach

In this section, we describe our approach to detect a herniated lumbar disc starting from L1-L2, L2-L3, L3-L4, L4-L5 and finally L5-S1 as shown in figure 2.

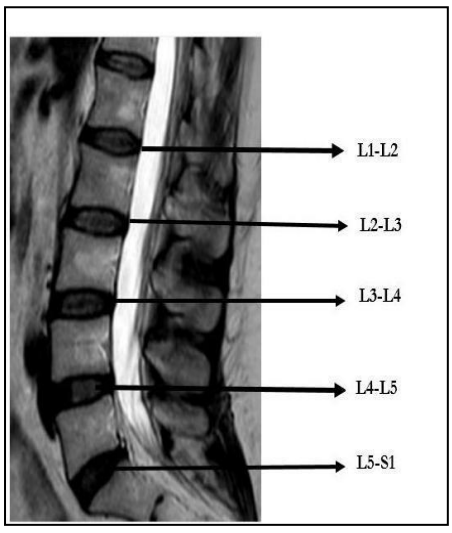


Fig.1 The discs and vertebrae of spine

Intervertebral disc can be easily detected from sagittal view; the problem lies in detection from axial view MRI. We proposed to use the watershed method to find the disco radicular conflicts in order to find the type of herniation. Watershed has been used in combination with other techniques in cardiology on Ultrasound images [10] and in neurology on MR images [11] and their results showed that the technique is able to cope with variation of topologies and shape but it was never used for spinal deformity. Every disc in sagittal view corresponds to his disc (L1-L2, L2-L3, L3-L4, L4-L5 and L5-S1) in axial view MRI.

3. EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION

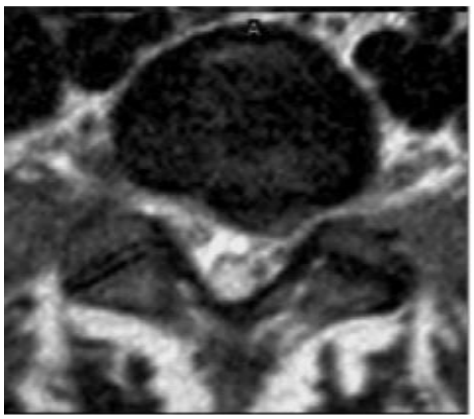


Fig.2 Input Image

Fig.3 Black and White Image

Fig.4 Intuitionistic Fuzzy Clustering result

Intuitionistic fuzzy C-means algorithm is a clustering algorithm for Euclidean distances among sample points in Euclidean space. It is the extension of fuzzy C-means clustering algorithm. According to whether the cluster center, the clustered objects and the relationships between them are intuitionistic fuzzy sets or not, IFCM method can generally be divided into three types: Firstly, Only the cluster centers are represented by intuitionistic fuzzy sets. Secondly, The relationships between clustered objects and cluster centers are extended to intuitionistic fuzzy sets, while the clustered objects are denoted by common sets. Thirdly, The clustered objects, the cluster centers and the relationships between them are represented by intuitionistic fuzzy sets simultaneously. We applied the Intuitionistic Fuzzy clustering method to find the type of herniated disc (Fig 4 we show that is the case of foraminal herniation). We used the axial view MRI in order to classify the type of herniation of discs. Therefore, when we used the T2-Sagittal view (look at fig 5) we can find just that the disc is herniated or normal.

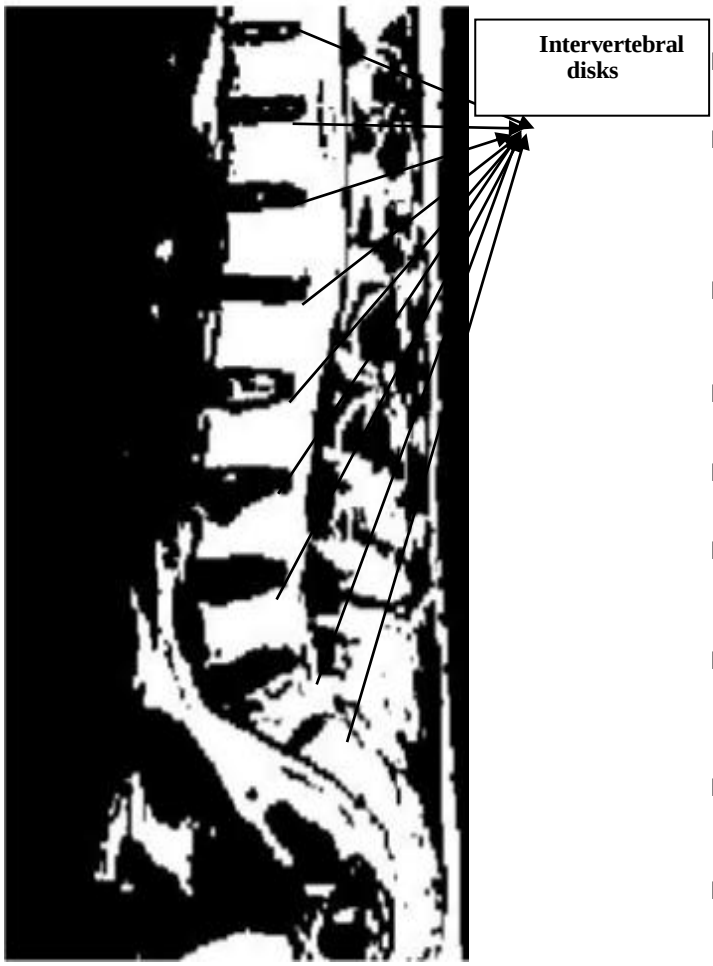


Fig.5 Case of Sagittal View(herniated and normal disks)

There are two MRI views that are usually used to diagnose lumbar disc herniation. The axial view we provide more informations about the type of herniated disc and problems of disks. By examining the sagittal view scans, radiologist can just determine if the disc shown is normal or not. To evaluate our method, we apply the algorithm on 150 axial images to find the type of herniation as foraminal, median or post-lateral.

4. CONCLUSIONS

In this study, we proposed new approach towards segmentation and complete detection of clinical axial lumbar MRI .First, we proposed a new approach to convert image into binary image. In previous work, variations of probabilistic graphical models were used to detect disc centroids, and not only were they computationally expensive; they also suffered in terms of accuracy. Our approach, on the other hand, is not only easy and simple to implement, it is also computationally easily . Moreover, our method targets diagnosis and detection from clinical 2D MRI, which is more popular in clinical practice compared to full 3D volumes due to lower acquisition time and cost. We have provided a novel solution to incorporate clinical acquisition into our method, making it more robust and accurate.

References

[1] Cuckler, J. M., Bernini, P., Wiesel, S. W., Booth, J. R., Rothman, R. H., & Pickens, G. T. (1985). The use of epidural steroids in the treatment of lumbar radicular pain. A prospective, randomized, double-blind study. The Journal of bone and joint surgery. American volume, 67(1), 63-66.

[2] S.K.Michopolou,L.Costaridou,E.Panagiotopolous,R.speller,G. PanaviotakisetA.ToddPoKropek_"Atlas based segmentation of degenerated lumbar intervertebral discs from Mr Images of the spine ", IEEE transactions on Biomedical Engineering 56 (2009), no.9, p.22.

[3] E. Ebrahimzadeh, F. Fayaz, F. Ahmadi et M. Nikravan –"A machine learning-based method in order to diagnose lumbar disc herniation disease by MR image processing", (2018).

[4] F. Franco, G. D. Thomas, B. Giroir, D. Bryant, M. C.Bullock, M. C. Chwialkowski, R. G. Victor et R. M.Peshock – "Magnetic resonance imaging and invasive evaluation of development of heart failure in transgenic mice with myocardial expression of tumor necrosis factor-a", Circulation 99 (1999), no. 3, p. 448–454.

[5] Raja'S, A., Corso, J. J., Chaudhary, V., & Dillon, G. (2010). Computer-aided diagnosis of lumbar disc pathology from clinical lower spine MRI. International journal of computer assisted radiology and surgery, 5(3), 287-293.

[6] C. Hoad et A. Martel – "Segmentation of mr images for computer-assisted surgery of the lumbar spine", Physics in Medicine & Biology 47 (2002), no. 19, p. 3503.

[7] Peng, B., Hao, J., Hou, S., Wu, W., Jiang, D., Fu, X., & Yang, Y. (2006). Possible pathogenesis of painful intervertebral disc degeneration. Spine, 31(5), 560-566.

[8] S. Ghosh et V. Chaudhary – "Supervised methods for detection and segmentation of tissues in clinical lumbar MRI", Computerized medical imaging and graphics 38 (2014), no. 7, p. 639–649.

[9] S.K.Michopolou,L.Costaridou,E.Panagiotopolous,R.speller,G. PanaviotakisetA.ToddPoKropek_"Atlas based segmentation of degenerated lumbar intervertebral discs from Mr Images of the spine ", IEEE transactions on Biomedical Engineering 56 (2009), no.9, p.22.

[10] Tsai, R. (1987). A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses. IEEE Journal on Robotics and Automation, 3(4), 323-344.

[11] Cheng, Jierong; Foo, Say Wei; Krishnan, Shankar M. ,"Watershed-presegmented snake for boundary detection and tracking of left ventricle in echocardiographic images". IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 10(2), 414-416.

[12] GHOSH, Subarna, RAJA'S, Alomari, CHAUDHARY, Vipin, et al.Composite features for automatic diagnosis of intervertebral disc herniation from lumbar MRI. In : 2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE, 2011. p. 5068-5071.

[13] Schmidt S, Kappes J, Bergtholdt M, Pekar V, Dries S, Bystrov D, Schnoerr C.Spine detection and labeling using a parts-based graphical model. In: IPMI'07:Proceedings of the 20th international conference on information processing inmedical imaging. 2007. p. 122–33.

[14] Oktay AB, Akgul YS. Localization of the lumbar discs using machine learningand exact probabilistic inference. In: MICCAI (3). 2011.

Évaluation en temps réel des états de stress et de fatigue chez les « GAMERS » des jeux violents

Sabrine DHAOUADI, Mohamed Moncef BEN KHELIFA, Olivier GAVARRY
Laboratoire IAPS (Impact de l'Activité Physique sur la Santé)

- THEMATIQUE : Informatique - Robotique - Imagerie - Electronique

RESUME - **La détection des émotions à partir de signaux physiologiques a de nombreuses applications potentielles. Dans les systèmes d'interaction homme-machine ou homme-homme, les systèmes de reconnaissance des émotions peuvent être un outil de surveillance et de prévention contre les potentiels dangers et les troubles de comportement. Ce projet concerne un dispositif automatisé permettant de reconnaitre l'état de fatigue et de détecter le stress chez les jeunes GAMERs en plein jeux grâce aux données collectés par des capteurs périphériques (accéléromètre, ECG, EMG, EDA). Les conséquences néfastes des jeux vidéo violents ont fait l'objet de nombreuses recherches. L'addiction aux jeux vidéo violent peut provoquer une augmentation des comportements agressifs, une diminution de l'empathie, insomnie, renfermement, et échec scolaire chez les adolescents.**

Mots-clés— Jeux Electroniques violents, Signaux physiologiques, Deep Learning, Surveillance & prévention, fatigue, émotion , stress…

1. INTRODUCTION

Les préoccupations concernant les effets négatifs des jeux vidéo ont récemment mis l'accent sur le jeu comme une dépendance ou pathologie comportementale, l'un des nombreux types d'addictions comportementales associées aux nouvelles technologies. Cette dépendance peut être définie comme un hyper investissement vis-à-vis de certaines pratiques (jeux vidéo en ligne ou non), avec une perturbation majeure du fonctionnement social, intellectuel et affectif du sujet.

Des recherches sur le contenu des jeux vidéo ont montré que la violence est un ingrédient essentiel de nombreux jeux. En fait, la plupart des jeux vidéo sur le marché sont remplis de violence, de fusillade, d'assassinat de sang, etc., qui pourraient exercer une profonde influence sur la cognition et les comportements des joueurs.

Une nouvelle méthode, permettant de surveiller en temps réel le stress et la fatigue chez les jeunes joueurs est proposée dans ce papier. Cette méthode est appliquée à un ensemble de données ciblé pour estimer le taux de stress et la fatigabilité à l'aide de la technologie informatique à travers les algorithmes d'apprentissages automatiques. Les données des capteurs périphériques (accéléromètre, ECG, EMG, EDA) ont été collectées, intégrées et analysées par un algorithme d'apprentissage profond. L'hypothèse 1 présenté prouve que l'exposition à des jeux vidéo violents augmente chez les GAMERs le comportement agressif, l'excitation émotionnelle et physiologique [1]. En effet, les analyses du cerveau dans [2] révèlent que les jeux vidéo violents mettent les adolescents en danger. La violence dans ces jeux fournit un contexte favorable pour l'expérience des émotions négatives (colère, haine, agressivité etc.) et offre une liberté attrayante surtout pour les adolescents qui sont en train de construire leurs identités.

L'expérience émotionnelle d'un gamer en plein combat diffère de celle qu'on éprouve lors de visionnage d'un film par exemple ou autres médias, à travers ces derniers des «émotions de témoin» sont vécues. Les émotions dans un contexte de jeu violent se déroulent sous une forme plus proche des expériences typiques de la vie réelle [3]. Ceci peut être expliqué par l'implication des joueurs dans l'expérience émotionnelle.

La détection réelle des émotions en plein action est caractérisé par des réactions corporelles qui se manifestent par des réponses physiologiques. L'accélération de la respiration, l'augmentation des battements cardiaques, la variation de la conductance cutanée [4]., accompagnent généralement les émotions négatives et suggèrent une sensibilisation aux signaux agressifs.

L'hypothèse 2 présenté concerne l'apprentissage profond. En effet on peut estimer quantitativement et en temps réel le niveau de stress et de fatigabilité des joueurs ados. Les résultats attendus permettront d'étendre l'application des méthodes d'apprentissage automatique à la caractérisation de schémas complexes d'activités humaines (par exemple : évaluer leurs états émotionnels et leurs fatigues mentales, détecter les troubles comportementaux et donner des précautions et des conseils afin de prévenir de l'échec scolaire, de l'addiction chez les enfants et les ados et éviter éventuellement la manifestation des actes de violence…).

Notre travail comprend trois parties principales :

• Identifier les méthodes les plus utilisées dans l'évaluation des émotions spécifiquement le stress et la fatigabilité.

• Créer une base de données spécifique qui expriment différents états émotionnels des GAMERs en plein jeu.

• Construire un modèle d'apprentissage profond et évaluer les performances des résultats obtenus.

2. DETECTION DE STRESS ET DE FATIGABILITE

Les signaux physiologiques peuvent être classés en signaux cérébraux (électroencéphalographie, imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, etc.) et périphériques (fréquence cardiaque, activité biologique, température, etc.). En raison du développement de l'électronique portable et de l'Internet des objets, ces signaux physico-chimiques complexes peuvent être enregistrés et transmis par différents membres, puis analysés

statistiquement comme un ensemble intégral d'interactions homme-machine multimodales.

2.1. *L'acquisition des signaux physiologiques*

L'utilité principale de l'acquisition des signaux physiologiques dans notre travail est la détection de la fatigue et du stress. En effet, le stress est considéré comme un dérèglement du système d'alerte physiologique.

Le Système Nerveux Autonome (SNA) ou Système Nerveux Végétatif (SNV) est la partie du système nerveux périphérique qui a pour rôle le maintien de l'homéostasie. Le SNA se divise comme montre la figure 1 en deux sous-systèmes : le système sympathique et le système parasympathique.

En un état de stress, le système nerveux sympathique est activé afin de préparer le corps à affronter une telle situation. Cette activation est suivie de plusieurs changements physiologiques, psychologiques et comportementaux.

Les symptômes de stress sont multiples, successifs au trouble du système nerveux autonome. Les réactions du corps sont les plus faciles à distinguer, se manifestant par l'augmentation du rythme cardiaque et de respiration, l'augmentation de pression sanguine et la contraction musculaire. Ces signes sont suivis par des douleurs musculaires, contractures, fatigue intense ou épuisement, troubles du sommeil. Les troubles de la concentration, le risque de multiplier les erreurs, augmenter les oublis et perturber la prise de décisions/ d'initiatives sont considérés comme conséquences du stress.

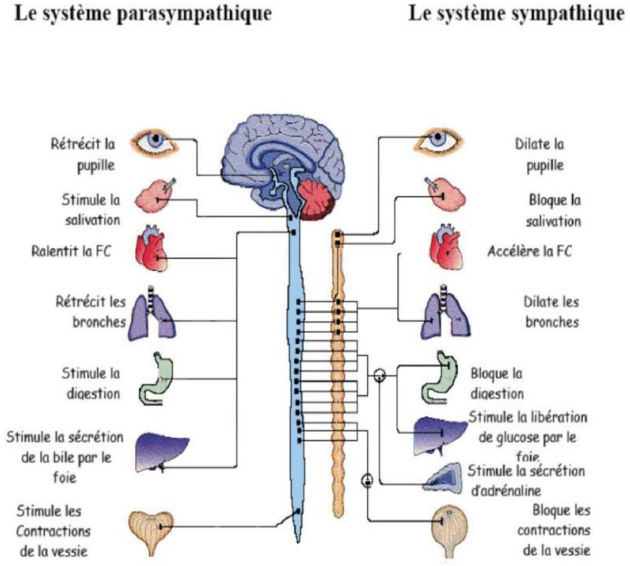


Fig.1 Organisation du système nerveux autonome.

Plusieurs paramètres peuvent être utilisés dans la mesure du stress tels que les données extraites à partir de l'électrocardiogramme (ECG), l'électromyogramme (EMG) en utilisant des électrodes placées sur le corps, un suivi de l'activité électrodermale et de la température des extrémités, etc.

- Signal ECG: Suite à la suractivité du système nerveux autonome sympathique en condition de stress, la fréquence cardiaque augmente et l'intervalle du temps entre deux battements cardiaques sur une période du temps n'est plus stable, plus précisément entre chaque pic de l'onde R d'un complexe QRS c'est la variabilité de la fréquence cardiaque « la VFC ». La VFC est influencée principalement par la respiration.
- Signal EMG: Après l'exposition à un événement stressant, les potentiels d'action générés au niveau des muscles ayant des amplitudes plus importantes que les PA au repos.
- Signal EDA ou GSR: On définit l'activité électrodermale (EDA, ElectroDermal Activity=GSR : Galvanic Skin Response) comme étant l'activité électrique biologique enregistré sur la surface de la peau. Les paramètres liés à l'activité électrodermale font partie des variables physiologiques les plus répandues dans le domaine de la psychophysiologie. Le capteur de réponse à la conductance cutanée mesure le réflexe psycho-galvanique du corps. Des émotions telles que l'excitation, le stress, les chocs, etc. peuvent entraîner une fluctuation de la conductivité cutanée.

Ces signaux physiologiques jouent un rôle très important dans les diagnostiques du stress et de fatigue. Tout changement effectué sur l'un de ces signaux représente un indicateur d'instabilité corporelle, particulièrement dans les situations stressantes ces signaux subissent des variations remarquables en relation avec les organes du système sympathique décrit dans la figure 1.

2.2. *Algorithme d'apprentissage profond*

L'augmentation rapide du nombre de capteurs disponibles au cours des dernières décennies a été à l'origine de la nécessité de recourir à de nombreux autres moyens informatifs pour représenter diverses caractéristiques du comportement humain, en particulier celles liées à l'activité physique, aux émotion et à la fatigue physique qui en découle [5] [6]. Ceci est particulièrement remarquable dans les applications de soins et de surveillance basées sur des nouvelles technologies de l'information et de la communication avec interaction multimodale via des interfaces homme-machine/ordinateur telles que l'informatique portable, la réalité augmentée, les interfaces cerveau-ordinateur, etc. [7]. Récemment, plusieurs approches d'estimation de la fatigue [8] de stress [9] et de reconnaissance des emotions [10] ont été proposées sur la base d'interaction homme-machine multimodale et de méthodes d'apprentissage machine [11]. Ce précieux résultat peut être obtenu en utilisant l'apprentissage automatique et, en particulier, les techniques d'apprentissage profond, récemment utilisées pour l'analyse de l'activité physique humaine [12].

Toute étude scientifique sur l'apprentissage automatique et profond dépend particulièrement des données utilisées pour identifier le phénomène à modéliser. Par conséquent, la collecte d'informations adaptées à la tâche que nous souhaitons modéliser s'avère être un défi majeur pour obtenir un modèle de reconnaissance précis. L'établissement d'une base de données large et spécifique à notre projet rassemblant l'état émotionnel et de stress des différents joueurs des jeux vidéo s'avère essentielle.

Les techniques de classification largement utilisées sont les machines à vecteurs de support (SVM) et les réseaux de neurones (NN). Pour l'apprentissage profond les réseaux de neurones récurrents (RNN) plus spécifiquement l'LSTM et le réseau neuronal convolutif (CNN)[13] [14] [15].

3. IMPLÉMENTATION & RÉSULTATS ATTENDUS

L'algorithme que nous proposons est un modèle d'apprentissage profond capable de détecter, après entraînement, la fatigue musculaire et l'état de stress. Le modèle est capable, après la lecture des paramètres reçus, d'extraire les caractéristiques spécifiques, les analyser et faire le classement sur de nouveaux données fournies. Nous pouvons diviser notre système en deux parties principales:

- L'apprentissage, où nous fournissons à notre modèle un grand nombre de paramètres étiquettés (labélisé) afin de l'entrainer.

- La classification où nous chargeons le modèle enregistré, de sorte qu'il fait sa propre prédiction sur de nouvelles données.

3.1. Implémentation

La première étape de la mise en œuvre du système de détection du stress et de la fatigue consiste à collecter des échantillons sous différentes catégories qui seront utilisées pour faire apprendre le modèle. Nos échantillons sont des signaux physiologiques périphériques collectés en temps réel à l'aide d'un capteur biomédical.

L'étape suivante, après la collecte, consiste à représenter les données numériquement afin de les analyser après. La préparation du signal au traitement comprend la separation des données, le filtrage des signaux, le calcul empérique de la moyenne, etc.

La troisième étape est évidemment l'extraction de caractéristiques, où sont obtenues des valeurs quantitatives pour les différents échantillons des signaux physiologiques.

Nous renvoyons les données (différents coefficients) ainsi que les étiquettes (l'état émotionel) correspondant à chaque ligne de la donnée.

L'organigramme de la figure 2 résume cette partie du processus de mise en œuvre.

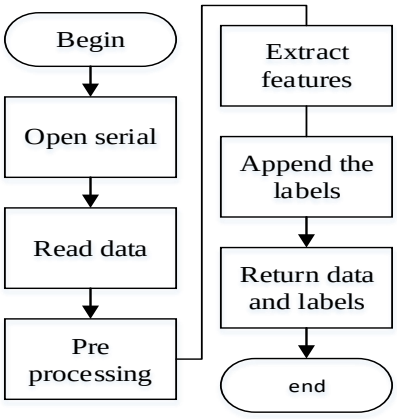


Fig.2 Fonction de Pré-traitement.

Après avoir obtenu les données et les étiquettes, nous les diviserons en ensemble d'apprentissage et ensemble de test. 80% du total des données étant destinés à l'apprentissage, les 20% restants à l'essai. Nous utilisons pour cette division aléatoire la fonction prédéfinie dans sci-kit learn "train_test_split". Nous introduisons ces informations dans notre modèle défini pour apprendre puis classer les nouvelles données.

Cette étape nécessite de décider sur le modèle avec lequel nous allons travailler, de comprendre ses spécifications et de définir ses paramètres. Pour notre travail, nous utilisons un modèle d'apprentissage profond pour classer les émotions sur la base de signaux physiologiques.

