



POLYTECH.NEWS

Le journal de la Faculté Polytechnique de Mons



DOSSIER
Ingénierie et défis
environnementaux

Titre 1 - ligne 1
Titre 1 - ligne 2

Titre 2 - ligne 1
Titre 2 - ligne 2



**POLYTECH
MONS**

Éditeur Responsable

Pierre Dehombreux
Doyen de la FPMS

Comité de Rédaction

Georges Kouroussis
Rédacteur en chef

François Vallée
Secrétaire de rédaction

Christophe Caucheteur
Éditeurs invités

Coralie Avez, Zacharie De Grève,
Fanny Descamps, François Ducobu,
Eric Dumont, Saïd Mahmoudi, Christine
Martens, Camille Raes, Martin Scohier
Comité de Rédaction

Mohammed Amin Belarbi, Coralie Avez,
Jean-Marc Baele, Sébastien Bette,
David Bayle, Ibtissam Bouazzati,
Valérie Brison, Lucie Costes, Grégory
Coussement, Fanny Darja, Laurent
Debailleux, Olivier Debauche, Marc
Debliquy, André Decroly, Fabienne
Delaunois, Anthonin Demarbaix, Fanny
Descamps, Thierry Descamps, Adrien
Dolimont, François Ducobu, Thierry
Dutoit, Mohammed el Adoui, Christian
Feudjio Letchindjio, Chiara Fucelli,
Nicolas Gillis, Sergio Gonzalez-Horcas,
Germain Guillaume, Anne-Lise Hantson,
Aurélien Isebaert, Vasiliki Klonari, Lucie
Koller, Delphine Lupant, Saïd Mahmoudi,
Aldo Mirisola, Véronique Moeyaert,
Frédéric Musin, Edouard Rivière-
Lorphèvre, Bertrand Roensmaens,
François Vallée, Laurent Van Parys,
Alain Vandewouwer, Véronique Vitry,
Marie-Laure Wattier, Marc Wuilpart
Rédacteurs invités

SOMMAIRE

3 ÉDITORIAL

3 LE MOT DU DOYEN

4 DOSSIER | Environnement

- 6 La diffusion de la lumière au service de l'ingénieur : les capteurs distribués à fibre optique
- 8 Les capteurs chimiques sur fibre optique
- 10 Les techniques optiques de pointe au service de l'ingénieur
- 12 Les fabrications par faisceaux ou comment la lumière participe au façonnage d'une pièce mécanique
- 14 Vers une maîtrise colorimétrique du béton
- 16 La lumière, matière à révéler
- 18 L'Internet des Objets met la lumière dans tous ses états
- 19 Li-Fi (Light Fidelity) : un système de communication sans fil... « lumineux » !
- 20 L'unité de croissance végétale automatisée
- 21 Faire la lumière sur les mystères du sous-sol avec... de la lumière !
- 22 Lumière sur les enjeux technologiques liés au photovoltaïque
- 23 L'imagerie hyperspectrale, ou comment voir l'invisible
- 24 La réalité augmentée sans lunettes : anamorphose, parallaxe, holographie et mapping 3D
- 26 Les micro-algues : convertisseurs de lumière photosynthétiques

28 POLYTECH DOCT' NEWS

- 28 Modèles probabilistes pour un réseau de distribution à pénétration élevée de photovoltaïque
- 28 CFD Methodology for Wind Turbines Fluid-Structure Interaction
- 28 Evolution géodynamique d'un arc insulaire néoprotézoïque (Anti-Atlas marocain) : Caractérisation des processus de croissance intra-océanique et d'accrétion
- 28 Innovative solutions to realize stable and reliable ultra-short pulsed lasers for industrial applications
- 29 Herstellmortels voor natuursteen: een betere compatibiliteit dankzij een geoptimaliseerde ontwikkeling – Repair mortars for stone: Increased compatibility through optimised development
- 29 Few-Mode Interferometric Fiber Optic Sensor
- 29 Exploitation of the polarization properties of fiber Bragg gratings for sensing applications
- 29 Bragg gratings in step-index polymer optical fibers: photo-inscription and characterization for sensing applications
- 30 Development of new biobased flame retardant additives for polylactide
- 30 Spatial decision aiding models for maps comparison
- 30 Aide au diagnostic des anomalies de la colonne vertébrale par analyse d'images médicales

31 NOS ÉTUDIANTS SE DISTINGUENT

31 NOS CHERCHEURS SE DISTINGUENT

32 LIAISONS

- 32 Cross Laminated Timber : annonce d'un changement majeur en matière de construction
- 33 From Beijing to Belgium

34 PÊLE-MÊLE

ÉDITORIAL

✉ Prof. Georges Kouroussis



??????