L'organigramme de la figure 3 représente la fonction pour l'entraînement, la classification et l'évaluation.

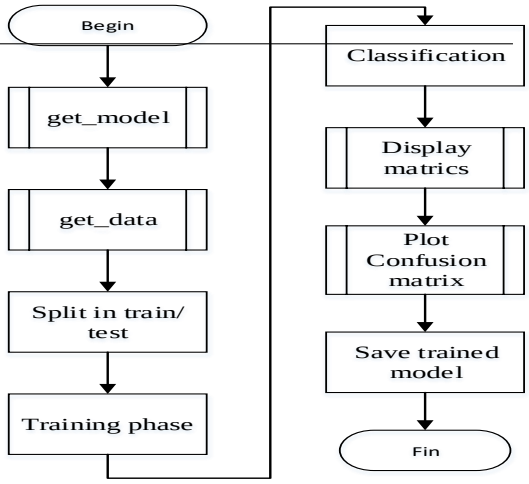


Fig. 3 Organigramme du Modèle d'Apprentissage Profond Supervisé.

Après classification, il est important de voir comment notre modèle se comporte et d'évaluer ses performances.

3.2. Resultats attendus

Avec une bonne performance du modèle d'apprentissage profond, nous estimons une prédiction fiable et en temps réel de l'état d'un jeune GAMER en plein action. Plusieurs observations et conclusions peuvent être tirées des résultats de l'implémentation. Le rapport de classification résumera, en termes de précision et de score f1, la mesure de performance obtenue après la classification.

Nous prévoyons une précision supérieure ou égale à 90%.

Avec une bonne performance de l'algorithme d'apprentissage profond, nous estimons une prédiction fiable de l'état émotionnel d'un jeune GAMER en plein action.

4. CONCLUSIONS

En comparaison aux solutions statiques existantes de prévention et de sensibilisation au danger des jeux vidéo violents (brochures, quiz, ou même des jeux vidéo), nous créons une solution dynamique. En effet, la prévention se fait à chaque fois qu'un «gamer commence à jouer. La détection de stress ainsi que l'analyse de la fatigabilité sont intégrés grâce à notre système dans des situations de plein jeu violent. En plus de l'évaluation de l'état instantané de joueur, d'autres spécificités peuvent être ajoutées au système tel que l'alerte en temps réel envoyé aux parents au cas de dépassement d'un certain seuil jugé critique, aussi la possibilité d'utiliser le système en tant qu'une plateforme de surveillance et de contrôle de l'état psychique et des troubles de comportements de l'adolescent face aux jeux vidéo violent, ceci peut être un atout pour les psycho-thérapeutes et les pédopsychiatres.

Par ce projet, nous voulons prendre des décisions éclairées sur la manière de promouvoir l'utilisation des jeux, et ceci pour obtenir des avantages optimaux, plutôt que d'interdire totalement leur utilisation.

Un objectif à moyen termes, consiste à développer un capteur spécifique dédié à la détection en temps réel de l'état émotionnel d'un GAMER.

Les capacités d'apprentissage machine et d'Intelligence Artificielle sont fondamentales pour l'informatique affective. La combinaison de l'AI, la technologie temps réel et l'internet des objets, nous permet d'avoir une solution novatrice qui peux être appliqué non seulement dans la prévention de l'addiction mais également dans la radicalisation des jeunes joueurs face aux jeux de guerre très violents.

5. References

[1] Bushman, J.L.W.a.B.J., A Review of the Effects of Violent Video Games on Children and Adolescents vol66/iss3/5. 66 Wash. & Lee L. , 2009.

[2] Lianekhammy, J., The Influence of Video Games on Adolescent Brain Activity, in Family Sciences. 2014, University of Kentucky.

[3] Perron, B., A Cognitive Psychological Approach to Gameplay Emotions in Department of Art History and Film Studies. 2005, University of MontrealCanada Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, "Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface," IEEE Transl. J. Magn. Japan, vol. 2, pp. 740–741, August 1987 [Digests 9th Annual Conf. Magnetics Japan, p. 301, 1982].

[4] Taude-Müller, F., Bliesener, T., & Luthman, S, Hostile and hardened? An experimental study on (de-)sensitization to violence and suffering through playing video games. Swiss Journal of Psychology / Schweizerische Zeitschrift für Psychologie / Revue Suisse de Psychologie, 2008. 67(1): p. 41-50.

[5] LeMoyne R, Mastroianni T, Cozza M, Coroian C and Grundfest W 2010 Implementation of an iPhone as a wireless accelerometer for quantifying gait characteristics Annual Int. Conf. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society pp 3847-3851.

[6] Can, Yekta Said, Bert Arnrich, and Cem Ersoy. "Stress detection in daily life scenarios using smart phones and wearable sensors: A survey." Journal of biomedical informatics (2019): 103139.

[7] Stirenko S et al 2017 User-driven Intelligent Interface on the Basis of Multimodal Augmented Reality and Brain-Computer Interaction for People with Functional Disabilities Preprint arXiv:1704.05915.

[8] Lamti Hachem & Khelifa, Mohamed Moncef & Hugel, Vincent. (2019). Mental fatigue level detection based on event related and visual evoked potentials features fusion in virtual indoor environment. Cognitive Neurodynamics. 10.1007/s11571-019-09523-2.

[9] Azar, Joseph, et al. "An energy efficient IoT data compression approach for edge machine learning." Future Generation Computer Systems 96 (2019): 168-175.

[10] Xi Ouyang, S.K., Ester Gue Hua Goh, Shengmei Shen, Wan Ding, Huaiping Ming et Dong-Yan Huang, Audio-Visual Emotion Recognition using Deep Transfer Learning and Multiple Temporal Models. Proceedings of 19th ACM International Conference on Multimodal Interaction, 2017.

[11] LeMoyne R and Mastroianni T 2018 Role of Machine Learning for Gait and Reex Response Classi_cation. Wearable and Wireless Systems for Healthcare I. Smart Sensors, Measurement and Instrumentation 27 (Springer, Singapore).

[12] Sharma, Nandita, and Tom Gedeon. "Objective measures, sensors and computational techniques for stress recognition and classification: A survey." Computer methods and programs in biomedicine 108.3 (2012): 1287-1301.

[13] Son, Hoang Huu. "Toward a proposed framework for mood recognition using LSTM Recurrent Neuron Network." Procedia computer science 109 (2017): 1028-1034.

[14] Sikander, Gulbadan, and Shahzad Anwar. "Driver fatigue detection systems: A review." IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems (2018)

Application of Deep Belief Network for early smoke detection

Rabeb Kaabi[1,2] , Moez Bouchouicha[2], Mounir Sayadi[1], Eric Moreau[2]

rabebkaabi89@gmail.com ,moez@univ-tln.fr, mounir.sayadi@esstt.rnu.tn, moreau@univ-tln.fr

1Université de Tunis, ENSIT, LR13ES03, SIME, 1008, Montfleury, Tunisia

2Université de Toulon, Aix Marseille Univ, CNRS, LIS, Marseille, France

THEMATIQUE : •Informatique - Robotique - Imagerie - Electronique

Abstract : **A Smart Real-Time Smoke Detection Solution Based on Deep Belief Network is developed. The main idea of this work is to develop a deep learning model for classification of smoke and no smoke regions in aerial recorded videos. For that, a deep belief network model was selected and implemented. First, frames were extracted from the provided videos. Hence, a sliding window is applied on frames to extract the smoke based regions. After that, Deep Belief Network was implemented and tested on different datasets. Overall, obtained results reveal that our implemented model was able to accurately classify smoke and no smoke regions. Through the experiments with input videos obtained from a various weather conditions, the proposed algorithms were useful to detect smoke in forests to minimize the damage causing by forest fires onto vegetation, animals and humans.**

Keywords: smoke detection; sliding window; Deep Belief Network.

1. INTRODUCTION

Video-based smoke detection systems are compound of two types of methods. The first one relies on static features such as color of the smoke. The second method use dynamic feature like movement, texture…

A method of smoke detection using dynamic features of smoke is proposed in order to reduce the false alarms of video smoke detection systems

Several researchers have played a significant role in the development of useful video smoke detection systems. We focused on some of them. Hu et al [1] extract the motion feature and use the convolutional neural network CNN [2] as classifier. Chen et al [3] extract motion, color and energy features to classify them using Support Vector Machine SVM [4]. Toreyin et al. [5] extract motion, color , energy and the texture as features and classify the smoke and no smoke regions using decision trees.

The rest of the paper is organized as follow. The proposed technique intended for smoke detection is exhibited and detailed in Section 2. Some of experimental results are shown in Section3. Conclusion and perspectives are exhibited in the last section.

2. METHODOLOGY

First of all, the videos are divided to frames. A sliding window is applied on these frames and plays an integral role in object classification, as they allow us to localize exactly "where" in an image an object resides. Deep Belief network as a classifier is implemented then to calculate accuracy, precision, Recall and F1 score. The different steps are exhibited in the following section.

2.1. Database

The following simulations were done on a PC Processor Intel(R) Core(TM) i5-3337U CPU @ 1.80GHz, 1801 MHz, RAM4. The using dataset is available at the web address:http://signal.ee.bilkent.edu.tr/VisiFire/Demo/SampleClips.html and http://www.openvisor.org. Some of the used frames extracted from videos in our database are presented in Figure 1.

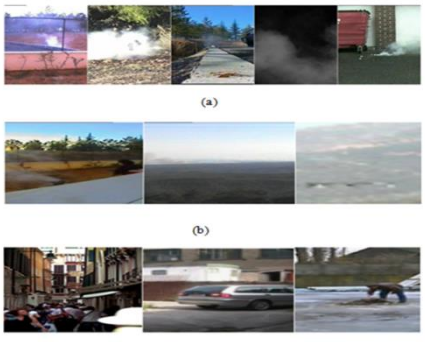


Figure.1 Database

2.1.1. *Sliding window :*

In the context of computer vision, a sliding window is a rectangular region of fixed width and height that across an image as the following figure.2.The sliding window is applied on RGB images:

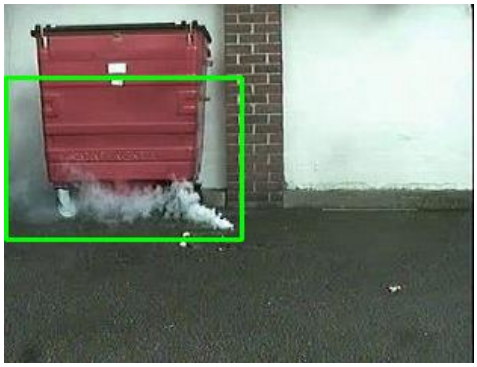
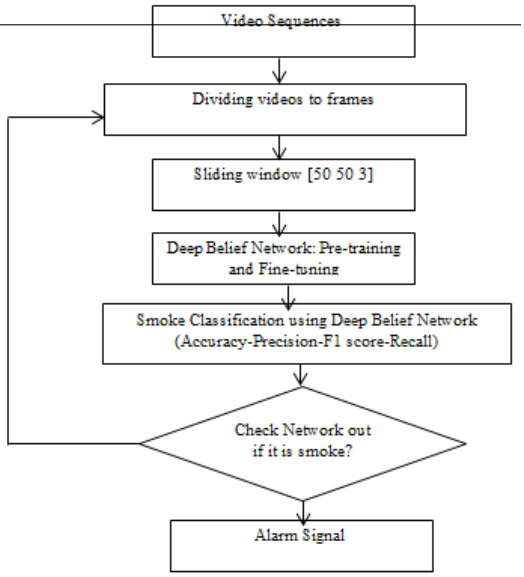


Figure .2 Example of Sliding windows



(1)

2.1.2. *Deep Belief Network :*

An efficient smoke detection method is presented by using deep belief network. Deep belief Network [6], [7] is a tool of machine learning that represents a stack of Restricted Boltzman Machine [8]. After the pre-training process with the RBMs , the network acts like a multi-layer Perceptron[9] using the backpropagation [10] as tool to accomplish the training .The architecture of the used deep belief network is presented in Figure 3.

The fixed network parameters are chosen after many tests as follows:

Learning rate=0.006

Pre-training Epochs=100

Fine-tuning Epochs=400

Number of hidden layers layers=2

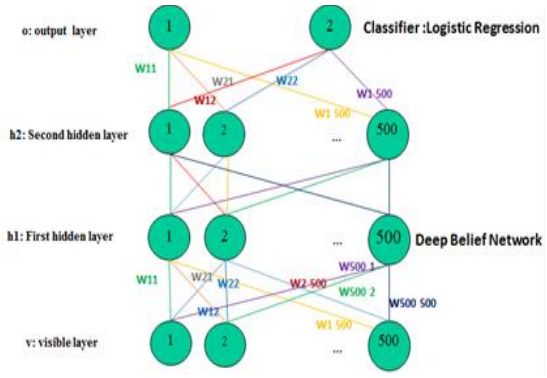


Figure.3 Deep Belief Network Architecture

The main idea is resumed in the following algorithm schematic diagram presented in Figure 2.

3. COMPARISON BETWEEN THE DIFFERENT METHODS OF SMOKE DETECTION AND THE PROPOSED METHOD:

To evaluate the performance of our method we made a comparison between the different classifier as Support Vector Machine and the convolutional Neural Network in the following Table .The robustness of the methods is tested by adding a noise (fog, clouds…).

This table shows that the proposed present very important results even if the main idea of our work is to classify smoke and no smoke regions without feature extraction contrary to the other methods of classification. Hence, the presence of noise in tests affects slightly the accuracy, F1score, precision and recall.

4. CONCLUSIONS

In this presented work, we used Deep Belief Network as a classifier after using a sliding window on RGB images. Apart from that we do not extract any features the proposed method assures a good performance compared to other used methods for smoke detection. We finally presented a comparison after and before adding noise by noticing the influence of noise to the criteria cited in this paper. These promising results provide clear evidence about the capability of such a network in recognizing smokes in our recorded frames easily.

Table : Comparison between different smoke detection method and the proposed method

Condition	Classifier	Accuracy	F1 score	Precision	Recall
-Noise	**SVM**	93.43	0.952	1	0.912
	DBN	94.86	0.962	1	0.928
+Noise	**DBN**	92.57	0.936	0.88	1
	SVM	91.54	0.92	0.86	1

5. ACKNOWLEDGEMENT:

This work was supported by the Cooperation Project: PHC

Utique 41755XB (CMCU 19G1126) and the CARTT-IUT: University of Toulon

6. REFERENCES

[1] Y. Hu, X. Lu:'Real-time video fire smoke detection by utilizing spatial-temporal ConvNet features', Multimedia Tools and Applications, 2018,11, pp. 29283–29301.

[2] Z. Yin, B.Wan, F. Yuan, X Xia, J. Shi:' A Deep Normalization and Convolutional Neural Network for Image Smoke Detection', IEEE Transactions on Digital Object Identifier, 2017, 8,(25), pp. 18429-18438

[3] J. Chen, Y. He, J. Wang, " Multi-feature fusion based fast video flame detection,"Build. Environ. 45 (5) (May 2010) 1113–1122.

[4] C-Wei Hsu, C.Jen Lin,'A Comparison of Methods for Multiclass Support Vector Machines', IEEE Transactions on neural networks, Taiwan 2002,3, pp. 1–26.

[5] U. Toreyin, Y. Dedeoglu, A.E. Cetin:'Contour Based Smoke Detection in Video Using Wavelets',14th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2006), Florence, Italy, 2006,9,4, pp. 1-5.

[6] Y. LeCun, Y. Bengio, G .Hinton:'Deep Learning', International Journal of Science Nature, 2015,5,(28),pp. 436-444.

[7] G Hinton, S. Osindero, Y. Whye Teh :'A fast learning algorithm for deep belief nets', Neural Computation,Toronto,2006,pp.1527-1554.

[8] N.Zhangab, S. Dingab, J.Zhangab, Y.Xuec:'An overview on Restricted Boltzmann Machines', Neurocomputing, 2018,1,(31), pp. 1186-1199.

[9] A. Khotanzad, C. Chung:'Application of Multi-Layer Perceptron Neural Networks to Vision Problems', Neural Computing and Applications, London, 1998, 9, pp. 249-259.

[10] Chueng Chang, R.Jen Chao:'Application of back-propagation networks in debris flow prediction',Engineering Geology,2006,2,(28) ,pp. 270–280.

Matériaux / Mécanique

La porosité : une question de taille !

Thouraya SALEM[1], Nicolas DUJARDIN[1*], Vincent FEUILLET[1], Magali FOIS[1], Laurent IBOS[1], Rémy MANUEL[2]
[1]Centre d'études et de recherche en thermique, environnement et systèmes, Université Paris-Est
61, avenue du Général de Gaulle – 94010 Créteil Cedex
[2]Centre d'études et de recherche en mécanique et automatismes, Université d'Evry
40, rue du Pelvoux – 91020 Courcouronnes
*(auteur correspondant : nicolas.dujardin@u-pec.fr)

THEMATIQUE - Matériaux – sections 33 et 62

RESUME

Face aux problèmes écologiques et environnementaux qui se posent aujourd'hui, le développement de matériaux de construction bio-sourcés[1] a suscité l'intérêt de nombreuses recherches. L'incorporation de fibres végétales dans les matériaux de construction influe sur leurs propriétés notamment thermiques.

La structure poreuse des bétons est complexe et l'introduction de fibres végétales ne la simplifie pas. La porosité d'un matériau joue un rôle majeur sur son pouvoir isolant. Dans cette étude, nous nous intéressons à la distribution de la taille des pores au sein de bétons bio-sourcés. Pour cela, nous étudions les variations de la conductivité thermique[2] de ces matériaux, en fonction de la pression. Cette variation est liée à l'effet Knudsen qui relie, pour un matériau poreux, la conductivité thermique à la taille des pores. Cette technique présente l'avantage de prendre en considération le matériau dans toute son épaisseur, d'être applicable aux matériaux fragiles et d'être sensible à la taille des pores et non aux seuls orifices d'accès.

Mots-clés—Conductivité thermqiue, porosité, béton bio-sourcés

1. INTRODUCTION

La porosité est un paramètre simple à définir - le rapport entre le volume de vide et le volume de matériau en vrac - mais est difficilement quantifiable. Il y a deux raisons principales. Tout d'abord, la porosité peut aller de l'échelle nanométrique à l'échelle millimétrique, voire supérieure. Deuxièmement, il existe deux types de porosité : les porosités fermées et les porosités ouvertes, connectées à d'autres vides et parfois à l'extérieur du matériau.

La présence de porosité dans les matériaux composites[3] est inhérente au processus de fabrication et parfois au matériau lui-même. Par exemple, des bulles d'air peuvent être piégées lors de la fabrication du matériau (polymérisation de la matrice ou imprégnation du renforcement). Le taux de porosité est directement lié aux mauvaises performances mécaniques du matériau. Par conséquent, de faibles niveaux de porosité sont nécessaires pour obtenir des composites à hautes performances, comme dans le domaine de l'aéronautique par exemple. Ainsi, la porosité doit être réduite au minimum pour certaines applications, alors que dans d'autres cas, par exemple pour les matériaux isolants, une porosité élevée et optimale est recherchée.

La porosité peut être mesurée par un nombre considérable de techniques, destructives[4] ou non. En plus de ces méthodes conventionnelles, les méthodes thermiques pourraient constituer une autre approche de la caractérisation de la porosité. Ces dernières années, la caractérisation des propriétés thermophysiques[5] a été utilisée pour étudier la porosité de nombreux matériaux, en particulier pour les applications isolantes (panneaux d'isolation sous vide, murs de bâtiments…).

Dans un premier temps, nous étudions et comparons les variations de conductivité thermique de cinq bétons renforcés par des fibres végétales dans les proportions suivantes : 0%, 5%, 10%, 15% et 20 %. Dans un second temps, nous utilisons un modèle permettant de remonter à la distribution de la taille de pores au sein d'un matériau à partir des variations de la conductivité thermique en fonction de la pression.

2. MODELISATION DE LA CONDUCTIVITE THERMIQUE

Un matériau poreux est composé en partie d'air dont la conductivité thermique dépend à la fois de sa pression et de la taille des pores dans lequel il est contenu. En conséquence, la taille des pores est un paramètre important dans l'équation de la conductivité thermique de l'air qui est confinée dans un pore. La variation de la conductivité thermique de l'air en fonction de la pression est régie par l'effet Knudsen, selon lequel :

$$\lambda_{air} = \frac{\lambda_{air,atm}}{1 + C(\frac{T}{Pd})} \quad (1)$$

[1] Dont une partie au moins est issue d'agroressources renouvelable et biodégradables

[2] La conductivité thermique caractérise le pouvoir isolant d'un matériau. Plus elle est basse, plus le matériau est isolant.

[3] Un matériau composite comprend une matrice constituée d'un type de matériau et d'un renfort (parfois appelé charge) qui est inclus dans la matrice. Ainsi il est possible d'avoir un matériau à la fois conducteur et léger en utilisant par exemple une matrice polymère dans laquelle on ajoute des charges métalliques.

[4] Une technique est qualifiée de destructive lorsqu'elle ne permet plus d'utiliser l'échantillon une fois l'expérience réalisée.

[5] Parmi les grandeurs comprises dans les propriétés thermophysiques se trouve la conductivité thermique.

où $\lambda_{air,atm}$ = 0,026 $W.m^{-1}.K^{-1}$, C = $2,5.10^{-7}$ $mbar.m.K^{-1}$, d: diamètre équivalent de pores.

La figure 1 montre la variation de la conductivité thermique d'un matériau poreux en fonction de la pression pour différentes tailles de pores. Elle montre clairement que la conductivité thermique de l'air dépend fortement de la taille des pores sur cette gamme de pression. En particulier, les pores les plus petits sont les plus isolants.

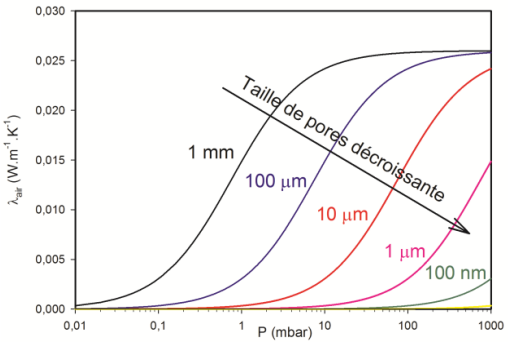


Figure 1 : Conductivité thermique de l'air en fonction de la pression pour différentes tailles de pores (à 300 K)

Félix et al. [1] ont développé un modèle de conductivité thermique effective qui permet, connaissant le taux de porosité global, d'identifier la distribution de la taille des pores. Cette approche consiste à considérer un milieu hétérogène de porosité $\varepsilon_{air} = 1 - \varepsilon_S$ dont la phase solide a une conductivité λ_S et dont la phase fluide est de l'air de conductivité λ_{air}. Une fraction β de la phase solide et α de la phase fluide sont considérées dans un modèle purement parallèle, de conductivité thermique équivalente λ_1. Les fractions restantes $(1-\beta)$ et $(1-\alpha)$ sont également mises en parallèle (conductivité équivalente λ_2). La mise en série de λ_1 et λ_2 correspond à la conductivité thermique équivalente du milieu à une phase solide et N phases fluides. Ce modèle est appelé série-parallèle.

Dans une étude récente [2], nous avons transposé ce modèle aux matériaux faiblement poreux et nous avons développé des extensions à ce modèle. Tout d'abord, l'approche proposée par Félix et al. [1] est basée sur la connaissance du taux global de porosité. Ce dernier, n'est pas toujours connu, et, quand il l'est, dépend de la méthode utilisée pour le déterminer [3]. Sa connaissance est pourtant déterminante puisque la conductivité thermique dépend de la porosité. Aussi, nous avons proposé une normalisation de la conductivité thermique effective afin de s'affranchir de la connaissance de la porosité globale.

3. MATERIAUX ETUDIES/METHODE DE MESURE

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé un ciment portland de type I et du sable (0/5 mm). Des fibres végétales d'environ 1,25 mm de long (illustrées sur la figure 2a) sont incorporées aux bétons dans les propositions suivantes : 0 %, 5 %, 10 %, 15 % et 20 %. Elles sont fournies par l'entreprise EDE Innov' et leur nature est confidentielle. L'échantillon de béton sans fibre est un CEM I.

Figure 2a : Fibres végétales utilisées

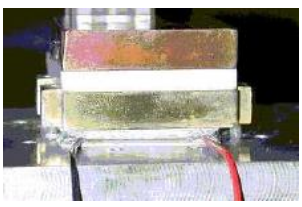


Figure 2b : Vue du porte échantillon du banc expérimental DICO [4]

La méthode DICO (DIffusivité, COnductivité) a été développée au CERTES. Elle permet notamment l'estimation de la conductivité thermique d'un échantillon par une méthode périodique [5]. Un système de pompes à vide et de microfuites permet de faire varier la pression entre le vide secondaire et la pression atmosphérique. Cette gamme de pression permet, d'après l'équation 1, de remonter à des tailles de pores allant de 100 nm à 1 mm.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1. *Masse volumique*

Le tableau 1 regroupe les valeurs de la masse volumique sèche des différents bétons. On remarque que la masse volumique diminue considérablement en augmentant le pourcentage des fibres végétales. Ceci est expliqué par la faible masse volumique des fibres végétales. Ainsi, pour un pourcentage massique des fibres allant de 0 % à 20 %, la densité est diminuée de plus de 30 %. Des résultats similaires ont été obtenus dans la littérature [6].

Tableau 1 : Masse volumique des différents bétons

Taux de fibres	0%	5%	10%	15%	20%
Masse volumique ($kg.m^{-3}$)	213	196	185	165	143

4.2. *Conductivité thermique effective*

La figure 3 présente la variation de la conductivité thermique des différents bétons en fonction de la pression.

A P_{atm}, on constate que la conductivité thermique diminue avec l'ajout de fibres végétales ($\lambda_{CEMI} > \lambda_5 > \lambda_{10} > \lambda_{15} > \lambda_{20}$). Cette diminution s'explique par l'introduction de fibres plus isolantes que le béton et aussi par une possible augmentation de la porosité lors de l'incorporation des fibres.

Lorsque la pression diminue, nous constatons une forte baisse de la conductivité thermique en particulier entre 0,1 et 10 mbar pour chaque béton. La plus forte baisse est obtenue pour le CEM I (diminution de plus de 90 % de la conductivité thermique). Au vide secondaire, nous constatons un autre ordre dans le classement des conductivités ($\lambda_{CEMI} < \lambda_{15} \sim \lambda_{20} < \lambda_{10} > \lambda_5$).

Les conductivités thermiques du CEMI et du béton à 5% de fibres se superposent aux pressions justes en dessous de P_{atm}. En revanche, aux basses pressions, λ_5 est nettement supérieure à λ_{CEMI}. A l'opposé, les conductivités thermiques des échantillons à 15 et 20% de fibres sont assez similaires aux basses pressions, mais elles se séparent lorsque la pression augmente jusqu'à P_{atm} où $\lambda_{15} > \lambda_{20}$.

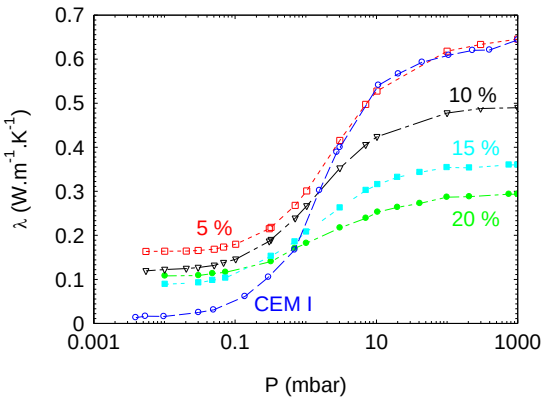


Figure 3 : Conductivité thermique des bétons bio-sourcés en fonction de la pression

4.3. *Normalisation et distribution de taille de pores*

Certaines études montrent que quelle que soit la technique utilisée, le taux global de porosité est toujours le même (à 1 % près) [6]. D'autres, en revanche, montrent que la porosité globale est fortement dépendante de la technique [3]. Par conséquent, il apparaît plus prudent de développer une approche où ce paramètre n'intervient pas.

La figure 4 présente les variations de la conductivité thermique normalisée des bétons en fonction de la pression. Ainsi, les variations observées sont liées à la seule distribution de taille de pores et non à la porosité globale.

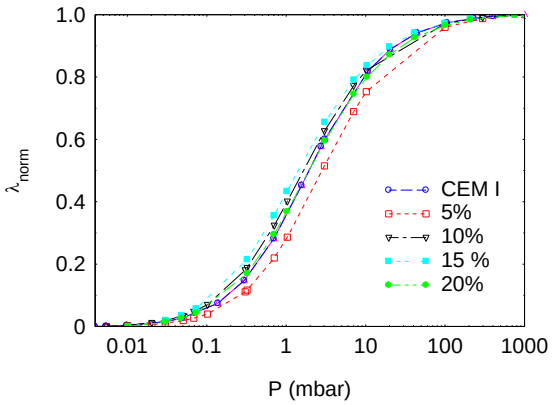


Figure 4 : Conductivité thermique normalisée en fonction de la pression

Sur cette figure on constate que les variations de la conductivité avec la pression sont assez proches les unes des autres. Seul l'échantillon à 5 % de fibres se démarque légèrement des autres en présentant des variations décalées vers les pressions un peu plus élevées (c'est-à-dire dans une zone où l'influence de pores plus petits se fait sentir).

La figure 5 montre la distribution de taille de pores obtenue pour chaque béton à partir du modèle série-parallèle appliquée à la conductivité thermique normalisée. On note en particulier que l'échantillon à 5 % de fibres présente une composante à 20 µm plus élevée que celle à 100 µm, contrairement aux autres échantillons.

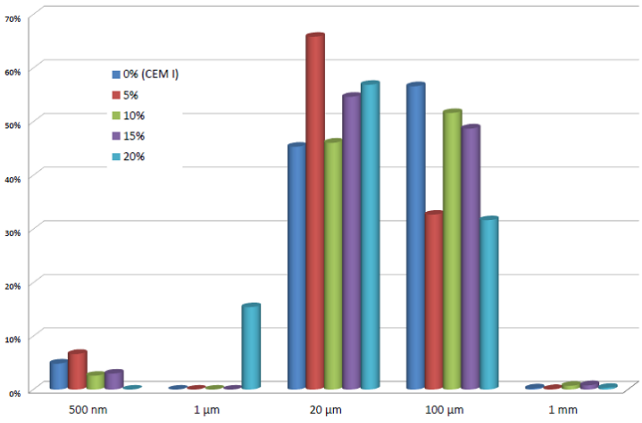


Figure 5 : Estimation de la taille de pores à partir du modèle série-parallèle normalisé

5. CONCLUSIONS

Dans cet article, nous comparons la distribution de taille de pores de bétons renforcés par des fibres végétales pour des taux de fibres variant de 0 à 20%. La conductivité thermique des matériaux poreux dépend de celle de l'air, elle est donc sensible à la pression et à la taille des pores. Les résultats montrent que la conductivité thermique des bétons bio-sourcés varie fortement sur la gamme de pression étudiée. En particulier, elle augmente nettement entre 0,1 mbar et 10 mbar, gamme de pression dans laquelle les pores de 1µm à 100 µm sont influents. Dans un premier temps, cette approche de la porosité par voie thermique a permis de montrer que l'introduction de fibres végétales dans les bétons conduit à davantage de porosité. Dans un deuxième temps, l'utilisation de la conductivité thermique normalisée permet de s'affranchir du taux global de porosité souvent mal connu. Le modèle de conductivité thermique équivalente de type série-parallèle appliqué à cette conductivité thermique normalisée permet d'identifier une taille de pores nettement majoritaire, de l'ordre de 20 – 100 µm, au sein des différents échantillons. Celle-ci varie peu en fonction du taux de fibres.

6. REFERENCES

[1] V. Félix, Y. Jannot, A. Degiovanni, A thermal porosimetry method to estimate pore size distribution in highly porous insulating materials, Review of scientific Instruments, 83 (2012) 054903

[2] N. Dujardin, T. Salem, V. Feuillet, M. Fois, L. Ibos, Etude de la porosité par méthode thermique, Congrès Français de Thermique, Pau, 29 mai - 1er juin (2018), 849-856.

[3] T. Tracz, Open porosity of cement pastes and their gas permeability, Bul. Pol. Ac. Tech., 64-4 (2016), 775-783.

[4] L. Ibos, Métrologie thermique appliquée à la caractérisation thermophysique de composites et au contrôle de structures par thermographie, HDR, Université Paris-Est, (2012).

[5] A. Boudenne, L. Ibos, E. Gehin, Y. Candau, A simultaneous characterization of thermal conductivity and diffusivity of polymer materials by a periodic method, Journal of Physics D: Applied Physics, 37-1 (2004), 132-139.

[6] A. Bouguerra, A. Ledhem, F. deBarquin, R. M. Dheilly, M. Quéneudec, Effect of microstructure on the mechanical and thermal properties of light weight concrete prepared from clay, cement, and wood aggregates, Cement and Concrete Research, 28-8 (1998), 1179–1190.

CNRIUT'2019
Congrès National de la Recherche des IUT
Institut Universitaire de Technologie
6 et 7 juin 2019, Toulon

Porosité de bétons bio-sourcés par méthode thermique

Thouraya Salem, Nicolas Dujardin, Vincent Feuillet, Magali Fois, Laurent Ibos
Centre d'Etudes et de Recherche en Thermique, Environnement et Systèmes (EA 3481)
61 avenue du Général de Gaulle, 94010 Créteil Cedex, France

Contexte et objectifs

La conductivité thermique d'un isolant poreux dépend fortement de celle du gaz interstitiel, et celle-ci dépend à la fois de la pression et de la taille du pore considéré, il est donc possible de relier les tailles des pores à la conductivité thermique du milieu.

L'objectif de cette étude est la détermination de la distribution de la taille de pores au sein de bétons bio-sourcés à partir des variations de la conductivité en fonction de la pression. Un modèle de conductivité thermique effective a été utilisé.

Matériaux et méthodes

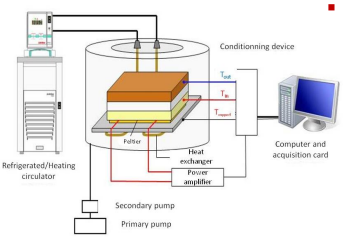


Figure 1 : Schéma du dispositif permettant la mesure de la conductivité thermique à pression variable *(Boudenne (2004), Journal of Physics D: Applied Physics, 37-1, 132-139)*

- **Bétons à matrice cimentaire**
  - CEM I (Portland)
  - BFUP (Ultra-hautes Performances)
- **Bétons bio-sourcés**
  - CEM I (Portland) ; fibres végétales (1.25 mm de long)

Pourcentage massique de fibres incorporées : :
0%, 5%, 10%, 15%, 20%

Modélisation

Effet Knudsen

$$\lambda_{air} = \frac{\lambda_{air,atm}}{1 + C\left(\frac{T}{Pd}\right)}$$

$\lambda_{air,atm}$ = 0.026 W.m^{-1}.K^{-1}
C = 2.5.10^{-7} mbar.m.K^{-1}
d : diamètre de pore

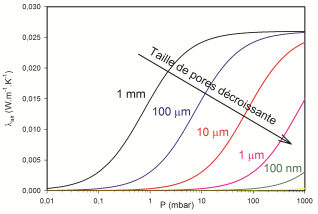


Figure 2 : Conductivité thermique de l'air en fonction de la pression pour différentes tailles de pores (à 300 K)

Conductivité thermique effective

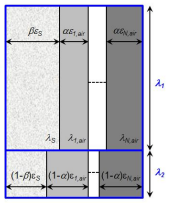


Figure 3 : Schéma du modèle série/parallèle à *N*+1 phases *(Félix (2012), Rev. Sci. Instrum. 83, 054903)*

$$\lambda = \frac{1}{\frac{\beta\varepsilon_S + \alpha(1-\varepsilon_S)}{\lambda_1} + \frac{(1-\beta)\varepsilon_S + (1-\alpha)(1-\varepsilon_S)}{\lambda_2}}$$

λ : conductivité thermique (W.m^{-1}.K^{-1})
ε : taux de porosité

$$\lambda_1 = \frac{\beta\varepsilon_S\lambda_S + \alpha\sum_{i=1}^{N}\varepsilon_{i,air}\lambda_{i,air}}{\beta\varepsilon_S + \alpha(1-\varepsilon_S)} \quad \text{et} \quad \lambda_2 = \frac{(1-\beta)\varepsilon_S\lambda_S + (1-\alpha)\sum_{i=1}^{N}\varepsilon_{i,air}\lambda_{i,air}}{(1-\beta)\varepsilon_S + (1-\alpha)(1-\varepsilon_S)}$$

Extensions du modèle

- Distribution unimodale

$$\varepsilon(d) = \Delta d \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-0.5\left[\frac{(d-d_{moy})}{\sigma}\right]^2\right\}\varepsilon_{air}$$

Paramètres estimés :
- d_{moy} : diamètre moyen des pores
- σ : écart type

- Normalisation

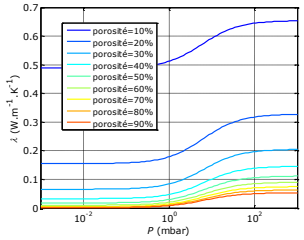


Figure 4 : Variation de la conductivité thermique de l'air en fonction de la pression pour différents taux de porosité global (d = 10 µm)

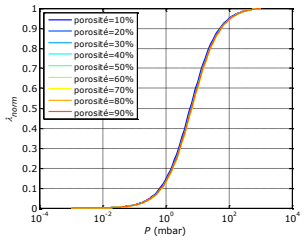


Figure 5 : Conductivité normalisée en fonction de la pression pour différents taux de porosité

→ Affranchissement du taux global de porosité

Résultats

Bétons à matrice cimentaire

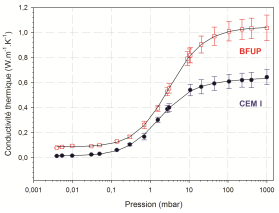


Figure 6 : Variation de la conductivité thermique en fonction de la pression pour deux bétons à matrice cimentaire : CEM I, BFUP (ajustement avec le modèle série/parallèle)

BFUP	d_{moy} (µm)	σ (µm)
unimodal	16	0.3
normalisé	24	6.8

Légère augmentation des tailles de pores après normalisation

CEM I

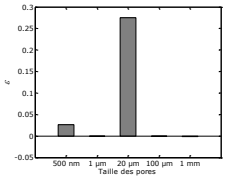


Figure 7 : Estimation de la distribution de taille de pores au sein du CEM I à partir du modèle série-parallèle

Bimodal

BFUP

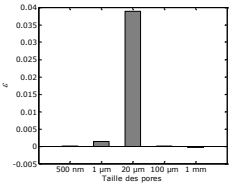


Figure 8 : Estimation de la distribution de taille de pores au sein du BFUP à partir du modèle série-parallèle

Unimodal

Normalisation

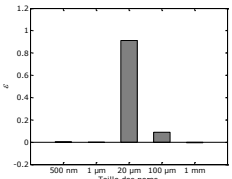


Figure 9 : Estimation de la distribution de taille de pores au sein du BFUP à partir du modèle série-parallèle normalisé

Bétons bio-sourcés

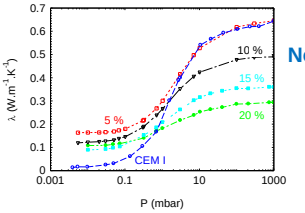


Figure 10 : Variation de la conductivité thermique des bétons bio-sourcés en fonction de la pression

Normalisation

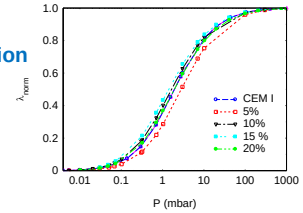


Figure 11 : Conductivité thermique normalisée en fonction de la pression

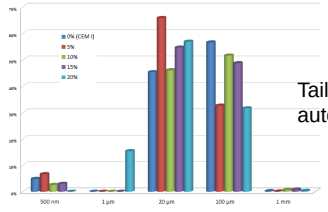


Figure 12 : Estimation de la taille de pores à partir du modèle série-parallèle normalisé

Taille de pores majoritaire autour de 20-100 µm

Conclusions

- Transposition du modèle des matériaux fortement poreux (~90 %) aux matériaux faiblement poreux (~20%).
- Les ciments possèdent une macroporosité (~20 µm) souvent sous-estimée.
- La technique utilisée ne permet pas d'estimer finement la distribution de pores capillaires (~100 nm).
- Les bétons bétons bio-sourcés étudiés possèdent une taille de pores majoritaire de l'ordre de 20-100 µm

sciencesconf.org:cnriut2019:261563

Détermination rapide du comportement en fatigue des composites stratifiés en Carbone/Epoxyde basés sur des phénomènes thermodynamiques observés par thermographie infrarouge

Jia Huang[1,2], Christian Garnier[2], Marie-Laetitia Pastor[1], Xiaojing Gong[1]
[1] Univ. Toulouse, IUT Tarbes, ICA, 1 rue Lautréamont, F-65016 Tarbes, France
[2] Univ. Toulouse, INP-ENIT, LGP, 47 avenue d'Azereix, F-65016 Tarbes, France

- **THEMATIQUE - Matériaux – Mécanique, 60ème**

RESUME - Les objectifs de cette étude sont de développer des méthodologies pour évaluer rapidement le comportement en fatigue des composites stratifiés carbone/époxyde à partir de l'analyse des données thermodynamiques mesurées par une caméra infrarouge et d'examiner la corrélation entre la dissipation d'énergie et les dommages générés par la fatigue.

Mots-clés— Composite stratifié PRFC, Thermographie infrarouge, Préision de la durée de vie en fatigue

Introduction

En 1830, Wilhelm Albert, administrateur allemand de mines, enregistra pour la première fois les observations de la fatigue sur des métaux lorsque ceux-ci subissaient une contrainte cyclique (variable et répétée). Trente ans plus tard, August Wöhler a examiné le comportement en fatigue des matériaux en traçant une courbe qui représente l'évolution de niveau de la contrainte appliquée en fonction de nombre de cycles à la rupture (S-N curve en anglais), également appelée courbe de Wöhler. Depuis lors, le comportement des matériaux en fatigue est considéré comme l'une des propriétés mécaniques les plus importantes lors de la conception. Jusqu'à présent, les courbes de Wöhler sont encore largement utilisées pour caractériser le comportement à la fatigue des matériaux. Cependant, la détermination de ces courbes n'est pas facile. Des centaines d'heures machine et des milliers de dollars sont nécessaires pour acquérir une courbe S-N d'un matériau. De plus, les propriétés de fatigue peuvent être influencées par la taille de l'échantillon, la rugosité de la surface, l'environnement d'essai (température, humidité…), les conditions de charge (la variation de contrainte en terme de moyenne et d'amplitude, fréquence…), etc. Ainsi, avec un simple changement de ces facteurs, les courbes peuvent être différentes. Par conséquent, les chercheurs ont essayé de réduire les tests de fatigue et de prédire le comportement en fatigue sur une courte période pendant des décennies.

La science des matériaux a considérablement progressé au cours du siècle dernier. Presque au cours de la même période où Wöhler a proposé les S-N courbes, Joseph Swan a produit pour la première fois des fibres de carbone. À la fin des années 50, les polymères renforcés de fibres de carbone (PRFC) ont commencé à être fabriqués et utilisés dans des applications industrielles. Grâce à leur résistance spécifique et leur rigidité spécifique (par une unité de poids) très élevées, les PRFC sont de plus en plus utilisés dans les domaines où la légèreté des structures est aussi importante que sa résistance et sa rigidité, tels que les transports (aéronautique et aérospatiale, automobiles…), les infrastructures civiles, les articles de sport, etc. Cependant, la conception mécanique des structures en composite stratifié est beaucoup plus compliquée car ces matériaux sont hétérogènes, anisotropes et leurs modes d'endommagement complexes dépendent fortement du type de sollicitation. Jusqu'à ce jour, la conception des structures mécaniques en composites stratifiés est souvent basée sur les charges statiques, l'imposition d'un coefficient de sécurité relativement élevé permet de couvrir les charges cycliques. Actuellement avec de plus en plus d'exigences à la fois sur la performance et la légèreté des structures mécaniques, mais aussi sur les coûts de fabrication et d'exploitation, le comportement en fatigue des composites stratifiés fait l'objet d'une grande attention. Or les propriétés en fatigue des composites stratifiés en PRFC peuvent être influencées par encore plus de facteurs que ceux pour les métaux, tels que la nature des fibres et de la matrice, la qualité de l'interface fibre/matrice, la fraction volumique des fibres, la séquence d'empilement du stratifié, le processus de fabrication, et le type de sollicitation, …etc. De plus, les mécanismes d'endommagement du PRFC sont multiples et difficiles à découpler. Ainsi, l'évolution de la dégradation du matériau est très compliquée, ce qui rend plus difficile la prévision de la durée de vie des structures en fatigue. Les tests classiques de la caractérisation des propriétés en fatigue très coûteux en temps et en argent deviennent impossibles devant toutes ces difficultés.

Afin de proposer des solutions sur la prévision des propriétés en fatigue des composites stratifiés de façon rapide et précise, cette étude vise à exploiter le phénomène d'auto-échauffement des composites soumis à des charges cycliques. Nous avons développé des méthodologies pour évaluer rapidement les propriétés en fatigue des stratifiés en carbone/époxyde à partir de l'analyse des données thermodynamiques mesurées par une caméra infrarouge et d'examiner la corrélation entre la dissipation d'énergie et la dégradation de la rigidité de l'éprouvette due aux dommages générés lors de charges cycliques.

1. DEMARCHES (FIGURE 1)

Cette étude consiste à :

1. Effectuez des tests de fatigue sur les stratifiés PRFC avec différentes séquences d'empilement avec une caméra infrarouge pour obtenir les données thermographiques originales (≈15h en machine); les tests classiques sur les mêmes stratifiés sont également réalisés (≈500h en machine) afin de valider les méthodes proposées ;

2. Proposer l'amélioration des méthodes graphiques existantes afin d'obtenir la limite de fatigue de façon statistique, scientifique et unique ;
3. Développer et valider un modèle original basé sur les informations à la fois des données thermographiques et de la dégradation de la rigidité afin de déterminer rapidement la courbe S-N des stratifiés PRFC ;
4. Corréler le phénomène d'auto-échauffement, l'énergie dissipée avec les mécanismes d'endommagement des composites sous chargement cyclique à partir des modèles numériques en éléments finis ;
5. Proposer et valider un autre modèle original basé sur des données thermographiques mesurées et l'énergie dissipée par l'endommagement du matériau calculé par les modèles numériques.

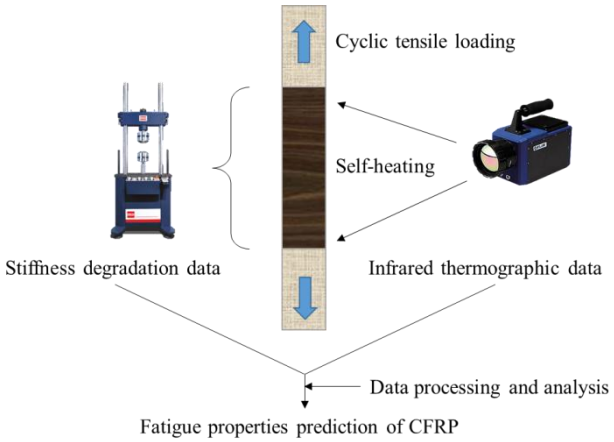


Fig. 1 Schéma des méthodes développées dans cette étude

2. RÉSULTATS

Les résultats obtenus montrent que les méthodes proposées dans ce travail sont très prometteuses.

D'abord, trois nouvelles méthodes numériques basées sur l'analyse statistique dans le traitement des données thermiques ont tout d'abord été proposées afin d'éviter les incertitudes humaines dans l'application des méthodes graphiques traditionnelles telles que la méthode de Luong [1-4] et celle de Risitano [5-9]. Ces trois méthodes ont toutes été évaluées en déterminant la limite de fatigue avec unicité selon les données expérimentales obtenues dans la littérature. Les résultats sont très cohérents par rapport à ceux obtenus par les tests classiques [10-12].

Ensuite, un modèle empirique a été proposé pour caractériser la dégradation de la rigidité des stratifiés carbone en fonction de l'augmentation du nombre de cycles [13-16] :

$$N_f = \left(\frac{1-k_f}{p\Delta T_{stab}}\right)^q \quad \text{où } \Delta T_{stab}=f(\sigma_a) \qquad (1)$$

Où ΔT_{stab} est la variation de la température stabilisée mesurée par la caméra IR pour une amplitude de contrainte σ_a ; N_f est le nombre de cycles associé à la limite de fatigue ; k_f désigne la rigidité en traction dégradée normalisée associée à N_f ; p et q sont deux paramètres du matériau à déterminer empiriquement. Après la calibration de ces paramètres et le calcul du seuil de la rigidité normalisée, toute la courbe S-N peut être obtenue dans un temps très court (10-12h). Cette méthodologie est d'abord vérifiée par les données expérimentales de la littérature pour un stratifié tressé triaxialement, puis appliquée avec succès aux données expérimentales de cette étude $[0°]_8$, $[+45°/-45°]_8$ et $[(0°/90°)_2/0°/(90°/0°)_2]$. La figure 2 présente les résultats pour un stratifié PRFC $[\pm45°]_8$. Il est montré que les résultats expérimentaux mesurés par les tests classiques sont pratiquement situés entre les courbes S-N prévues par le modèle pour une durée de vie conventionnelle à 10^6 et 10^7 cycles. La prévision de la durée de vie obtenue par ce modèle est donc très satisfaisante [4].

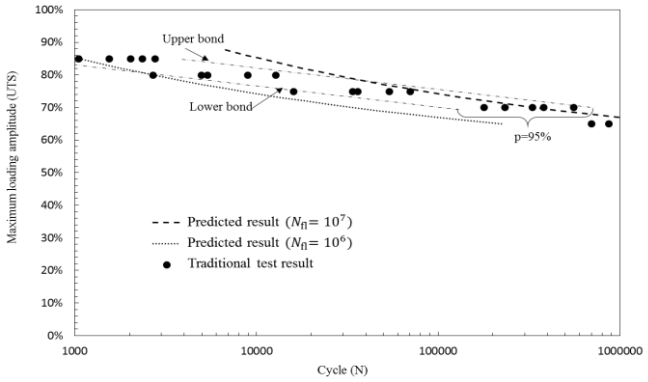


Fig. 2 Comparaison des courbes S-N d'un stratifié PRFC $[\pm45°]_8$ en traction (R=0,1, f=5hz) obtenues expérimentalement et numériquement

En parallèle, les mécanismes du phénomène d'auto-échauffement en fatigue sont étudiés par des modèles numériques éléments finis [5]. La chaleur générée dans les stratifiés testés soumis à une traction cyclique est estimée quantitativement en combinant les résultats de la simulation de transfert de chaleur et de l'expérience. Il s'avère que la chaleur dégagée par le frottement interne dans le stratifié $[+45°/-45°]_8$ est significativement supérieure à celle dans les stratifiés $[0°]_8$ et $[(0°/90°)_2/0°/(90°/0°)_2]$. En considérant la limite de fatigue comme seuil d'endommagement et la génération de chaleur provoquée par le frottement interne en fonction polynomiale quadratique de l'amplitude de chargement, il est donc possible de dissocier la chaleur générée par le frottement et les autres endommagement du matériau. Les résultats montrent que la chaleur totale dissipée par unité de volume liée à l'endommagement du matériau durant l'ensemble de l'essai : $H_{d\text{-}damage}$, est indépendante du niveau de la contrainte appliquée pour un stratifié donné. Cette constatation importante a permis de proposer le deuxième modèle pour déterminer la courbe S-N entière.

Concrètement, en fonction des différentes causes, la chaleur totale générée au cours des essais de fatigue a été séparée en deux parties : chaleur induite par le frottement interne et celle induite par la déformation micro-plastique et la propagation de microfissures. Cette dernière, nommée $Q_{d\text{-}damage}$, peut variée en fonction du niveau de l'amplitude de la contrainte σ_a. Par contre, comme indiqué précédemment, la production totale de chaleur correspondant aux dommages durant l'ensemble de l'essai semble être une valeur intrinsèque du matériau testé. Nous pouvons donc déterminer la courbe S-N basée sur les données de la thermographie et de l'énergie dissipée par l'endommagement:

$$N_f = \frac{H_{d\_damage}\cdot f}{Q_{d\_damage}} = \frac{H_{d\_damage}\cdot f}{g(\sigma_a)} \qquad (2)$$

Où f est la fréquence du chargement cyclique. La détermination de $H_{d\text{-}damage}$ et $Q_{d\text{-}damage}$ =g(σ_a) nécessitent non seulement des mesures de température sur les éprouvettes durant l'ensemble des essais, mais aussi un modèle numérique. L'intérêt de cette méthode est multiple par rapport au premier

modèle proposé. D'abord, il n'est pas nécessaire de connaitre la limite de fatigue dont la définition du nombre de cycle à rupture n'est pas très claire (10^6 ou 10^7 cycles ?) ; deuxièmement, le modèle numérique permet de mieux comprendre les mécanismes du phénomène d'auto-échauffement des composites en fatigue, sans cette étape, la prévision du comportement en fatigue d'un stratifié quelconque à partir des stratifiés de base n'est jamais possible ; finalement, les modèles numériques permettent également de prendre en compte le comportement thermomécanique et rendent cette méthode plus crédible.

Dans ce travail, nous avons appliqué ce modèle sur les stratifiés $[+45°/-45°]_8$, $[0°]_8$ et $[(0°/90°)_2/0°/(90°/0°)_2]$. Les résultats de la prévision de durée de vie par ce modèle ont montré également une bonne corrélation avec ceux obtenus par les tests classiques. La figure 3 montre les résultats obtenus pour le stratifié $[+45°/-45°]_8$.

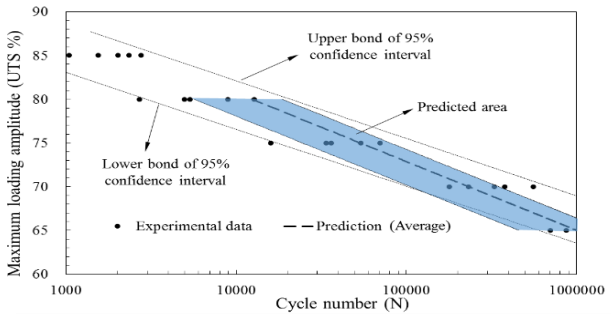


Fig. 3 Comparaison des courbes S-N d'un stratifié PRFC $[\pm45°]_8$ en traction (R=0,1, f=5hz) obtenues expérimentalement et numériquement

3. Conclusions

D'abord, la détermination de la limite de fatigue par des méthodes graphiques existantes appliquées aux mesures thermiques implique une inspection visuelle et contient des incertitudes créées par l'homme. Trois nouvelles méthodes de dépouillement de résultats sont donc développées afin de déterminer la limite de fatigue avec unicité. Les trois méthodes proposées sont d'abord validées par des données expérimentales de la littérature et ensuite validées sur de nouvelles données recueillies lors de nos essais classiques de fatigue sur les stratifiés PRFC. La robustesse de ces trois méthodes a été étudiée. Il est démontré que la méthode basée sur le calcul de la qualité de l'ajustement est plus précise et plus adaptée à tous types de matériaux. Les erreurs relatives entre la limite de fatigue déterminée par cette méthode et celle mesurée par les tests classiques pour tous les cas étudiés est inférieure à 6%.

Ensuite, une nouvelle méthodologie de la détermination de la durée de vie en fatigue des composites stratifiés en carbone/époxyde a été proposée et validée. Ce modèle est basé sur la combinaison de la dégradation de la rigidité et de la variation de la température mesurée par une caméra IR au cours de l'essai de fatigue des stratifiés. Il est donc possible d'obtenir rapidement la courbe de Wölher (courbe S-N) avec un temps de machine raisonnable (10-12 heures), ce qui est nettement plus rapide que les tests de fatigue classiques (autour de 500heures machine).

Finalement, grâce à la modélisation numérique des stratifiés un deuxième modèle basé sur les chaleurs dégagées par le stratifié lors d'un essai de fatigue a été proposé. Cette méthode permet non seulement la détermination rapide de la courbe S-N sans connaitre la limite de fatigue ; mais aussi la meilleur compréhension des mécanismes du phénomène d'auto-échauffement observé sur les composites stratifiés sous chargement cyclique.

4. Remerciements

Cette étude a été subventionnée par « China Scholarship Council », les auteurs adressent leurs remerciements

5. References

[1] M.P. Luong, Fatigue limit evaluation of metals using an infrared thermographic technique, Mechanics of Materials 28(1) (1998) 155-163.

[2] M.P. Luong, Infrared thermographic scanning of fatigue in metals, Nuclear Engineering and Design 158(2) (1995) 363-376.

[3] M.P. Luong, Infrared thermography of fatigue in metals, Aerospace Sensing, International Society for Optics and Photonics (1992), 222-233.

[4] M.P. Luong, K.D. Van, Metal fatigue limit evaluation using infrared thermography, Proceedings of Workshop Advanced Infrared Technology and Applications, Capri (Italy), 1993 245–253.

[5] G. Fargione, A. Geraci, G. La Rosa, A. Risitano, Rapid determination of the fatigue curve by the thermographic method, International Journal of Fatigue 24(1) (2002) 11-19.

[6] G. La Rosa, A. Risitano, Thermographic methodology for rapid determination of the fatigue limit of materials and mechanical components, International Journal of Fatigue 22(1) (2000) 65-73.

[7] A.L. Geraci, G. La Rosa, A. Risitano, M. Grech, Determination of the fatigue limit of an austempered ductile iron using thermal infrared imagry, Digital Photogrammetry and Remote Sensing'95, International Society for Optics and Photonics (1995) 306-317.

[8] A. Geraci, G. La Rosa, A. Risitano, On the new methodology for the determination of the fatigue limit of materials using thermal infrared techniques, Risk Minimization by Experimental Mechanics (1992) 183-190.

[9] A. Risitano, G. Risitano, Cumulative damage evaluation of steel using infrared thermography, Theoretical and Applied Fracture Mechanics 54(2) (2010) 82-90.

[10] J. Huang, M.L. Pastor, C. Garnier and X. Gong. Rapid evaluation of fatigue limit on thermographic data analysis. International Journal of Fatigue 104 (2017) 293-301.

[11] J. Huang, M.-L. Pastor, C. Garnier and X. Gong. Rapid determination of fatigue limits of composites by Luong's method and its improvement. Proceedings of ICCM21 (2017).

[12] J. Huang, M.L. Pastor, C. Garnier and X. Gong. Self-Heating Method for Rapid Determination of Fatigue Limit of Composite Laminates. Proceedings of Chinese--Franco Symposium (2017).

[13] J. Huang, M.L. Pastor, C. Garnier, X.J. Gong, A new model for fatigue life prediction based on infrared thermography and degradation process for CFRP composite laminates, International Journal of Fatigue 120 (2019) 87-95.

[14] J. Huang, M.L. Pastor, C. Garnier and X. Gong. Rapid evaluation of S-N curve for composite laminates on thermographic approach[C]//MATEC Web of Conferences. EDP Sciences, 2018, 165: 07008.

[15] J. Huang, M.L. Pastor, C. Garnier and X. Gong. Investigation of damage evolution and life prediction in CFRP laminates under cyclic loading through an energy dissipation approach. Proceedings of ACMA (2018).

[16] J. Huang, M.L. Pastor, C. Garnier and X. Gong. Rapid evaluation fatigue life in cross-ply CFRP laminates based on fracture fatigue entropy. Proceedings of ICSAAM 2018

Effet de l'ajout de fibres de *Posidonia-Oceanica* sur les proprietés thermiques et mécanique d'une pâte de ciment

Ons HAMDAOUI[1], Atef MAZIOUD[1], Laurent IBOS[2], Oualid LIMAM[3]
[1] IUT de Sénart-Fontainebleau, Université Paris-Est Créteil Val de Marne
Centre d'Étude et de Recherche en Thermique, Environnement et Systèmes, CERTES - EA 3481
[2] IUT de Créteil-Vitry, Université Paris-Est Créteil Val de Marne
Centre d'Étude et de Recherche en Thermique, Environnement et Systèmes, CERTES - EA 3481
[3] École Nationale d'Ingénieurs de Tunis, Université de Tunis El Manar Laboratoire de Génie Civil

THEMATIQUE

- Énergie - Environnement
- Matériaux - Mécanique

RESUME - Cet article concerne la caractérisation des propriétés thermiques et mécaniques d'une pâte de ciment renforcée par des fibres de *Posidonia-Oceanica*. Du point de vue thermique, l'effet de la fraction volumique de fibres de *Posidonia-Oceanica* sur les propriétés thermophysiques des composites durcis a été étudié. Il apparaît que les composites incluant des fibres sont légèrement moins denses : la masse volumique diminue de 7%. Les propriétés isolantes de la matrice cimentaire sont également améliorées : une diminution de 22% de la conductivité thermique a été notée pour 20% en volume de fibres. L'effet de l'introduction de fibres sur la diffusivité thermique et sur la capacité thermique massique n'est pas significatif. Du point de vue mécanique, les essais mécaniques de flexion 3 points et de compression effectués sur des composites contenant des quantités variables de fibres ont révélé que la résistance à la traction et la résistance à la compression augmentent de 27% au maximum. La fraction volumique optimale de fibres pour la résistance mécanique est comprise entre 5 à 10%. Par ailleurs, les essais mécaniques de flexion 3 points sur des éprouvettes pré-fissurées ont permis de calculer la ténacité des composites en fonction de la fraction volumique en fibres. Celle-ci augmente linéairement avec la fraction volumique en fibres, jusqu'à 65% pour une fraction volumique de 20% par rapport à la pâte de ciment de référence.

Mots-clés—Matériaux de construction, fibres naturelles, propriétés mécaniques, propriétés thermiques.

1. INTRODUCTION

Ce travail s'inscrit dans le contexte de la réduction de la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment par le développement des matériaux de construction à impact environnemental limité.

L'usage des fibres naturelles dans le développement des matériaux de l'habitat s'inscrit parfaitement dans cette démarche parce qu'il s'agit de la valorisation d'une ressource renouvelable, biodégradable et de faible coût.

Dans des travaux antérieurs, nous avons montré que les fibres de *Posidonia-Oceanica* peuvent être utilisées comme un matériau d'isolation thermique pour le bâtiment [1], [2] et [3]. Dans cet article, nous souhaitons déterminer l'effet de l'ajout de ces fibres sur les propriétés thermiques et mécaniques d'une pâte de ciment. Pour ce faire, nous avons mené une étude expérimentale sur les composites cimentaires incluant des fibres avec des fractions volumiques allant de 0 à 20%

2. PREPARATION DES ECHANTILLONS

Les fibres de *Posionia-Oceanica*, une plante marine très abondante dans la méditerranée, sont préalablement séchées à l'étuve à 40°C pendant 24 h. Le ciment utilisé est un CEM I 42.5 R. La poudre de ciment a été initialement malaxée avec les fibres. Les fractions volumiques des fibres testées sont 0%, 5%, 10%, 15%, et 20%. L'eau est par la suite ajoutée avec le rapport eau-ciment E/C = 0.5. Le produit final est versé dans des moules de dimensions 44 × 44 × 10 mm^3 pour les mesures thermiques et dans des moules de dimensions 40 × 40 × 160 mm^3 pour les essais mécaniques. Des éprouvettes pré-fissurées avec des entailles à mi- travée de 8 mm ont été également fabriquées pour mesures de ténacité. Trois échantillons ont été préparés pour chaque série. Le démoulage a été effectué 24 h après le coulage. Les échantillons ont été conservés au laboratoire jusqu'à stabilisation de la masse. Les échantillons sont considérés stables après 28 jours de séchage. Un enregistrement de température et de l'humidité dans le local de stockage est effectué durant toute la durée du séchage.

3. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

3.1. *Propriétés thermophysiques*

3.1.1. *Masse volumique*

L'augmentation de la fraction volumique des fibres dans la matrice rend le matériau légèrement moins dense. En effet, la masse volumique passe de 1760 kg.m^{-3} à 1630 kg.m^{-3} (soit une réduction de 7% par rapport à l'échantillon témoin) (Cf. fig.1).

Par ailleurs, l'évolution de la masse volumique des composites doit suivre une relation affine en fonction de la masse volumique des fibres, selon la relation suivante :

$$\rho_H = \varphi\rho_f + (1-\varphi)\rho_m \quad (1)$$

Nous remarquons que cette loi est vérifiée pour les échantillons incluant des fibres. En revanche, la masse volumique obtenue pour $\varphi=0$ est inférieure à la masse volumique de l'échantillon sans fibres. Ceci tend à montrer que l'incorporation de fibres dans la matrice cimentaire tend à accroitre la porosité de la matrice.

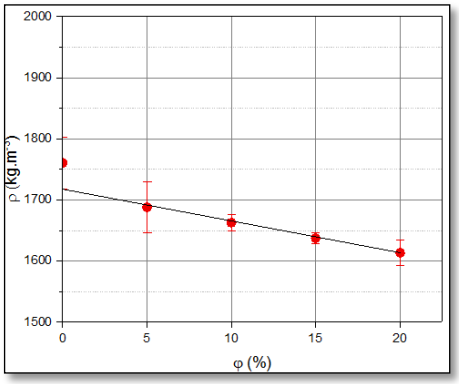


Fig.1 Variation de la masse volumique des échantillons en fonction de la fraction volumique des fibres

3.1.2. *Conductivité thermique*

La conductivité thermique des échantillons passe de 0.718 W.m^{-1}.K^{-1} pour le ciment seul à 0.559 W.m^{-1}.K^{-1} pour le composite avec 20% en volume de fibres, ce qui correspond à une réduction de 22% (Cf. fig.2). En effet, en plus du fait que les fibres possèdent une conductivité thermique plus faible que la matrice, l'ajout de fibres dans la matrice crée également de nombreuses interfaces qui agissent thermiquement comme des résistances de contact successives et conduisent à une diminution de la conductivité thermique.

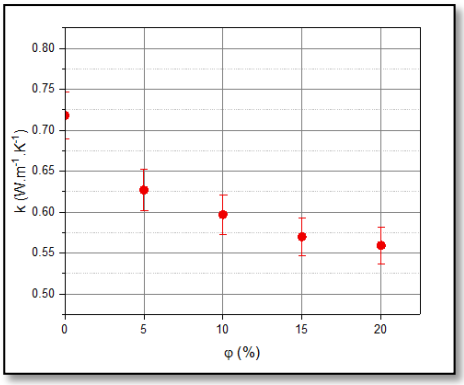


Fig.2 Variation de la conductivité thermique des échantillons en fonction de la fraction volumique des fibres

3.1.3. *Diffusivité thermique*

La diffusivité thermique des composites est comprise entre 0.362×10^{-6} m^2.s^{-1} et 0.298×10^{-6} m^2.s^{-1}. Elle diminue légèrement avec l'incorporation des fibres dans la matrice cimentaire. Une diminution de 12% est observée dès l'introduction de 5% de fibres. Par contre, nous ne notons pas de variation significative des valeurs de diffusivité thermique en augmentant la fraction volumique des fibres au-delà de 5% (Cf. fig.3).

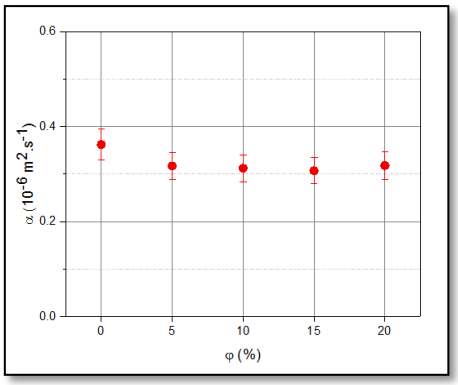


Fig.3 Variation de la diffusivité thermique des échantillons en fonction de la fraction volumique des fibres

3.1.4. *Capacité thermique massique*

La capacité thermique massique des échantillons est déterminée à partir des mesures de la masse volumique ρ, de la conductivité thermique k et de la diffusivité thermique α selon la relation suivante :

$$C_p = \frac{k}{\rho\alpha} \quad (2)$$

Nous n'avons pas noté une variation significative dans les valeurs de la capacité thermique massique en fonction de la variation de la fraction volumique des fibres. Les valeurs de la capacité thermique massique variant autour de 1127 J.kg^{-1}.K^{-1}, augmentent légèrement avec l'introduction d'une fraction volumique de 5% en fibres (Cf. fig.4).

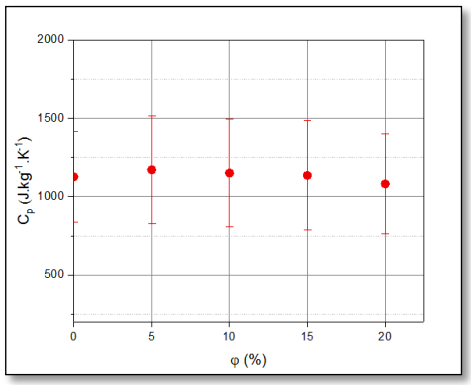


Fig.4 Variation de la capacité thermique massique des échantillons en fonction de la fraction volumique des fibres

3.2. *Propriétés mécaniques*

3.2.1. *Résistance à la traction*

Nous observons que la résistance à la traction des composites obtenue par flexion augmente de 27% pour les composites incluant 5% en volume de fibres par rapport au ciment témoin. Au-delà de ce dosage, les valeurs de la résistance à la traction diminuent mais restent supérieures à la résistance de la pâte de ciment non renforcée (Cf. fig.5).

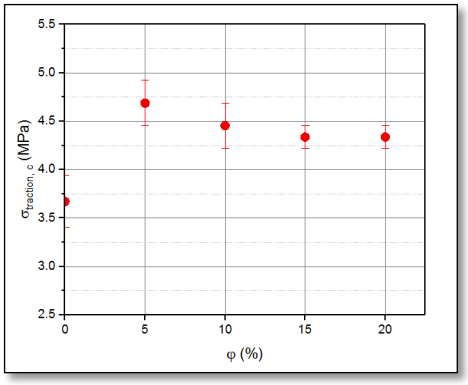


Fig.5 Variation de la résistance à la traction par flexion des composites en fonction de la fraction volumique des fibres

3.2.2. *Résistance à la compression*

Les valeurs expérimentales de la résistance à la compression des échantillons en fonction de la fraction volumique des fibres révèlent un comportement à la compression identique à celui de la traction. La résistance à la compression augmente avec l'ajout de fibres jusqu'à un maximum correspondant à une augmentation de 27% par rapport à l'échantillon témoin. Puis, elle diminue. En revanche, l'optimum en compression est obtenu à 10% de fibres (Cf. fig.6).

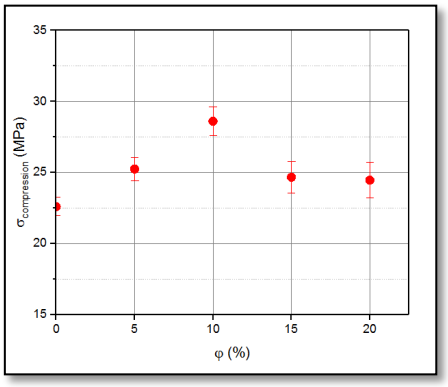


Fig.6 Variation de la résistance à la compression des composites en fonction de la fraction volumique des fibres

3.2.3. *Ténacité*

Les valeurs de la ténacité, appelée encore facteur d'intensité de contrainte critique, sont obtenu en utilisant des éprouvettes pré-entaillées.

Nous observons une augmentation linéaire et significative du facteur d'intensité de contraintes quand la fraction volumique des fibres augmente. Une augmentation de 65% est notée pour les composites incluant 20% en fibres. Nous pouvons ainsi en déduire que l'ajout de fibres améliore significativement la ténacité du matériau et donc sa résistance à la propagation de fissures. Ceci prouve que la fragilité du matériau diminue et que sa ductilité augmente. Cette propriété est à la fois attendue et recherchée.

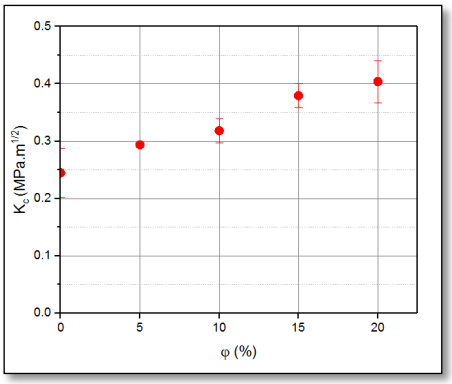


Fig.7 variation de la ténacité en fonction de la fraction volumique des fibres

4. Conclusions

La valorisation de fibres de *Posidonia-Oceanica* dans une matrice cimentaire est ainsi intéressante : les propriétés isolantes et mécaniques du matériau sont améliorées. Le choix de la quantité de fibres dépend de l'application visée. Si celle-ci nécessite une résistance maximale, la fraction volumique de fibres ne doit de préférence pas dépasser 10%. Si les propriétés isolantes ou la ductilité sont prioritaires, la fraction volumique peut être supérieure. Les mesures expérimentales présentées dans cet article sont complétées par le développement des modèles analytiques simplifiés pour certaines propriétés et ont permis d'obtenir des modèles de conductivité thermique, de résistance à la traction, de résistance à la compression et de ténacité en fonction de la fraction volumique de fibres dans le matériau [3].

5. References

[1] O. Hamdaoui, L. Ibos, A. Mazioud, M. Safi, O. Limam, « Thermophysical characterization of Posidonia Oceanica marine fibers intended to be used as an insulation material in Mediterranean buildings», Construction and building materials, 180, 68-76, 2018.

[2] O. Hamdaoui, L. Ibos, A. Mazioud, M. Safi, O. Limam, « Utilisation de fibres naturelles d'origine marine Posidonia-Oceanica pour l'isolation thermique des batiments – Caractérisation thermique des fibres», CNRIUT, Aix en Provence, 2018.

[3] O. Hamdaoui, « Caractérisation thermique et mécanique de fibres naturelles d'origine marine en vue de leur utilisation dans les matériaux de l'habitat », thèse de doctorat, Université Paris Est, Université de Tunis El Manar, 2018.

Mesure de l'atténuation acoustique d'un matériau bio-sourcé : la mousse de tanin

Jean-François FONTAINE[1], Marc LEIMGRUBER, Julian TOURNIER, Hawa TOURE, Jimy GRANDPERRIN
jffont@iut-dijon.u-bourgogne.fr

[1] IUT DIJON-AUXERRE, département génie civil et construction durable, route des plaines de l'Yonne, 89 000 AUXERRE, France

Thèmes –- *Matériau – mécanique*

Résumé – *Les travaux présentés concerne la détermination des propriétés acoustique de la mousse de tanin qui est un matériau bio-sourcé. La mesure de l'atténuation acoustique en laboratoire avec un système de guide d'onde plane (tube sonore) a été choisie pour sa facilité de mise en œuvre. Ainsi l'atténuation acoustique de plusieurs échantillons de mousse a été déterminée en faisant varier l'épaisseur de l'échantillon. Les valeurs trouvées font du matériau mousse de tanin un bon précurseur d'un isolant phonique.*

.

Mots-Clés – *Matériau – propriétés acoustique.*

1 Introduction

Il est nécessaire aujourd'hui d'améliorer le confort dans les habitations car de plus en plus de bruit sont générés qui perturbent la vie voire la santé des habitants. Le problème est complexe car la notion de gêne peut être subjective et relève de la psycho-acoustique. Comme pour les aspects confort thermique, on recherche à atténuer les bruits transmis par les parois. Les matériaux actuels utilisés sont souvent choisis parmi une gamme souvent associée aux performances d'isolation thermique : la laine de verre, le polyruéthane, la laine de roche,… Ces matériaux sont issus pour certains de la pétrochimie ou utilise une énergie grise importante. Les matériaux bio-sourcés sont moins nombreux : le liège est souvent utilisé mais les ressources sont plutôt limitées. Si les matériaux comme la laine de bois, la ouate de cellulose, la ouate de carton peuvent être des alternatives, ceux –ci n'ont pas, à notre connaissance, fait l'objet d'études de caractérisation acoustique.

Dans ce travail nous présentons un matériau bio-sourcé dont la ressource est peu exploitée et dont la matière première est abondante, il s'agit de la mousse de tanin. Après une brève présentation de ce matériau mis au point en particulier à l'Ecole Nationale Supérieure des Technique industrielles du Bois d'Epinal (ENSTIB), nous présentons par la méthode simple du tube à impédance acoustique les résultats de mesure de l'atténuation acoustique de ce matériau. Une analyse des résultats permet ensuite de situer ce matériau comme candidat présentant de bonnes propriétés d'isolation acoustique.

2 Un nouveau Matériau : la mousse de Tanin.

2.1 Elaboration

Les tannins sont des composés carbonés de nature phénolique présents naturellement dans les végétaux. Ils jouent un rôle de défense contre les insectes et les champignons car ils sont difficilement assimilables par ces organismes [1].

On les trouve principalement dans l'écorce des mimosas, des pins et autres arbres résineux dans une moindre mesure dans les arbres feuillus. Les écorces sont peu valorisées mis à part pour des paillis limitant la pousse des adventices ou mauvaises herbes. La valorisation des écorces en extrayant des composés chimiques comme les tanins est donc un élément d'avenir et ne rentre pas en concurrence avec d'autres utilisations.

L'extraction du tanin se fait suivant le schéma donné par la Figure 1. Suite à l'abatage des arbres, ceux –ci sont écorcés. Les écorces sont ensuite stockées pour séchage puis le tanin est extrait par dissolution à une température fixée entre 90°C et 120°C. Un procédé d'atomisation permet ensuite d'obtenir du tanin sous forme de poudre.

Un procédé de moussage peut ensuite être appliqué. Pizzi et Meikleham [2] ont été les premiers à utiliser une résine tanin-formaldéhyde. L'éther diéthylique est utilisé comme solvant qui peut s'évaporer à une faible température. Le catalyseur utilisé est l'alcool furfurylique qui par autocondensation va assurer le processus de moussage.

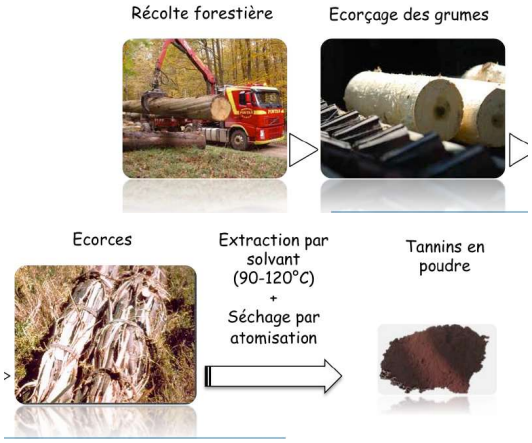


Fig. 1 Extraction des tanins d'après C. Lacoste [1]

La figure 2 montre plusieurs échantillons de mousse de tanin avec des cavités de grosseurs différentes. ils possèdent des propriétés de rigidité comparable à celle de la mousse de polyuréthane.

Fig. 2. Echantillons de mousse de tanin

2.2 Propriétés

Les propriétés mécanique et thermique de la mousse de tanin ont fait l'objet d'étude [3] qui ont permis de caractériser le produit comme ayant une bonne résistance mécanique à la compression, ayant une bonne propriété d'isolation thermique et étant ininflammable. Ceci fait de la mousse de tanin un bon précurseur de biomatériau alternatif face aux solutions largement utilisées aujourd'hui.

3 Etude des propriétés acoustiques

3.1 Présentation de la méthode

Les propriétés acoustiques concernées ici sont l'isolation acoustique. Plusieurs méthodes peuvent être employées pour mesurer cette propriété. En considérant une paroi, on peut caractériser l'atténuation acoustique. Celle-ci s'exprime de la manière suivante :

$$R = 10\log(1/\tau) \quad (1)$$

Avec τ transparence acoustique entre les milieux 1 et 2

ou rapport de l'intensité du milieu 2 sur l'intensité du milieu 1

$$\tau = \frac{I_2}{I_1} \quad (2)$$

La caractérisation de cette propriété est décrite dans la norme ISO 11821:1997. Elle requiert toutefois un dispositif complexe de mise en œuvre du fait d'une mesure de l'élément in situ. Pour évaluer la propriété liée à notre matériau, nous nous orientons vers une mesure en laboratoire avec la méthode du tube à impédance acoustique. Il s'agit de mesurer pour différentes fréquences (généralement par tiers de bande d'octave) la puissance acoustique absorbée par un échantillon plan du matériau. La méthode est décrite dans la norme ISO 10534

Pour notre caractérisation, nous nous sommes inspiré du tube de Kundt. Le tube possède une longueur de 1m et un diamètre de 10 cm. Ces éléments en font un gros tube qui permet de mesurer des fréquences entre 85Hz et 1700Hz (voir Fig.3).

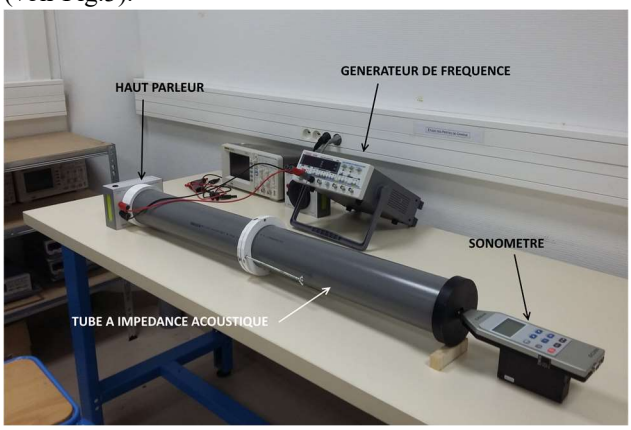


Fig. 3. Dispositif de mesure

Nous avons placé une source sonore à une extrémité (haut parleur) commandé par un générateur de fréquence sinusoïdal avec une puissance de 0,1VA. A l'autre extrémité du tube, un sonomètre a été placé, il permet de mesurer directement le niveau d'intensité sonore en dBA.

$$\tau(dBA) = 10log_{10}\frac{I_2}{I_1} = 10log_{10}I_2 - 10log_{10}I_1 = I_2(dBA) - I_1(dBA) \quad (3)$$

3.2 Résultats

Les essais ont été effectués pour des basses fréquences qui sont souvent les fréquences les plus difficiles à atténuer.

Les mesures ont été prises pour des fréquences variant de 50hz en 50Hz comprises entre 100Hz et 400Hz. Les essais ont été répétés pour prendre en compte les dispersions de manipulation ainsi que l'hétérogénéité des échantillons. On peut estimer que les incertitudes globales de mesures sont de l'ordre de 3dB. La figure 4 indique les résultats pour des épaisseurs d'échantillon variant de 2 à 9cm.

On remarque que pour une épaisseur de 2cm, l'affaiblissement acoustique est faible. Pour une épaisseur variant de 4 à 9cm, l'affaiblissement varie de 20 à 40 dBA en fonction de la fréquence. L'épaisseur joue un rôle réduit à partir d'une certaine valeur (4cm). Si les échantillons sont différents, les cavités restent sans doute similaires puisque la variation de l'affaiblissement est similaire en fonction de la fréquence.

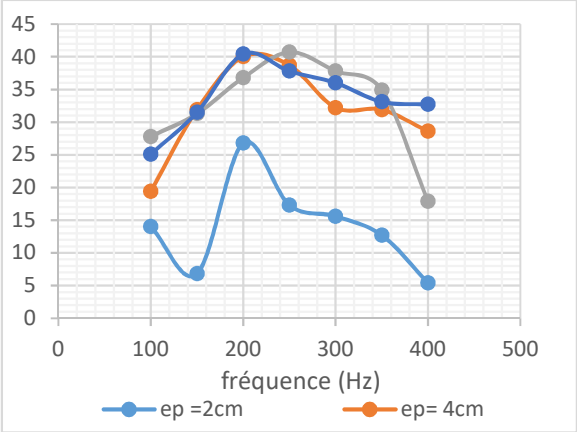


Fig 4. Affaiblissement acoustique pour différentes fréquences en fonction de l'épaisseur de l'échantillon)

Les réglementations sur le confort dans le bâtiment indiquent que l'atténuation acoustique doit être supérieure à 53dBA pour un bruit rose. L'association d'une paroi (effet de masse) avec un isolant acoustique tel que laine de roche permet d'obtenir ces résultats. La mousse de tanin peut donc être considéré comme un bon isolant acoustique

4 Conclusions

Les travaux présentés ici concernent les propriétés acoustiques des mousses de tanin qui ont l'intérêt d'être bio-sourcées mais aussi d'être une ressource abondante peu valorisée actuellement. Si les mesures n'ont été effectuées que pour un spectre de 100 à 400Hz cette bande de fréquence est très critique car les fréquences inférieures à 500Hz sont difficilement atténuables. La poursuite des travaux consistera en une analyse de l'affaiblissement in situ et dans la détermination du coefficient d'absorption α qui est un paramètre plus caractéristique du matériau.

Références

[1] C Lacoste, *Mousses rigides de tannins de type procyanidine: formulation et caractérisation,* Thèse de doctorat Universté de Lorraine soutenue le 16 décembre 2014.

[2] Pizzi, A., Meikleham, N., *Induced accelerated autocondensation of polyflavonoid tannins for phenolic polycondensates.III : CP-MAS 13C-NMR of different tannins and models*. J. Appl. Polym. Sci, 55 (1994) 1265-1269.

[3] C. Lacoste, M.C. Basso, A. Pizzi, M.-P. Laborie, A. Celzard *Pine tannin-based rigid foams: mechanical and thermal properties* Indus. Crops and Product, 43 (2013) 245–250.

SHS / Lettres / Langues / Communication

Contemporary erotic feminine literature

The renewal of a gender

Régine Atzenhoffer[1]
r.atzenhoffer@unistra.fr

[1] IUT Robert Schuman - Illkirch, Université de Strasbourg
Département Techniques de Commercialisation, EA 3224

Thèmes – *Lettres - Langues*

Abstract – *We propose a glimpse of popular German literature aimed at women that takes us from sentimental novels to tales of sexuality without taboo where finally the heart beats in unison with ones carnal desires. All modesty and decency disappears and the story plunges to new depths of coarseness and trash. That new impulsion gives birth to a new generation of female authors who use slang to express sentiment and sexuality. Sentimental love stories from previous generations succeed henceforth the essentially sadomasochistic erotic novels, guaranteeing commercial success for a large number of publishers. These new popular novels aimed at women, rich in sexual stereotypes and genres, feed current thinking around post-feminism.*

Keywords – *Gender, popular culture, post-feminism, erotic novels*

1 Introduction

At the dawn of the 21st century, popular female literature, hitherto traditionally sentimental, has become erotic. One could see, in this new female writing and its erotic saying, a double challenge: to tackle a subject that had been taboo for a long time and occupy a territory previously reserved to men. Sold for a long time under the table, erotic fiction has become democratized and has evolved in the same way, expanding and being prominently displayed in shop windows. As for the book market, production and consumption of this type of writing is gaining the upper hand and booksellers contribute to its considerable diffusion. We are thus witnessing a profound transformation of popular female literature in Germany, where scripts have allowed the emergence of a female desiring subjectivity. One of the consequences of this feminine expression is at first linguistic: no more lace for numbing the desire like in the classical age of romance novels obsessed with propriety and happy endings. The heroine, a desired object in traditional feminine literature, becomes very much a subject of desire. The popular female novel shows a new trend of radical exhibitionism as well as to the description of extreme sexual practices and transgresses taboos previously circumscribed to the private sphere. This revival of women's literature is due in particular to bolder marketing and editorial choices and novels which, like *Fifty Shades of Gray*, have allowed millions of readers to discover the joys of female submission. How do successful contemporary authors such as S. Henke [1], A. Martini (2], K. Dirks [3] and L. Grünberg [4] write about the female body and desire? Have dominant social and textual codes of female sexuality evolved?

2 Erotic literature vested by women

Since 2010, women's erotic literature has become significantly successful in Germany. Since the sexual liberation, feminine writing has mutated to become cruder, to cast aside notably decency, modesty and good taste. If the history of erotic literature has always been rich with female authors, the latter were often lurking under the mask of misleading pen names. After centuries of silence, women, encouraged by the post-feminist movement in Germany, express themselves, talk and write about their fantasies. Through the liberation of speech and sexual practices, the authors have become more egregious: their writings now deal with sex in raw terms, evoke experiences that are often uncommon in a language that is easy to access and primal. The naked body is banalized by its omnipresence: modesty of speech has disappeared. This exhibitionism is explained at the same time by the desire to satisfy the voyeurism of the readership and the pleasure of offering one's text as one gives one's body. Desire is compulsive, sex is an urgent need. The delirious heroines of post-modern literature are free to give reign to their carnal impulses. In scenes of copulation, everything happens as if, to affirm the coarseness of the female desire, the authors felt obliged to detail the mechanics of the sexual act [1].

3 BDSM, obligatory passage to the triumph of feelings?

The successes of female erotic writing in Germany today are proof of the simultaneous triumph of chick-lit books and other trash. The pleasures of the heroine are inseparable from a violent sexuality and the sadism of the lover who multiplies lustful experiences to take him to the heart of practices with strong sensations. The erotic feminine novel has entered the era of specialization: latex, BDSM, bondage, etc. No nonconformist sexuality is omitted. There is a new feminine erotic writing, that of pain and cruelty, of a sexuality of domination and submission that is at odds with the liberal evolutions of democratic societies. A write-up of unbridled sexual experiences and a high-dose practice of "romantic" obscenity mixes soft words and filthy terms. In the past, such scenes, passed over in silence, substantial gaps existed in the stories; now they occupy entire chapters. Compared to classic saucy tales, these feminine texts reveal the extreme erotic games that a woman can indulge in to please her lover and maintain her passion, is still new [5]. A taste for sadism, perversion and spanking saturate the chapters of these novels says everything about the content. The more the novelists say they are released, the more their heroines hasten to proclaim their attachment to domineering virility. We are witnessing the symbolic separation of the female anatomy in the service of male pleasure; the female body is only the sum of segments of flesh measured in terms of a phallic and ejaculatory sexuality. A series of tests force the heroine to push away the limits of what she thinks she can endure. The scenes are linked together; she is in turn tied, spanked and whipped. Finding ecstasy in pain, she achieves climax by the fact of showing her lover and master that she can bear everything for him, that she can endure everything in the name of their bond. She enjoys the pain and draws vanity from the desire she inspires in her master. She accepts all outrages, all abuses, she even hopes for them as so many challenges. She always pushes her limits further by getting to know extreme pleasures, forbidden to ordinary mortals [6].

Once she has realized the power of her body, she draws her strength from the fascination she exerts on her lover, he, who is constantly seeking to be worthy of his prey by luring him with the new refinements in the torture. The master and his slave are, in these stories, bound to each other by their impulses. At first, the young woman is

opposed to her lover to finally yield to all his requests. Falling under the spell of a man who abandons conventional practices and commands engagement in SM activities, she finds self-expression. By forbidding her pleasure, for a certain period of time, the lover seeks to live the fantasy of rape; he wants to enjoy his power, to have her submissive at his feet [7]. Sex is more than ever an outlet of release. If SM staging is typical of contemporary trash literature, if rapes, multiple adventures have always existed in the lewd literature, these extraordinary activities have changed status at the same time as the writings. Peppered with misogynist quirks they are in complete contradiction with ardent feminism. They have evolved, and the early rise of feminists is forgotten. While they appear as hitherto unseen by a novelist, these texts, if they were signed by a man, would be detrimental to the dignity of women. Surrendering to the power of the lover, contemporary romancers do not oppose anything different: they do not offer a draft of a new and inventive sensuality.

In these works, sex is celebrated in all its forms, the orgasm is magnified, the drunkenness of pleasure is sung from page to page. The desire is certainly sovereign, but the quest for love, is always lurking in the subtext and is present in the background. Even if sex is overvalued, it remains subordinate to feelings and remains finally very romantic. The stories are both on the one hand apologies, and on the other, pure sex and hymns to love. Novelists and heroines are thus caught in a sort of substantial gap between shamelessness and true love, between modesty and voluptuousness, all in contradiction with the traditional light literature, which has always insisted on the mechanics of the body more than on the expression of feelings. The new Eve of spicy writing, just as she weaves her stories, every one more course than the other, cannot give up portraying hope of love and a happy-end [8].

4 Conclusion

The erotic feminine novel is indeed an innovative avatar of the traditional sentimental novel: it has adapted its content to be in adequacy with the contemporary world. The key to success of the feminine story of an embrace lies in a fair mix between the SM and the romantic side. And this hot version of Cinderella evokes the mixture of two imaginary worlds, that of the X and that of the sitcom. Some will attribute this to the difficulty of innovating in an inherently unchangeable domain. Not only have the mechanics of bodies not changed since the origins, but the erotic imaginations that have nourished the soft literature of libertinage like that of the twentieth century have generally remained the same. To succeed in imposing an original writing, one needs an extraordinary imagination, a singular phantasmagoria which is the peculiarity of great authors. Are there, nevertheless, specific methods of writing about feminine eroticism? S. Alexandrian and F. Alberoni [9] both see significant differences between feminine and masculine pornographic texts: the man is more driven by dreams of possession, while those of the second sex are supposed to give more prominence to a desire of union, "masculine" texts would be more looking for efficiency. The progression of desire found in women's writing would not be interest to men; only the novelists describe all the ways to bed. When masochism becomes, as here, sentimental, it corresponds much more to the code of the romantic novel than to that of the erotic-pornographic novel.

Popular contemporary women's novels fall within a large scale production which, by some of its characteristics, can be equated with the concept of cultural industry such as defined by the philosophers of the School of Frankfurt. In other words, their writing integrates perfectly, from their creation, the purpose of reaching consumers for a primarily lucrative purpose. Reading these novels of tortuous love has stirred thoughts about German post-feminist literature and new generations of authors whose heroines like to bring down taboos and exalt sex. However, whether it is the sign of the failure or the triumph of feminism, what is striking in this post-feminist eroticism is how much it is dominated by the model of sentimental literature.

Références

[1] Sandra Henke, *Im Schatten der Lust*, Heyne, Munich, 2012

[2] Astrid Martini, *Feuermohn, Ullstein*, Berlin, 2009

[3] Kerstin Dirks, *Schülerin der Lust*, Ullstein, Berlin, 2013

[4] Lilly Grünberg, *Verführung der Unschuld*, Heyne, Munich, 2010

[5] Kerstin Dirks, *Schülerin der Lust*, op. cit., p. 64-65

[6] Sandra Henke, *Im Schatten der Lust*, op. cit., p. 128-129

[7] Astrid Martini, *Feuermohn*, op. cit., p. 245-246

[8] Lilly Grünberg, *Verführung der Unschuld*, op. cit., p. 234

[9] Sarane Alexandrian, *Histoire de la littérature érotique*, Paris, Seghers, 1989 ; Francesco Alberoni, *L'Erotisme*, Paris, Ramsay, 1987

Cinéma et *cordel* au Brésil : jeux de miroirs

Sylvie DEBS
IUT Robert Schuman Département Information – Communication
Université de Strasbourg **CHER - Culture et Histoire dans l'Espace Roman EA4376**

THEMATIQUE - écrire ici la thématique retenue et votre section CNU. Thématique à choisir parmi :

- Sciences Humaines et Sociales - Lettres - Langues – Communication
- Section CNU : 10

RESUME -

L'univers de la littérature de *cordel*, une littérature populaire et traditionnelle du Nord-Est, a servi de source d'inspiration pour l'élaboration de l'esthétique du *cinema novo* dans les années 1960. Un certain nombre de réalisateurs, comme Glauber Rocha, Geraldo Sarno ou encore Vladimir Carvalho ont abordé cet univers, soit de façon fictionnelle, soit documentaire. Par ailleurs, la littérature de *cordel* à son tour s'est inspirée du cinéma, notamment en ce qui concerne les premières de couverture.

Mots-clés— Brésil – *cinema novo* – littérature de *cordel* - intertextualité

1. Introduction

Décrire le contexte et les objectifs du travail. Positionner le travail. Présenter le plan de la communication. (Style 'Normal').

2. Titre de section (Style 'Titre 1')

Développer dans les sections, sous-sections et sous sous-sections (ne pas excéder 3 niveaux hiérarchiques) les travaux réalisés en présentant les grandes étapes et les principaux résultats.

2.1. Titre de sous-section (Style 'Titre 2')

Les tableaux, figures et équations doivent respecter les numérotations et formats ci-après. Les figures (Style 'Images') et tableaux (Style 'Tableaux') doivent être centrés et légendées (style 'Légende'). Les équations seront centrées (Style 'Equation', 10 pts, centré) et numérotées (style 'Numéro d'équation', Times New Roman, 10 pts, aligné à droite) et une ligne pourra être laissée libre avant et après chaque équation.

3. Soumission de la communication

La soumission se fait en ligne à partir du site électronique de la conférence : http://cnriut2018.sciencesconf.org/ (voir la rubrique 'Soumission en ligne des communications').

Le fichier soumis sera préalablement converti au format PDF avec les polices incorporées et ne devra pas excéder la taille maximale de 3.5 Mo.

4. Conclusions

5. Remerciements

Cette partie (facultative) doit être placée entre la conclusion et les références.

6. References

DEBS, Sylvie. *Cinéma et cordel – Jeux de miroirs – Intertextualités*. Paris, L'Harmattan, 2018.

De l'image de marque à l'image de la marque : marketing horloger de luxe et réseaux sociaux

Magali BIGEY
IUT Université de Franche-Comté / ELLIADD-CCM EA 4661

THEMATIQUE -

- Sciences Humaines et Sociales - Lettres - Langues - Communication

RESUME -

Pour les marques de luxe se positionner sur les réseaux sociaux est un enjeu de taille. Elles utilisent une publicité 4.0 basée sur un web qualifié d'intelligent. Au-delà du web sémantique, le web 4.0 entraîne la personnalisation extrême des données reçues, des expériences sur le net toujours plus ciblées. Nous verrons comment les consommateurs s'approprient la communication horlogère, qu'elle leur soit ou non destinée, comment ils agissent et réagissent par l'intermédiaire des forums et des réseaux socionumériques *Twitter* et *Facebook*. Par la communication des grandes marques telles *Omega, Breitling, Tag Heuer Breguet* ou encore *Rolex*[1] nous montrerons comment l'association texte/image est parfois interprétée ou réinterprétée dans une forme de mise en abyme communicationnelle, elle-même proposée par les marques, mais qui peut leur échapper, pour arriver à un consommateur qui devient finalement *consommacteur*.

Mots-clés— communication horlogère – réseaux socionumériques – sémiolinguistique – image de marque

1. INTRODUCTION

La communication digitale, sur le modèle du 4.0, permet de cibler parfaitement son public, de collecter des données, mais permet également une communication sous l'angle du feed-back : les consommateurs reçoivent, mais ils donnent également beaucoup. Ils jouissent aujourd'hui d'une visibilité jamais connue jusqu'alors, peuvent servir de vecteur de communication pour une marque mais également peuvent la desservir. La communication digitale change les codes de la communication traditionnelle, le marketing fait passer ses messages différemment. Du triptyque sémiotique, marketing et communication à la communication digitale et ses outils, nous verrons comment les trois sont liés et comment les traces laissées par les marques se mêlent à la communication des consommateurs.

[1] Nous accorderons à cette dernière un statut d'analyse particulier, en relation avec l'idée de réception que le grand public se fait de la marque et de l'univers qui lui a été associé, contrastivement avec sa communication institutionnelle.

2. LE MARKETING AVANT LE 4.0

Pendant longtemps, publicité et marketing ont été perçus comme des outils de manipulation. On parle de publicité démystifiée, d'« activité de manipulation systématique des signes » diffusant des idéologies morales et politiques. Pendant longtemps également, la publicité horlogère a servi de curseur. De *Breitling* à *Rolex* en passant par *Chopard*, les publicités du siècle dernier ont toujours été en accord avec les événements qui sont survenus et ont modulé leur image :

Fig. 1 : publicités horlogères Chopard et Bréguet

Si *Chopard* surfe sur la figure de la libération féminine des années 60, *Bréguet* mise sur la persistance et son expérience plus de bicentenaire. L'industrie horlogère a de tout temps souhaité rester dans l'image de marque qu'elle avait créée, basée sur la modernité ou la persistance, sur le savoir-faire ou le rêve (*Rolex* par exemple).

Le public intègre rapidement les codes, qu'il soit ou non consommateur. C'est une perpétuation de l'image de la marque grâce aux signes qu'elle produit et qui font sens dans l'esprit du consommateur ; les codes sont compris et acceptés.

« La publicité, en tant que langage connoté, apporte toute son efficacité à ce système de codage des objets. Elle est la médiation à partir de laquelle le système de consommation va créer l'illusion d'une solidarité des statuts (…) La publicité de fait excelle dans ce processus de réification (…)

Dis-moi quelle montre tu portes

… ″ et je te dirai qui tu es ″. » (Sauvageot, 1987 : 10)

Ce processus de réification est parfait tant qu'il reste sous contrôle. Il participe du rêve, participe à l'image de marque, à l'ambiance de marque. On sort des considérations sociologiques de la publicité anticipée comme simple manipulation du cerveau humain et elle devient alors un système de signes parfaitement signifiants, un système de communication et par-là même est étudié comme tel.

3. Les apports et ecueils du marketing 4.0 pour la marque

C'est aujourd'hui le web 4.0 qui entre en jeu et permet de personnaliser à l'extrême la communication, de traiter des masses gigantesques de données et de cibler presqu'individuellement les actions de communication. La grande majorité des individus (et clients potentiels) sont connectés voire surconnectés, et cette omni-connexion est utilisée, mettant le client au centre de la communication jusqu'à faire de lui un acteur qui va, par réaction, être à l'origine lui-même d'une communication pour la marque (positive ou négative). C'est l'idée ancienne de feedback, permise ici par le web 4.0 qui va entraîner ce phénomène circulaire d'ampleur, efficace mais difficile à appréhender, encore plus à maîtriser.

Si la communication, les messages peuvent être viraux, ils peuvent aussi changer radicalement l'image de marque élaborée longuement, pendant parfois des années, en une image de la marque négative, dépréciative.

3.1. Le cas Rolex

De l'image de marque à l'image de la marque, la distinction est fine, et pourtant… L'image de marque est une image soigneusement construite, souhaitée et véhiculée, l'image de la marque elle, peut être tout autre chose. En effet, si une marque accepte qu'on parle d'elle en des termes positifs (on le voit pour les grandes marques horlogères dans les magazines féminins ou masculins de qualité, choisis pour leur lectorat mais aussi pour la qualité de leur papier, pour la visibilité associée qui leur est apportée), l'image de la marque peut faire les frais d'un passage par le web et en revenir ternie. Tout le monde a encore en tête la citation de Jacques Séguéla, il y a près de 10 ans, qui illustre tout à fait cette distinction :

"Tout le monde a une Rolex. Si à 50 ans on n'a pas une Rolex, c'est qu'on a quand même raté sa vie"

Quelques jours plus tard, l'affaire faisait grand bruit dans les médias et on dispensait même des sondages qui demandaient aux lecteurs d'un magazine (en ligne ici) s'ils connaissaient le prix d'une Rolex :

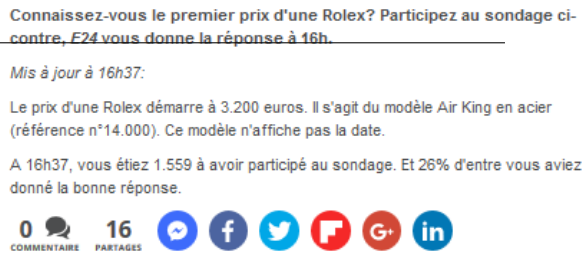


Fig. 2 : 20 Minutes

Là commence l'image de la marque, passée au prisme du public, et pas forcément des consommateurs. Passée à ce prisme médiatique, à celui des réseaux sociaux (le sondage peut être partagé d'un simple clic), cela laisse des traces profondes et pérennes.

Une simple phrase, par le chemin des réseaux, par les commentaires et réponses du public a construit une image que la marque n'aurait pas souhaitée.

3.2. De fil en aiguille

Encore aujourd'hui, cette petite phrase fait encore parler d'elle, et l'image de Rolex en est encore marquée. Cela a un résultat ambivalent : d'une part les personnes qui ne se sentent pas du tout concernées par le produit et sa possession car elles n'en ont pas les moyens, et pour qui *Rolex* représente une marque de « nantis », et d'autre part les personnes qui ont tout à fait les moyens de s'offrir la marque, pour lesquelles il n'est pas désagréable de s'identifier à cette phrase de « réussite ».

Récemment, on trouvait encore sur Twitter la récupération de cette remarque de J. Séguéla, attribuée aux mouvements des *gilets jaunes* :

Fig. 3 : Copie d'écran Twitter (27-29 novembre 2018)

Ici une preuve de cette dualité : une critique envers l'actuel président de la France Emmanuel Macron, et une photo d'un révolutionnaire (Che Guevara) portant lui aussi une montre *Rolex*, indentifié ici en sa qualité de révolutionnaire ET porteur de la marque.

On voit aisément dans ces exemples que l'image de marque échappe à la marque, qu'une image de marque lui revient par réseaux socionumériques interposés, non sans être interprétée, déformée, amplifiée par les internautes qui se

sont appropriés le message et lui donnent finalement l'orientation qu'ils souhaitent.

4. Du storytelling comme element de reponse

Nous l'aurons compris, l'image de marque serait une image construite, validée, voulue par la marque, et l'image de la marque serait donc celle qui est passée par le prisme de la réception, par un public touché de près ou de loin par le produit ou la communication.

Le storytelling est l'une des solutions privilégiées pour refondre, rediriger, conforter ou modifier l'image de la marque, afin de toucher ensuite l'image de marque. De nombreux exemples font appel à la part de rêve inhérente à l'idée de publicité, en mettant en scène des personnages connus, tels les super héros ou les héros récurrents bien identifiés du grand écran :

Fig. 4 : copie d'écran Twitter, publicité pour *Rolex*

Fig. 5 : *Oméga* et James Bond sur la page Facebook de la marque

Les deux figures précédentes illustrent parfaitement l'alliance marketing / image de marque. On est dans la représentation de la force, de la pérennité, de la sécurité.

Ces ressorts classiques de l'identification du consommateur font encore recette même à l'ère du 4.0, et chaque réaction à ces mises en scènes sont comme autant de marqueurs qui vont être utilisés pour continuer à définir l'image de la marque au profit de l'image de marque.

5. Conclusion

Le marketing horloger de luxe 4.0 existe, et s'il a une grande efficacité, il nécessite d'être cadré de l'intérieur et encadré à l'extérieur. En effet, il ne dépend pas uniquement des concepteurs de publicité, des communicants qui travaillent pour la marque, mais également des retours, commentaires qui évoluent sur internet. Cette forme de mise en commun de différents messages peut engendrer à terme un amalgame nuisible pour la marque.

La sémiotique liée à la publicité devient une sorte de système formel qui crée du sens, qui apporte, entraîne avec lui des éléments de sens alliés à ce qu'elle va croiser. Le piège du marketing 4.0 s'il y en avait un, c'est bien celui-ci : on sait ce qu'on construit et ce qu'on communique la plupart du temps, en revanche, le système de ce « web réagissant » va emporter dans son cours tout un tas d'élément non prévus, qui vont se greffer et parfois s'amplifier, utilisant dans une sorte de sémiotique signifiante, un sens bien éloigné de celui souhaité de prime abord.

La vigilance sur les réseaux socionumériques est donc essentielle, car l'image de marque est susceptible d'échapper à la marque pour devenir, comme nous l'avons vu, une image de la marque en opposition avec l'image souhaitée. La vigilance doit être double, d'une part sur la marque donc, d'autre part sur le public, car le web se tourne actuellement vers cette version réagissante, cette sorte de *web affectif* qui s'allie à l'émergence d'une économie numérique des émotions. C'est cette économie des émotions qui peut être dangereuse, car on sait bien que les émotions sont difficiles à canaliser, et qu'une fois exprimées sur le web, elles y restent de manière persistante.

6. References

[1] A.. Sauvageot, « Figures de la publicité, Figures du monde », Presses Universitaires de France, collection Sociologie d'aujourd'hui, 1987

[2] R. Barthes, « Rhétorique de l'image », Communication n°4, 1964, pp.41-42

[3] M. Bigey, J. Simon, « @toidetweeter ! Rôles des adresses et mentions dans les tweets hypertextualisés », *Les discours hypertextualisés : espaces énonciatifs mosaïques* », Presses universitaires de Franche-Comté, Série Linguistique, Sémiotique et Communication, pp. 107-138

Pour en finir avec la réalité virtuelle

Olivier NANNIPIERI
IMSIC, Université de Toulon & Aix-Marseille Université

Jacques GHOUL-SAMSON
IMSIC, Université de Toulon & Aix-Marseille Université

THEMATIQUE Sciences Humaines et Sociales - Lettres - Langues – Communication, section 71.

RESUME

L'objectif de cette contribution consiste à questionner la distinction de nature postulée entre la réalité et la réalité virtuelle. Une telle entreprise se trouve justifiée au moins par le fait qu'il est généralement présupposé par l'opinion, les médias, les professionnels du secteur et même par des travaux académiques que la réalité et la réalité virtuelle sont des environnements exclusifs l'un de l'autre. Il s'agira de déployer trois types d'arguments permettant de démontrer que cette distinction n'est pas pertinente : sur les plans ontologique et épistémologique d'abord, sur un plan technique ensuite et, enfin, sur le plan de l'expérience de l'utilisateur immergé dans un environnement virtuel.

Mots-clés— Réalité virtuelle, épistémologie, immersion, présence.

1. INTRODUCTION

La réalité virtuelle alimente aujourd'hui tous les fantasmes. Les technophiles voient en elle un formidable potentiel d'augmentation des facultés humaines. Les technophobes la considèrent comme un moyen inavoué de fuir la réalité. Or, les premiers comme les seconds, postulent une différence de nature entre la réalité et la réalité virtuelle [1]. C'est ce postulat qu'il sera question d'interroger dans cette contribution. Il s'agira de mettre à jour, sur la base non seulement d'arguments d'ordre épistémologique mais également en se fondant sur des études empiriques, un certain nombre de présupposés, de paradoxes qu'induisent la posture consistant à distinguer le réel du virtuel.

C'est, par conséquent, à la fois sur les plans ontologique et épistémologique (2. Ontologie et épistémologie du réel vs virtuel), sur le plan technique des dispositifs de réalité virtuelle (3. Le continuum réel-virtuel) et sur le plan de l'expérience du sujet en immersion (4. L'expérience de la présence dans les environnements virtuels) que se structurera cette analyse.

2. ONTOLOGIE ET EPISTEMOLOGIE DU REEL VS VIRTUEL

Si la différence de nature entre le réel et le virtuel est sur les plans ontologique (i.e. la science de l'être) et épistémologique (i.e. la science de la science) contestable, c'est pour, au moins, trois raisons : d'une part, l'utilisateur n'est jamais totalement présent – la présence étant définie comme la sensation d'être dans un lieu qui n'existe pas réellement – dans un environnement qu'il soit ou non virtuel et, d'autre part, tout environnement, qu'il soit réel ou virtuel, n'est jamais clos et, enfin, même ce que nous nommons « réalité » est, en vérité, une construction sociale [2].

S'agissant du premier argument, il est la conséquence directe de la critique de la conception cartésienne du sujet entendu comme substance, d'un sujet dont l'existence est, en droit, indépendante de l'environnement au sein duquel il est situé. Héritée de la critique nietzschéenne du sujet dont l'unité et l'identité sont une fiction, la substantialité se révèle inopérante lorsqu'il est, précisément, question d'examiner l'expérience immersive laquelle, par définition, pose l'existence d'un lien essentiel entre le sujet et les environnements qu'il arpente. L'existence du sujet substantiel est en crise dès lors que la localisation spatio-temporelle devient problématique et ce même sans qu'il y ait l'intervention d'un dispositif technique immersif. C'est ce qui se produit lorsque, par exemple, nous coupant de notre environnement originel, nous nous plongeons dans nos pensées et que nous rejoignons un monde produit par notre imagination.

Si la présence du sujet, entendue, à minima, comme sa localisation spatio-temporelle, semble paradoxale, c'est parce que ce paradoxe vient lui-même d'un postulat paradoxal : lorsque j'imagine être ailleurs, je saurais, soi-disant, que je suis en train d'imaginer que je suis ailleurs. Or, lorsque j'imagine que je suis au pont de la Concorde, je suis, pour moi, au pont de la Concorde. Je ne prends conscience que ceci était une illusion de mon imagination que rétrospectivement, lorsque j'ai « quitté » le pont de la Concorde. En clair, il m'est impossible d'embrasser les deux perspectives à la fois : je ne suis jamais à plusieurs endroits en même temps. Plus précisément, je ne suis jamais pleinement dans l'environnement réel et, simultanément, pleinement dans l'environnement réel. Je suis, paradoxalement, un peu dans l'environnement réel et un peu dans l'environnement « irréel » car, si tel n'était pas le cas, je serais dans l'incapacité de passer d'un environnement à un autre.

C'est ce qui nous conduit au second argument : un environnement, qu'il soit « réel » ou « irréel » n'est jamais clos.

Premièrement, il est bien clair que les frontières qui délimitent un lieu ne sont pas les propriétés de ce lieu mais bien de celui qui a, par sa pensée, délimité le lieu. Les frontières ne

sont jamais naturelles car même lorsqu'elles suivent un relief montagneux ou une côte, c'est encore l'homme qui a décidé de suivre ces « frontières naturelles ». Ainsi, parler d'un environnement clos en soi n'a pas de sens, puisque c'est le sujet qui le perçoit, le pense et en fait usage, c'est lui qui en dessine les limites.

Deuxièmement, à qui appartient la frontière qui sépare un lieu des autres lieux limitrophes ou du lieu qui le contient ? La réponse est claire : étant donné que l'espace est divisible à l'infini, la moitié de la frontière – dans sa « largeur » – sera toujours divisible, laquelle, elle-même, sera encore divisible… Ce qui souligne l'impossibilité d'identifier empiriquement de manière exacte des lieux différents puisqu'il est impossible d'identifier leurs frontières, ou alors, d'une manière plus ou moins grossière. C'est le langage qui nous trompe encore : un lieu est, en réalité, moins caractérisé par ce qui le délimiterait objectivement que par ce que l'on y fait. En réalité, lorsqu'on entre dans une pièce, on ne cherche jamais à percevoir les limites physiques de cette pièce avant de déclarer, satisfait : « je suis dans cette pièce ». Si personne ne le fait, c'est parce que personne ne s'interroge quotidiennement à propos de l'existence des frontières physiques qui séparent deux pièces. Maintenant, tentons de les percevoir. Délimiter une pièce en observant les arêtes des murs, du plafond et du sol semble ne soulever aucune difficulté tant que l'on considère chaque portion d'espace en deux dimensions : si je peux, par exemple, délimiter le sol d'une pièce grâce aux arêtes des cloisons, cela ne m'indique pas où s'arrête la pièce dans le sens de la profondeur (à la surface du parquet ? Sous le parquet ? Sous la chape de béton ?). Le problème devient plus évident lorsque, m'approchant de la porte qui me permet de rejoindre une autre pièce le problème de la frontière apparaît de nouveau avec encore plus de force : à quel endroit et à quel moment suis-je dans l'autre pièce ?

Cette analyse nous conduit à examiner la question de la clôture d'un environnement d'une autre manière. On pourrait, par une démonstration par l'absurde, poser la question suivante : pourrais-je sortir d'une pièce totalement close ? Il ne fait pas de doute qu'un environnement quel qu'il soit ne peut pas être un espace clos. Si cela était le cas, on ne sortirait jamais de la réalité pour aller rejoindre nos pensées, l'univers d'un romancier ou un monde virtuel. Or, il est possible – et nous le faisons quotidiennement – de passer d'un environnement à un autre.

Enfin, le troisième argument consiste à souligner le fait que ce que nous appelons « réalité » en lui conférant une existence indépendante de ses observateurs (i.e. postulat ontologique) et une possibilité de la connaître en elle-même (i.e. épistémologie positiviste), n'est pas un fait, mais une construction. Et ce qui confère, illusoirement, le statut de réalité en soi à ce nous nommons « réalité », c'est le fait qu'elle soit une co-production, une norme qui s'est socialement imposée – même si cette norme peut varier en fonction des époques et des cultures. Berger et Luckmann [2] proposent de décrire le processus de production d'une réalité : dans une première phase, la réalité, d'abord saisie comme extérieure – l'individu extériorise sa propre existence dans le monde social – devient objective par institutionnalisation et par légitimation, puis, dans une seconde phase, elle devient subjective par intériorisation. La première phase rend compte de la genèse de notre conception de la réalité qui commence, grâce à la socialisation, lors de l'enfance et continue à se renforcer au cours de notre existence.

C'est sur la base de cette croyance en une réalité partagée diachroniquement et synchroniquement que la pérennité du monde réel est assurée : c'est seulement de cette manière, en tant que monde objectif, que les normes sociales sont transmises de génération en génération et c'est parce que ce monde institutionnel est vécu en tant que réalité objective qu'il acquiert le statut de réalité. Insistons bien : « il l'acquiert » signifie indiscutablement qu'il nous est impossible de décider s'il s'agit bien là de La Réalité, c'est-à-dire, en soi. Or, sans finalement nous en apercevoir, nous transformons, c'est-à-dire nous instituons ce monde en tant que Monde Réel. Or, ce monde que nous instituons est un monde que nous instituons ensemble et c'est ce qui lui confère sa légitimité. L'individu doit, en effet, retrouver dans toutes les dimensions de sa vie quotidienne des indices évidents du caractère partagé de ce monde. C'est à cette seule condition qu'il devient légitime : l'éducation, la tradition ou encore les lois offrent à l'individu les signes qu'il attend. « Tout le monde le sait » se dit-il alors. Et si « tout le monde le sait », c'est que c'est bien ainsi qu'est faite la réalité.

Par conséquent, si la réalité est une construction sociale, comment peut-elle acquérir un statut ontologique et épistémologique différent de la réalité virtuelle car, finalement, ces deux « réalités » ne sont-elles pas construites ?

3. LE CONTINUUM REEL-VIRTUEL

La distinction entre le réel et le virtuel se fonde, d'un point de vue technique, sur une distinction plus fondamentale : la distinction entre le naturel et l'artificiel. En effet, à la différence de la réalité qui peut être perçue sans appareillage technique – même si, par extension, il est admis que percevoir le monde à travers des lunettes de vue relève de la perception du réel, la réalité virtuelle nécessite une médiation technique, un artefact, généralement réduit à une interface (e.g. casque de réalité virtuelle). Sans cet artefact il est impossible de percevoir un environnement virtuel. Or, en se fondant sur les travaux de Milgram et Kishino [3], il est possible de montrer, qu'empiriquement, il existe non pas une différence de nature entre le réel et le virtuel, mais seulement une différence en termes de degrés. En effet, par exemple, quel que soit la puissance et la complexité d'un dispositif technique, il est impossible de substituer intégralement le monde réel par un environnement virtuel. Car pour immerger totalement un utilisateur dans un environnement virtuel il serait nécessaire de stimuler virtuellement l'intégralité de ses sens. Or, cela demeure impossible.

Au niveau extéroceptif (i.e. perception par les 5 sens dits externes : vue, ouïe, toucher, odorat, goût), seuls la vue et l'ouïe peuvent faire l'objet d'une simulation de synthèse.

Au niveau proprioceptif (i.e. la conscience de la position du corps dans l'espace), la réalité virtuelle doit combiner des éléments synthétisables du point de vue informatique (la vue, l'ouïe) avec des éléments non synthétisables (e.g. le sens du toucher impliqué lorsque les pieds de l'utilisateur reposent sur le sol).

Au niveau intéroceptif (i.e. la sensation de percevoir le fonctionnement interne des organes), la réalité virtuelle ne peut que provoquer des effets sur l'utilisateur (e.g. nausée) mais pas se substituer aux stimuli réels.

4. L'EXPERIENCE DE LA PRESENCE DANS LES ENVIRONNEMENTS VIRTUELS

L'abondante revue de la littérature relative aux variables influençant la présence dans les environnements virtuels distingue deux types de facteurs : les facteurs propres au dispositif et les facteurs propres à l'utilisateur.

Les facteurs propres au dispositif couramment identifiés dans la littérature académique sont les suivants :

- Les modalités d'interaction homme-machine [4],
- Le type de dispositif (e.g. casque de réalité virtuelle, écran) [5, 6, 7],
- La richesse sensorielle [8],
- La réduction de la latence ou cohérence [9, 10],
- Le réalisme de l'environnement ou correspondance [10, 11],
- La présence d'avatars [12],
- Le scénario ou la tâche à accomplir.

S'agissant des facteurs propres à l'utilisateur, les variables influençant la sensation de présence sont les suivants :

- La volonté de l'utilisateur [13],
- La focalisation de l'attention [10],
- La transparence perçue du dispositif (e.g. le fait que les interfaces soient non consciemment perçues lors de l'immersion),
- Expériences précédentes d'immersion dans un environnement virtuel [14],
- La tendance à l'immersion (i.e. prédisposition d'un sujet à ressentir la sensation de présence) [10],
- L'implication de l'utilisateur à l'égard de la tâche,
- La crédibilité ou fidélité (i.e. le réalisme perçu ou, plus justement, jugé, de l'environnement virtuel et des actions à accomplir) [15],
- L'agentivité (i.e. le fait que le sujet s'attribue l'effet de ses actions dans l'environnement virtuel) [16],
- Le flux ou l'expérience optimale (i.e. construit multidimensionnel rendant compte d'une expérience produite par le ratio entre un challenge et des compétences perçues) [17].

Si le nombre très important d'études – dont nous ne mentionnons, ici, que les plus citées – réalisées au sujet de la présence dans un environnement virtuel souligne le caractère essentiel de cet état physico-physio-psychologique, il n'en demeure pas moins vrai que ces travaux postulent l'existence d'un processus qui ignore le caractère complexe – au sens de ce qui est lié ensemble – du couple réel-virtuel. En effet, ces contributions posent implicitement que plus un sujet est « dans » un environnement virtuel, moins il est « dans » l'environnement réel. Or, la porosité ontologique, épistémologique et technologique de ces environnements conduisent à penser non seulement qu'il n'existe de présence que partielle par essence, mais également, que la présence dans un environnement virtuel et la présence dans un environnement réel peuvent covarier dans un même sens, se renforçant l'une l'autre. C'est, notamment ce qui se produit dans des dispositifs de réalité augmentée où des entités de synthèse viennent augmenter la perception de l'environnement réel. Or, nous l'avons vu, étant donné qu'il est impossible de couper totalement sur le plan sensoriel un sujet de son environnement d'origine, tout environnement virtuel est, en vérité, un environnement (plus ou moins) augmenté.

5. Conclusion

L'expression « réalité virtuelle » souffre, du point de vue de sa scientificité, de sa médiatisation et des fantasmes qui se nourrissent de ses promesses – promesses qui ne sont pas celles des chercheurs, mais des entreprises de ce secteur et des médias qui les relayent. Il n'existe donc pas de réalité virtuelle – au sens de totalement virtuelle.

References

[1] Nannipieri O., *Du réel au virtuel. Les paradoxes de la présence*, Éditions L'Harmattan, collection Ouverture philosophique, 2017.

[2] Berger P. and Luckmann T., *The social construction of reality: a treatise in the sociology of knowledge*, Anchor Books, 1966.

[3] Milgram P. and Kishino F. (1994), « A taxonomy of mixed reality visual displays », IEICE Transactions on Information Systems, E77-D, 12.

[4] Fuchs P., *Théorie de la réalité virtuelle. Les véritables usages*, Presses des Mines, Paris, 2018.

[5] Axelsson A.S., Abelin A., Heldal I., Schroeder R. and Wideström J. (2001), « Cubes in the cube: a comparison of a puzzle-solving task in a virtual and a real environment », Cyberpsychology & Behavior, avril, 4, 2, 279-86.

[6] Schroeder R., Steed A., Axelsson A. S., Heldal I., Abelin A., Wideström J., Nilsson A. and Slater M. (2001), « Collaborating in networked immersive spaces: as good as being there together ? », *Computers & Graphics*, 25, 5, 781-788.

[7] Slater M., Sadagic A. and Schroeder R. (2000), « Small-group behavior in a virtual and real environment: a comparative study », *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 9, 1, 37-51.

[8] Mestre D. et Fuchs P., « Immersion et présence », in *Le traité de la réalité virtuelle*, tome 1, Presses de l'Ecole des Mines de Paris, Paris, 309-338, 2001.

[9] Sheridan, T. B. (1992), « Musings on telepresence and virtual presence », *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1, 1, 120–125.

[10] Witmer B. G. and Singer M. J. (1998), « Measuring presence in virtual environments : a Presence Questionnaire », *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7, 225-240.

[11] Dillon C., Keogh E., Freeman J. and Davidoff J. (2001), « Presence: is your heart in it ? », 4th International Workshop on Presence, 21-23 May, PA, USA.

[12] Biocca F., Harms C. and Burgoon J. K. (2003), « Toward a more robust theory and measure of social presence: review and suggested criteria », *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 12, 5, 456-480.

[13] Heeter C. (1992), « Being There: The subjective experience of presence », *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1, 2, 262-271.

[14] Coelho C., Tichon J., Hine T. J., Wallis G. and Riva G. (2006), « Media presence and inner presence: the sense of presence in virtual reality technologies », in *From communication to presence: cognition, emotions and culture towards the ultimate communication experience*, IOS Press, Amsterdam, 25-45.

[15] Burkhardt J. M. (2002), « Réalité virtuelle et ergonomie : quelques apports réciproques », *Le Travail Humain*, 66, 65-100.

[16] Nannipieri O. (2018), « Agentivité et présence dans les environnements virtuels », Interfaces Numériques, 7, 1, 77-93.

[17] Csikszentmihalyi M., *Flow. The psychology of optimal experience*, Harper & Row, NY, 1990.

Quand des étudiants produisent un tutoriel vidéo sur l'orthographe : retour d'expérience

Laetitia THOBOIS JACOB* et Chrysta PELISSIER**
*IUT R. Schuman (Université de Strasbourg) ; **IUT de Béziers (Université de Montpellier)

THEMATIQUE :

SHS : **Sciences de l'éducation, Sciences du langage**

RESUME - Nous présentons un dispositif visant à sensibiliser les étudiants à l'importance de l'expression écrite, dans les travaux académiques et le monde professionnel. Inspiré de la classe renversée, ce dispositif consiste en la réalisation de capsules vidéo par les étudiants portant sur un point de grammaire identifié au préalable comme étant une source de difficulté. L'expérimentation a été menée auprès de 78 étudiants de 1ère année, les uns en section Information-Communication (IC, n=45), les autres en Métiers du Multimédia et de l'Internet (MMI, n=33). Nos résultats montrent que, quelle que soit selon l'option de spécialité dont relèvent les étudiants, ce type de dispositif constitue un levier motivationnel intéressant pour sensibiliser les étudiants à la qualité de l'orthographe.

Mots-clés—classe renversée ; motivation ; apprentissage

1. INTRODUCTION

Différentes études portant sur la littératie étudiante pointent une montée des difficultés des étudiants en expression écrite [1, 2] alors même qu'une bonne maîtrise de la langue française est considérée comme l'un des facteurs-clé de la réussite étudiante.

L'expression écrite et orale figure parmi les compétences transversales visées, quelle que soit l'option choisie par l'étudiant de DUT. Même si une certaine aisance en la matière fait partie des prérequis au moment de leur admission et que des variations sensibles se manifestent d'un étudiant à l'autre, globalement la maîtrise de la langue française des étudiants en début de 1ère année universitaire est souvent insuffisante au regard des attendus académiques et du monde professionnel. Cependant, la perspective d'enchaîner des exercices d'orthographe et de grammaire n'est pas très engageante pour de nombreux étudiants et les exercices de grammaire classiques, les dictées, leur paraissent généralement trop scolaires, rébarbatifs et inefficaces.

C'est pourquoi, nous avons demandé aux étudiants de DUT première année de concevoir un tutoriel explicatif de grammaire, au format audiovisuel. L'objectif est de les inciter à identifier les règles qui leur posent problème et à les reformuler, tout en s'engageant dans une activité créative et professionnalisante.

2. PRÉSENTATION DU DISPOSITIF

2.1. Eléments théoriques

Depuis quelques années, les classes inversées font partie du paysage des dispositifs pédagogiques hybrides déployés dans l'enseignement supérieur. La classe inversée, dans sa forme standard, consiste en la consultation à distance par les étudiants de ressources pédagogiques sous forme de lectures ou de capsules vidéo afin de préparer les cours auxquels ils assisteront en présence. La classe inversée s'est ensuite déclinée en plusieurs degrés d'inversion [3] : (1) le type standard « *Lectures at Home - Homework in Class* », (2) la préparation du cours présentiel à partir d'une recherche documentaire et autres travaux de préparation (exposés, animation, débats) et (3) la combinaison dans le temps des modalités des types 1 et 2. Il reste que les classes inversées présentent un écueil majeur : les étudiants n'effectuent pas toujours les activités préparatoires en amont des séances présentielles [4, 5, 6]. Par ailleurs, différentes études portant sur les effets en termes de motivation et d'apprentissage se contredisent entre elles [7].

Une alternative consiste à se tourner plutôt vers la « classe renversée » [8] : celle-ci se déroule presque entièrement en présentiel mais ne fournit aux étudiants aucun cours, ni aucune source d'information en lien avec le sujet de l'activité. Les étudiants s'organisent pour rechercher les informations de manière collaborative et participent activement à la construction du savoir puis à son évaluation. La classe renversée est donc proche de la conception de l'apprentissage de l'*Education nouvelle*, dont témoigne cette formule de Cousinet (cité par [9], p.146) affirmant que « moins on est enseigné, plus on apprend » car « être enseigné c'est recevoir des informations et qu'apprendre c'est les chercher ».

Les recherches portant sur les dispositifs médiatisés « ouverts » ont montré que les libertés de choix laissées aux

apprenants sont propice à la motivation [10] car ils laissent ceux-ci exercer une certaine autonomie d'ordre socio-organisationnel : d'après Jézégou, plus le dispositif est ouvert, plus les étudiants auront tendance à s'impliquer dans leurs apprentissages. Dans le modèle de la dynamique motivationnelle de Viau [11], l'ouverture correspond à la perception du contrôle que l'étudiant peut exercer sur l'activité. Celle-ci constitue l'une des trois perceptions déterminant la motivation à apprendre, les deux autres étant la perception de la valeur de l'activité, c'est-à-dire son utilité au regard des buts d'un sujet, et la perception qu'il a de sa compétence. Néanmoins, si cette ouverture semble propice à la motivation, il reste à voir si elle sera efficace en termes d'apprentissage dans le prolongement d'une première expérimentation menée en Information-Communication [12].

3. DISPOSITIF PÉDAGOGIQUE ET OBJECTUF DE RECHERCHE

3.1. Dispositif pédagogique

Le dispositif pédagogique proposé dans le cadre de cette expérience est celui d'une approche de classe renversée sous la forme de projets [13] de tournage et de montage d'une capsule vidéo visant l'explication d'une règle de grammaire et son exemplification.

Trois grandes étapes composent le dispositif mis en place. Dans la première, les étudiants après un test d'orthographe (pré test QCM et production écrite libre) se répartissent en groupes de deux ou trois et établissent un scénario de production audiovisuelle (*storyboard*). Dans la seconde étape, les tournages filmiques sont réalisés (soit sous un format très scolaire d'enseignement de l'orthographe tel qu'il l'ont connu dans leurs études antérieures et/ou en intégrant leurs passions sportives et/ou culturelles, ou encore en imaginant une mise en situation fictive) ainsi que le montage (dans les salles informatiques ou chez eux). Dans la dernière étape, les étudiants établissent une grille d'évaluation, notent les différentes productions réalisées et complètent un dernier test d'orthographe (post test QCM).

3.2. Questions de recherche

L'expérience a été menée auprès de deux populations d'étudiants : DUT Information-Communication de l'IUT de Strasbourg (DUT-IC) et DUT Métiers du Multimédia et de l'Internet de l'IUT de Béziers (DUT-MMI). Nous avons souhaité mesurer :

1) Si la production d'un tutoriel grammatical est de nature à encourager les étudiants à s'engager dans l'apprentissage de l'orthographe ?
2) Dans quelle mesure l'orientation de la formation impacte-t-elle sur l'engagement des étudiants dans l'activité de production audiovisuelle ?
3) Si ce type d'activité permet d'obtenir des gains d'apprentissage ?

4. MÉTHODOLOGIE

Notre expérimentation est intervenue dans un cours d' « Adaptation de parcours » pour le DUT-MMI visant une remise à niveau des étudiants qui arrivent de baccalauréats différents (généraux, technologiques et baccalauréats professionnels), et en cours d'Expression Ecrite-Orale en DUT–IC visant à leur enseigner les démarches et méthodes de présentation et de rédaction de contenu, à l'oral et à l'écrit. Les séances de classe renversée ont été placées, dans les deux formations, en début d'année universitaire (septembre-octobre 2018), sur une période de cinq semaines.

Par la classe renversée, l'intégralité du temps alloué à ce projet de production audiovisuelle dans l'emploi du temps a été offerte aux étudiants des deux DUT pour concevoir (1) un scénario audiovisuel (*storyboard*), effectuer le tournage et le montage (2) et enfin répondre aux différents questionnaires qui ont jalonné la démarche pédagogique. Les 78 étudiants (45 étudiants DUT-IC et 33 étudiants DUT-MMI), répartis en équipes de deux ou trois, librement constituées, ont ainsi mobilisé les connaissances antérieures (acquises avant la formation DUT ou de manière personnelle).

En six heures de formation en présentiel, les étudiants ont rédigé et déposé sous la plateforme MOODLE un scénario, une production audiovisuelle de 2mn et répondu à deux questionnaires (pré et post test) en orthographe et également en perception (pré et post test).

5. RÉSULTATS

Les résultats s'organisent autour des trois questions de recherche posées précédemment :

1) L'enquête de satisfaction réalisée à l'issue de l'expérience a montré que les étudiants semblent avoir été motivés par le travail en groupe. Il s'agissait là du premier élément apprécié par les étudiants. Le second est celui du tournage (prise de vue) par lequel les étudiants ont pu s'exprimer par leur sport ou passion personnelle (musique par exemple) ou en laissant libre cours à leur créativité dans la conception du scénario. Le troisième et dernier point relève des libertés de choix laissées aux étudiants (selon la formule des étudiants, «c'est ouvert »). Après l'expérience, ils ont exprimé leur plaisir à choisir le contexte de la vidéo, à « créer un scénario », « avoir le champ libre » dans un projet où seule la règle était imposée (aborder la règle de grammaire du participe passé ou de l'impératif) d'après les tests d'orthographe déjà réalisés et les productions libres rendues, ainsi que la durée de la vidéo (2 mn). Ces deux points sont soulignés par les étudiants. Ils expriment le souhait de pouvoir choisir la règle : « si on avait choisi de nous-même, on aurait encore plus aimé ce projet. ». En ce qui concerne la durée de la vidéo, certains étudiants la trouvent trop courte et d'autres trop longue (selon la mise en scène envisagée et les exemples choisis pour illustrer la règle).

2) d'après les questionnaires mis en place (pré- et post test), on ne peut pas dire que la perception de valeur soit significativement différente entre les deux promotions même si en moyenne, la perception de valeur est un peu supérieure chez les étudiants DUT-IC que chez les étudiants DUT-MMI. Cependant, les étudiants qui ont perçu que l'activité leur était utile/profitable (pour le français ou leur projet professionnel ultérieur, etc.) ont eu plus souvent tendance à avoir une meilleure note au post-test que les autres. On ne peut pas parler non plus de différence d'engagement entre les deux formations à partir du temps alloué par les étudiants au projet. En effet, la répartition du nombre d'étudiants selon le nombre d'heures accordées à ce projet est identique à l'exception des étudiants qui disent y avoir passé plus de 3h. En effet, le nombre d'étudiants ayant passé plus de 3h sur ce projet est deux fois plus important chez les DUT-IC que chez les DUT-MMI. Cela peut s'expliquer par le fait que la formation DUT-MMI met à disposition de ses étudiants dès

l'entrée en formation des caméras et des salles de montage vidéo en libre accès. Cette explication est complétée par le fait que les étudiants DUT-IC ont utilisé de manière plus répartie des outils de tournage vidéo tels que le téléphone portable ou la tablette, alors que les groupes d'étudiants du DUT-MMI ont presque exclusivement (95%) utilisé les caméras laissées à leur disposition.

3) Sur l'ensemble des étudiants, le score au test d'orthographe a augmenté entre le pré-test et le post-test, et ce de manière significative. Il semble donc que l'activité demandée aux étudiants dans le cadre de la classe renversée ait un effet bénéfique sur leur apprentissage de la règle d'orthographe visée. Cependant, nous n'avons pas pu vérifier ce comportement dans le cadre de production libre. En effet, les conditions d'expérimentation n'ont pas permis de mettre en place une seconde production personnelle, après la production de la capsule vidéo. Les seules observations ont été faites à partir du pré test et post test orthographe (QCM). Un effet d'habitude s'est peut être installé chez les étudiants qui étaient déjà sensibilisés à cet exercice la seconde fois. Une nouvelle étude expérimentation sera nécessaire pour vérifier si la construction du savoir orthographique s'effectue réellement et s'applique par la suite dans les productions personnelles des étudiants.

6. Conclusion

Dans cette expérience, l'objectif était que questionner les étudiants DUT-IC et MMI afin de percevoir si la production d'un tutoriel grammatical (capsule vidéo) était de nature à les encourager à s'engager dans l'apprentissage de l'orthographe et à les faire progresser. Les résultats montrent que l'engagement est bien là et que la motivation dans la réalisation d'une production audiovisuelle est bien réelle. Il est également à souligner que dans les deux formations sollicitées, le plaisir à concevoir et produire est bien présent car tous les groupes d'étudiants ont rendu une vidéo de qualité sur le thème demandé ; en outre, la majorité des étudiants, quelle que soit leur formation, soulignent le fait que le travail en groupe les motive.

Cependant les résultats au post test orthographe qui semblent révéler une progression sur le plan de l'orthographe sont à appréhender avec prudence. Un test de production libre pourrait compléter les observations faites à partir du post test orthographe mis en place et un renouvellement de cet exercice mené quelques semaines après le projet (janvier par exemple) nous permettrait de mieux mesurer la profondeur des apprentissages initiés. Cette démarche pourrait être également complétée par une étude au cours de laquelle on demanderait aux étudiants de signifier les vidéos qu'ils perçoivent comme porteuses d'apprentissage sur la règle de grammaire : celles qui sont plutôt humoristiques, scolaires (ou non), faisant intervenir des acteurs autres qu'eux mêmes dans les vidéos produites etc. Cela donnerait des indices sur les modalités linguistiques et de mise en activité à mettre en place lors de prochaines sessions dont l'objectif est de faire progresser les étudiants dans la construction de leur savoir orthographique. En prolongement, il serait aussi intéressant de pouvoir mesurer les autres apprentissages concernés par la commande associée à un tel projet, puisque des compétences techniques ou transversales (gestion du temps, répartition des tâches) sont elles aussi intégrées à la formation en DUT quel qu'en soit le domaine de spécialité.

7. References

[1] Montballin, M., Van der Brempt, M et Legros, G. (1995). Maîtriser le français écrit à l'université : un simple problème de langue ? *Revue des sciences de l'éducation,* 21*(1)*, p 59-74..

[2] Lambert, M. (2012). La performance académique des étudiants de premier cycle universitaire : influence des capacités cognitives et de la motivation. Thèse en vue de l'obtention du titre de Docteur en sciences de l'éducation, soutenue le 7 décembre 2012.

[3] Lebrun, M., Gilson, C., et Goffinet, C. (2017). Vers une typologie des classes inversées. *Education et Formation*, e-306.

[4] Entfield, J. (2013). Looking at the impact of the flipped classroom model of instruction on undergraduate multimedia students at CSUN. *TechTrends*.

[5] Chevalier, L. et Adjedj, P.-J. (2014). Une expérience de classe inversée à Paris-Est. *Technologie*, 194*(1)*, 26-37.

[6] Nizet, I. et Meyer, F. (2016). Inverser la classe : effets sur la formation de futurs enseignants. *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur*, 32*(1)*.

[7] Guilbault M. et Viau-Guay A. (2017). La classe inversée comme approche pédagogique en enseignement supérieur : état des connaissances scientifiques et recommandations. Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur, 33*(1)*.

[8] Cailliez, J.-C. et Henin, C. (2017). La classe renversée - L'innovation pédagogique et le changement de posture. Éditions Ellipses Marketing.

[9] Carré, P. (2005). *L'Apprenance. Vers un nouveau rapport au savoir*. Paris: Dunod.

[10] Jézégou, A. (2005).*Formations ouvertes. Libertés de choix et autodirection de l'apprenant*. Paris : L'Harmattan.

[11] Viau, R. (1994, 2009). *La motivation en contexte scolaire*. Bruxelles : De Boeck.

[12] Thobois Jacob, L. (2018). Un Videxéo en classe renversée : une activité efficace pour l'amélioration de l'expression écrite des étudiants ? Communication présentée aux 7e Rencontres des Jeunes Chercheurs en EIAH, ESPE de Besançon.

[13] Mailles-Viard Metz, S., Lê Hung M., Pélissier, C., et Kennel, S. (2017). Le projet : les pratiques en IUT. L'Harmattan. [1] SEP

Autre

L'autoévaluation, un outil pour la réussite des étudiant(e)s de première année d'IUT

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

THEMATIQUE - Sciences Humaines et Sociales

Sciences de l'éducation – Pédagogie.

RESUME - L'autoévaluation peut être un des leviers de la réussite des étudiants qui sont très peu sollicités dans ce domaine.

La faible efficacité des cours de soutien où l'on pense faire absorber par une simple répétition ce que les cours et TD du programme n'ont pas permis d'acquérir, n'est plus à démontrer mais à constater. Il faut donc proposer une autre voie plus efficace.

L'utilisation de l'autoévaluation peut permettre aux étudiants de progresser, de prendre confiance et de s'épanouir dans leur formation.

C'est un domaine nouveau pour eux et dans lequel ils ont été peu formés ce qui ne simplifie pas cette approche. Il s'agit de proposer aux étudiants des questionnaires dans lesquels ils doivent s'autoévaluer sur des points sensibles de leur formation, liés non pas au contenu mais au comportement en situation de formation quant à la gestion du temps, la concentration, la structuration des cours, ... Ces axes sont déterminés par le type de formation concerné et le niveau de formation.

L'intérêt des étudiants pour le contenu même des interventions est le moteur de cette démarche et leurs propositions sont immédiatement intégrées aux documents de travail pour proposer des questionnaires les plus proche possible de leurs préoccupations ou de leurs questionnements du moment.

Mots-clés— Sciences de l'éducation – Pédagogie - Autoévaluation.

1. INTRODUCTION

La réussite des étudiant(e)s est devenu une préoccupation politique et la loi relative à l'Orientation et Réussite des Etudiants est une des réponses. Les IUT se préoccupent de ce point et ont mis en place des actions depuis bien longtemps. Mais il s'agit de proposer des actions pérennes et efficaces. C'est dans ce cadre que s'inscrit ce travail qui est développé sur trois Départements secondaires de l'IUT Aix-Marseille : Chimie, Génie Chimique- Génie des procédés et Réseaux et télécommunications. Il s'agit, par une action limitée d'amener les étudiant(e)s à réfléchir sur la méthodologie et de les faire avancer sur le chemin de la métacognition.

2. MOYENS HORAIRES MIS EN OEUVRE

Les moyens mis en œuvre sont volontairement limités, il s'agit d'interventions courtes et disposées à des moments clé du semestre. Ce sont des interventions d'une heure et trente minutes qui permettent de travailler sans saturer l'esprit des étudiant(e)s.

La première intervention a lieu après quatre à huit semaines de cours pour que les étudiant(e)s aient un vécu dans l'IUT sans que des habitudes soient installées.

La deuxième intervention est positionnée deux à quatre semaines après la première pour que le contenu de celle-ci soit encore dans les esprits des étudiant(e)s.

Une troisième intervention est positionnée après les résultats du premier semestre.

3. MOYENS TECHNIQUES MIS EN OEUVRE

Les interventions sont basées sur des parties informatives et sur des questionnaires qui doivent amener les étudiants à autoévaluer leurs comportements sur différents points de méthodologie.

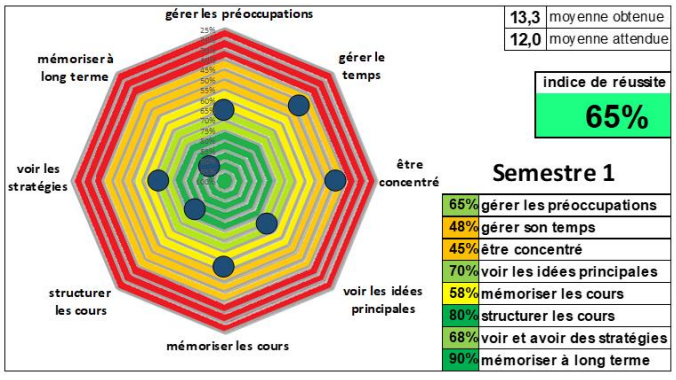


Fig.1 Exemple de profil d'acquisition des compétences

Un des questionnaires permet de leur proposer un profil d'acquisition des compétences qui va mettre en évidence leurs

points forts et leurs points faibles. Ce profil est disponible en ligne et il est étudié lors de la deuxième intervention.

Un travail sur le planning est proposé et on demande aux étudiant(e)s de prendre des engagements pour le semestre.

La troisième intervention permet de vérifier le respect des engagements de construire un profil qui correspond généralement mieux au profil réel des étudiant(e)s. Une deuxième série d'engagements est prise de manière plus réaliste pour le semestre 2. Le temps de travail moyen passe de 7 à 12 heures par semaine.

Les étudiant(e)s disposent en libre accès d'une ressource en ligne qui développe chaque point abordé lors des interventions. Il s'agit d'un document en HTML qui permet aux étudiant(e)s de parcourir seulement les points de la ressource qui les intéressent sans un travail fastidieux de lecture ou de recherche. Un index est proposé avec tous les points clés présentés lors des interventions.

Les interventions mènent progressivement les étudiant(e)s à réfléchir sur leur méthodologie et leurs progrès à s'autoévaluer sont très nets. On constate que les interventions au semestre 3 conduisent à des profils dont les étudiant(e)s affirment (pour les deux tiers) qu'il leur correspond. Les réponses aux questionnaires sont plus complètes et mieux argumentées.

Les huit domaines du profil sont jugés différemment en deuxième année et si les mémorisations et la visualisation des idées principales ne sont pas un problème en première année (les étudiant(e)s ne sont que peu concernés), ils deviennent une préoccupation en deuxième année où ils sont indispensables.

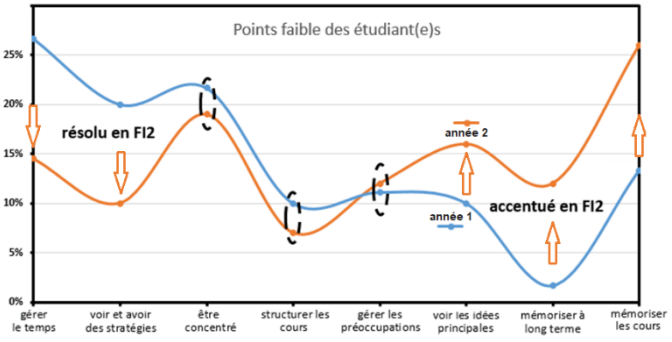


Fig.2 évolution des points faibles des étudiants du semestre 1 au semestre 4

Inversement, la gestion du temps et la visualisation des stratégies de résolution peu utilisées les deux premiers semestres deviennent un réflexe d'apprentissage en deuxième année.

4. Resultats obtenus

Pour obtenir les résultats proposés on pose que les réponses des étudiants sont sincères et que leur capacité à s'autoévaluer est réelle et enfin qu'elle évolue positivement en cours d'année.

Quelques réponses sont extrêmes car certains étudiant(e)s sont réticents à répondre sincèrement ou sont particulièrement séduits mais c'est marginal (2 à 3%). Ces réponses sont intégrées dans les résultats sans aucune modification.

Chaque intervention est évaluée et si le taux de satisfaction est inférieur à 75%, l'intervention est modifiée pour le groupe suivant et si le taux n'évolue pas, les interventions sont annulées.

4.1. Leur opinion sur leur formation et sur la méthode

Les interventions sur la méthodologie les ont intéressés 75% et ils sont 72% à avoir beaucoup appris (l'écart-type est de 4 à 6%). Les pourcentages montrent qu'un quart des étudiants déclarent avoir été moins intéressés et 1 à 2% pas du tout.

Ils pensent à 83% qu'une méthode est utile et 73% veulent utiliser des points présentés alors qu'ils étaient 44% à ne pas avoir réfléchi sur leur méthode (une valeur supérieure à 50% montre un groupe impliqué prêt à modifier son comportement).

A l'issu de ces interventions, 70% connaissent bien leur méthode et 74% ont eu suffisamment d'informations sur la méthode mais seulement 26% ont relu les documents mais 41% sont allés sur AMéTICE consulter la ressource mise à leur disposition.

Ils sont intéressés, ils sont attentifs et impliqués, ils comprennent ce qu'est une méthode et ont appris à l'analyser mais la relecture des documents est limitée (bien qu'elle soit bien supérieure à la relecture de leurs cours qui est de 14%). Leur mettre à disposition des documents sur AMéTICE est plus efficace que de leur fourmi des polycopiés.

La méthode leur rappelle des souvenirs, y réfléchir et agir, est plus complexe mais, globalement, ils adhèrent rapidement.

4.2. Leur compréhension de la méthodologie

La compétence les intéresse (85%) et les motive, ils sont prêts à travailler pour devenir compétent et ont compris que c'est un plus à leur diplôme.

On observe que 51% ne font jamais de fiches (14% en font), que 45% révisent au dernier moment et seul(e)s, que 14% relisent tous les cours (et 50% déclarent ne jamais les relire), que 69% n'utilisent jamais de planning (ce qui peut aller jusqu'à ne pas connaître les dates des contrôles)

Ils sont convaincus qu'une méthode est indispensable, ils sont prêts à mettre en place ce qui leur a été proposé mais ils ont un long chemin à parcourir car la majorité ne fait jamais de fiches, révise au dernier moment, ne relis pas les cours (ni les TD), ne planifient rien et n'a pas envie de planifier.

4.3. Ce qui les a intéressés

Il est proposé, dans tous les questionnaires, de compléter des commentaires facultatifs pour expliquer leur réponse. Il est à souligner que ces réponses facultatives restent souvent vides pour plus de moitié, malgré cela on relève que 21% a noté que tout était intéressant ou qu'aucun point n'était inintéressant.

La notion d'équilibre au sens large (mode de vie = études, loisirs, sommeil, …) les a séduits et par exemple, 44% déclarent ne pas dormir suffisamment.

Les pourcentages sont faibles car les réponses sont facultatives, donc elles soulignent l'intérêt des étudiants lorsqu'elles sont citées.

4.4. Leur temps de travail et leur formation

Ils sont 85% à penser que la formation correspond à leurs attentes. La moitié déclare aimer la formation, puis les cours et l'encadrement

A la fin du S1 ils sont 28% à travailler peu (ils désignent des causes : le téléphone, les jeux, la « flemme », les préoccupations et les occupations).

Les étudiant(e)s sont 16% à travailler moins de 5h / semaine, 38% de 5 à 10h / semaine, 14% de 10 à 15h / semaine et 3% à travailler plus de 15h par semaine

Conclusion, il y a 69% des étudiants qui travaillent à un rythme correct, quelques pour cent qui travaillent trop et il reste

31% à convaincre de travailler plus … sachant que naturellement, la moitié va s'y mettre au semestre 3.

Ils ont un petit problème pour se mettre au travail qu'ils vont généralement résoudre en avançant dans leurs études grâce à l'effet de groupe et à l'encadrement.

Tableau 1. Les points que les étudiants envisagent de faire évoluer

	PA	DP	EN
la relecture les cours	65%	26%	39%
l'utilisation d'un planning	48%	42%	39%
la gestion des préoccupations	45%	10%	16%
les répétitions espacées avant les DS	42%	10%	-
l'augmentation du temps de travail	-	16%	52%
plus de concentration et d'attention en cours	-	26%	29%
une meilleure hygiène de vie	-	10%	-
dormir plus	-	-	26%
travailler les TD	-	-	16%

Les mêmes questions sont posées sous différentes formes pour identifier ce qui est vraiment important pour eux.

Les « points à améliorer (PA) » indiquent ce qu'ils pensent améliorer à l'issu de l'énoncé des outils. Les « deux points (DP) » indiquent les deux points qu'ils vont faire changer en priorité. Les « engagements (EN) » pour le semestre sont dans la dernière colonne du tableau.

La relecture des cours est le point le plus indiqué ainsi que l'utilisation d'un planning. La gestion des préoccupations en troisième position mais elle est souvent liée aux autres points et diminue dès que les autres points s'améliorent. L'augmentation du temps de travail n'est pas vu (à ce niveau de la formation) comme un outil de réussite mais comme un mal nécessaire (il ne figure que dans les engagements).

Le fait que les répétitions espacées et la gestion des préoccupations soient mises en avant montre qu'ils ont intégré certains outils, et qu'ils ont compris que la vie étudiante fait partie de leur vie tout court. On note la notion d'équilibre au sens large les a marqués et ils souhaitent atteindre cet équilibre.

On constate qu'ils relisent peu les cours (14%) et que 35% les lisent « parfois ». Il est surprenant qu'ils ne refassent pas les TD mais ils ont été sensibilisés sur ces points qui apparaissent dans leurs engagements.

5. Les indicateurs

Il est très utile de pouvoir disposer d'indicateurs pour toute action vers la réussite mais on se heurte rapidement à des difficultés de mise en place.

Tableau 2. Questionnaire en ligne proposé quelques semaines après les interventions (sur une promotion 2018-2019)

les interventions m'ont permis de réfléchir sur ma méthode	83%
les interventions m'ont beaucoup appris sur ma méthode	73%
les interventions vont m'aider à obtenir de meilleurs résultats	72%
les interventions vont m'amener à modifier certaines habitudes	77%
les interventions m'ont motivé(e)	65%
les interventions m'ont motivé(e) pour la suite	78%
le profil proposa me correspond	65%
le profil m'a aidé à définir ma méthodologie	67%
le profil a mis en évidence mes points forts/faibles	77%
je vais agir sur mes points forts/faibles	86%
je souhaite obtenir mon profil, à nouveau, au S3	88%

On propose donc d'utiliser les réponses des étudiant(e)s à un questionnaire qui leur est soumis en ligne qui permet de vérifier leur volontariat et leur motivation puisqu'ils ne sont pas contraints.

On ne peut mesurer l'impact de ces interventions dans la mesure où l'on n'a pas utilisé de groupe témoin dans un même Département (ce qui est impossible du fait de la forte communication entre les étudiants) et la comparaison de deux Départements différents est difficile car leur fonctionnement est souvent différent.

Les réponses à ce questionnaire montrent que pour les trois quarts des étudiant(e)s la sensibilisation à la méthodologie est obtenue à l'issu des interventions. Ils pensent disposer d'outils pour évoluer et sont convaincus de leur efficacité. Ils ont été motivés et souhaitent obtenir le profil après avoir mis en pratique leurs engagements.

6. Conclusions

L'intérêt des étudiants pour le contenu même des interventions est le moteur de cette démarche et leurs propositions sont immédiatement intégrées aux documents de travail pour proposer des questionnaires les plus proche possible de leurs questionnements du moment.

Les résultats de cette démarche sont visibles à travers les échanges que peuvent avoir l'ensemble des enseignants et à travers les questionnements des étudiant(e)s qui s'orientent vers des points plus précis grâce à l'identification et surtout à l'acceptation de l'existence de leurs points forts et faibles. En effet, la définition précise des points sur lesquels l'étudiant(e) peut agir lui donne, lorsqu'il décide de s'y engager, des chemins d'accès à la réussite.

Il s'agit, par ce travail de mettre les étudiant(e)s en conditions de réussite et surtout de les sortir de leur situation de non réussite lorsqu'ils se sont identifié(e)s comme tel.

Les étudiant(e)s sont informés sur les outils possibles pour évoluer, sur leurs forces et leurs faiblesses mais c'est souvent un diagnostic personnalisé qui peut les amener à faire le pas vers la réussite.

7. Remerciements

Il est indispensable de remercier tous les étudiant(e)s qui ont toujours répondu aux questionnaires avec une grande sincérité et qui ont souvent levé l'anonymat pour bénéficier de conseils personnalisés exprimant ainsi leur confiance en l'intervenant.

8. References

Numéroter les références de la même façon que dans l'exemple ci-dessous – par ordre d'apparition dans le texte.

[1] M. Romainville, R. Goasdoué, M. Vantourout, « Évaluation et enseignement supérieur », Editeur, De Boeck Supérieur, 2013.

[2] S. Hue, J. Rousse, M. L. Bon et F. F. Straye, « Autoévaluation des compétences personnelles et l'image de soi de l'enfant en mileu scolaire », Bulletin de psychologie, no 499, 2009, pp. 3-14.

[3] M. Schratz, « L'autoévaluation, une nouvelle mission du système éducatif », Education et sociétés, vol. 8, no. 2, 2001, pp. 65-80.

[4] V. Wathelet, M. Dontaine, X. Massart, P. Parmentier, S. Vieillevoye, M. Romainville. « Exactitude, déterminants, effets et représentations de l'auto-évaluation chez des étudiants de première année universitaire » Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur, no. 32, 2016, pp. 1-21.

[5] L. Saint-Pierre, « L'habileté d'autoévaluation : pourquoi et comment la développer ? », Pédagogie collégiale, vol. 18, no. 1, 2004, pp. 33-38.

[6] C. Maintier, D. Alaphilippe, « Validation d'un questionnaire d'auto-évaluation de Soi destiné aux enfants », L'année psychologique, vol. 106, 2006, pp. 513-542

[7] S. Mailles-Viard Metz, « L'aide du numérique aux activités d'autoévaluation », Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur, vol. 31, no. 3, 2015, pp. 1-24.

[8] M. Roy, N. Michaud, « L'autoévaluation et l'évaluation par les pairs en enseignement supérieur : promesses et défis », Formation et profession, vol. 26, no. 2, 2018, pp. 54-65.

Liste des auteurs

Aït-Ammar Amina, 22–24
Abboud Nadine, 95–97
Abed-Meraim Kamel, 86–88
Abellard Patrick, 19–21
Agoudjil Boudjemaa, 89–91, 98–100
Al-Assaad Hiba, 128–130
Albert Quentin, 84, 85
Aldrin Jérémy, 68–72
Alioua Tarek, 98–100
Alioua Trek, 89–91
Alma Marouane, 113–116
Andre Virginie, 63–65
Anselin Loïc, 25–27
Aouichak Ismail, 168–170
Arlotto Philippe, 144–146
Arnaud Alain, 73–77
Astorga Zaragoza Carlos Manuel, 134–137
Atzenhoffer Régine, 196–198
Ayari Sawsen, 19–21

Bécar Jean-Paul, 152–154
Badine Élie, 95–97
Baraud Fabienne, 81–85
Bardoux Mathieu, 95–97
Barry-Martinet Raphaëlle, 35–37
Becar Jean-Paul, 155–157
Belaiche Reda, 131–133
Benjelloun Ilham, 84, 85
Benmouna Amel, 92–94
Bidan Marc, 45–47
Bigey Magali, 200–202
Bonnardot Frédéric, 5–7
Bonose Myriam, 14, 15
Boucher Christophe, 128–130
Bouchouicha Moez, 178–180
Boudenne Abderrahim, 89–91, 98–100
Boutayeb Mohamed, 101–103
Bressy Christine, 35–37
Briand Jean-François, 35–37, 41–43

Caldarelli Stefano, 28–30
Campredon Mylène, 28–30
Canchola Hernandez Carlos Jaime, 161–163
Capobianco Antonio, 147–149
Caron Olivier, 144–146
Carré Stéphane, 78, 79
Catao Elisa, 35–37
Cazier David, 147–149
Chabanon Elodie, 12, 13
Champlon Jordan, 150, 151
Charcosset Catherine, 12, 13
Chibout Karim, 147–149
Choffel Denis, 68–72
Cisse Amadou, 101–103
Clement Alain, 141–143
Corbier Christophe, 125–127
Cottaz Amandine, 38–40

Daher Ali, 128–130
Daouad Fadoua, 22–24
Darouach Mohamed, 134–137
De Rovere Marco, 22–24
Deblieck Marie, 25–27
Debs Sylvie, 199
Dedessus-Le-Moustier Nathalie, 66, 67
Dhaouadi Sabrine, 174–177
Dherment-Ferere Isabelle, 45–47
Dupuy Nathalie, 210–213

El Ganaoui Mohamed, 113–116
Elfeki Imene, 168–170

Fontaine Jean-François, 192–194

Gan Yajian, 118–120
Garnier Cédric, 35–37
Garon David, 84, 85
Gautier Virginie, 22–24
Ghiglione Jean-François, 35–37
Ghoul Samson Jacques, 203–205
Gies Valentin, 164–167
Gillard Philippe, 107–109
Ginhac Dominique, 131–133
Ginoux Jean-Marc, 121–124
Golvin Jean-Claude, 121–124
Gong Xiaojing, 186–188
Grimaldi Michel, 144–146

Hamdaoui Ons, 189–191
Herro Ziad, 95–97
Huet Eric, 8
Hugel Vincent, 158–160

Ibos Laurent, 189–191

Joly Catherine, 38–40
Joly Frederic, 110–112

Kossonou Yao Taky Alvarez, 141–143

Léonel Eric, 2–4
Le Bunetel Jean-Charles, 168–170
Le Gall Erwan, 2–4, 9–11
Lefebvre Loick, 25–27
Lejeune Hortense, 25–27
Leleyter Lydia, 81–85
Leonel Eric, 9–11
Limam Oualid, 189–191

Maeder Anne, 48–55
Maintenay Marine, 35–37
Maire Yanis, 25–27
Mangin Denis, 12, 13
Mazioud Atef, 189–191
Mbarki Wafa, 171–173
Megange Patrice, 104–106
Michaud Maïté, 12, 13
Migniot Cyrille, 131–133
Misson Benjamin, 35–37
Morel Christian, 59–62
Moulin Antoine, 147–149
Mousseau Pierre, 150, 151

Nannipieri Olivier, 203–205
Noyer Jean-Charles, 128–130

Ollivier Anthony, 9–11
Osorio Gordillo Gloria Lilia, 134–137
Oudghiri Fatiha, 81–83
Oudghiri Idrissi Youssefi Fatiha, 16–18
Ozturk Keziban, 38–40

Paché Gilles, 59–62
Paul Jérôme, 2–4
Pelissier Chrysta, 206–208
Pissaloux Edwige, 138–140
Pollet Thomas, 35–37
Pons Jean-François, 118–120
Presset Marc, 2–4
Prevot D'alvise Nathalie, 31–34

Quiroga José María, 16–18

Rahajandraibe Wenceslas, 118–120
Raingeaud Yves, 168–170
Rambour Muriel, 56–58
Rezaire Koulani, 48–55
Rios Ruiz Carlos, 134–137
RodrÍguez Barroso Rocío, 16–18
Rohr Olivier, 22–24
Romeo-Pakker Katerin, 138–140

Sahraoui Abdelhak Hadj, 95–97
Sahraoui Bouchta, 141–143
Salaun Vincent, 63–65
Salem Thouraya, 182–185
Schwartz Christian, 22–24
Scipioni Angel, 113–116
Sengmany Stéphane, 9–11
Serin Frédéric, 138–140
Shahin Ahmad, 128–130
Shintu Laetitia, 28–30
Sirjean Stéphane, 59–62
Sobhy Haitham, 22–24
Souley Ali Harouna, 113–116, 134–137

Thobois Jacob Laetitia, 206–208

Valls Robert, 210–213
Van Assche Jeanne, 22–24
Van Lint Carine, 22–24
Vareille Jean, 152–157
Vauche Rémy, 118–120

Wallet Clémentine, 22–24
Watelain Eric, 19–21
Watier Denis, 25–27
Watier Lucie, 25–27

Yang Fan, 131–133

Zoueu Jérémie, 141–143