LE MOT DU DOYEN

LE MOT DU DOYEN

✉ Prof. Pierre Dehombreux



????

TITRE?

☒ Auteur(s)?



Il est inutile de rappeler que l'environnement est une préoccupation majeure de notre temps. Il n'y a pas un jour où on ne nous parle pas de réchauffement climatique, de qualité de l'air intérieur ou extérieur, de l'impact des polluants sur notre santé ou d'accessibilité à l'eau potable pour plus d'un milliard d'humains. L'environnement est devenu un des enjeux sociétaux du vingt et unième siècle et les choix posés actuellement et dans un futur proche impacteront les prochaines générations.

L'homme et l'environnement

L'impact des contributions anthropiques sur l'environnement est important, on retrouve des traces d'activités industrielles avec l'apparition des premières fonderies 10 siècles avant notre ère. L'utilisation du plomb par les grands empires d'Europe a laissé des traces jusque dans les glaces du Groenland. En effet, le plomb est un métal facile à obtenir et à manier, ce qui le rendait très utile pour les civilisations de l'Antiquité. Les Européens s'en servaient pour fabriquer des canalisations pour l'eau potable ou pour protéger les coques des bateaux.

Avec le début de la révolution industrielle à la fin du 18^e siècle en Angleterre, en Belgique, dans le nord

de la France et en Suisse et plus particulièrement à partir au milieu du 19^e siècle avec la seconde révolution industrielle et avec son extension aux Etats-Unis, à l'Allemagne et à la Russie, les hommes ont commencé à avoir un impact de plus en plus important sur leur environnement. Les pays ayant connu la révolution industrielle ont également tous connu des mutations démographiques dont la plus importante est la transition démographique qui correspond à l'augmentation de leur population.

Cette révolution industrielle a été rendue possible grâce aux découvertes scientifiques et progrès technologiques : aux machines à vapeur, à l'électricité, aux moteurs électriques et moteurs à combustion interne, l'automobile, la chimie, le chemin de fer, la sidérurgie. Ces développements ont nécessité la consommation de matières premières fossiles et produit les rejets qui n'ont fait que croître avec l'utilisation massive du charbon à partir de 19^e et du pétrole au 20^e siècle. La demande en matière minérale, en métaux ou en terres rares a également « explosé » au 20^e siècle, leur extraction et leur transformation étant énergivores et produisant de nombreux déchets.

L'essor économique et social de l'après seconde guerre mondiale a rapidement vu émerger une oppo-

sition entre la nécessité de prélever des ressources dans l'environnement, de consommer, de produire (et, a fortiori, d'épuiser des ressources, de générer des déchets, de polluer, etc.) et la protection ou la conservation de l'environnement, qui recèle ces ressources, reçoit les déchets, etc.

Le concept de développement durable a émergé progressivement depuis le début des années 1970 et vise à « réconcilier » le développement économique et social humain avec la protection de l'environnement et la conservation des ressources naturelles. Les termes « protection » et « conservation » sont souvent perçus comme synonymes d'« interdiction d'accès », d'où la préférence et la meilleure adéquation du terme « gestion ».

On peut classer les impacts des activités humaines en deux catégories :

- 1) « ponctuels », affectant un individu ou un groupe d'individus exposés à une source clairement identifiable (caractère prévisible) : (i) nuisances immédiates : bruits, vibrations, poussières, odeurs, champ électro-magnétique, etc. et (ii) nuisances à moyen et long terme comme par exemple la toxicologie du quartz et de l'amiante.

2) Il existe aussi des nuisances « globales », affectant un grand nombre d'individus exposés aux conséquences plus ou moins étendues, plus ou moins intenses et plus ou moins immédiates de ses activités (caractère imprévisible dans le temps et dans l'espace). C'est, par exemple, le dérèglement des rouages de la mécanique environnementale dont il fait lui-même partie (exemple-type : effet de serre, changements climatiques, pluies acides ou destruction de la couche d'ozone au niveau de la stratosphère).

Progrès versus Environnement

Malgré leur utilité apparente, des composés comme les fameux CFC (chlorofluorocarbone), utilisés dans le monde durant plusieurs décennies dans les aérosols et systèmes de réfrigération (climatisation et frigos) ou le plomb tétraéthyle, un additif antidétonant pour carburants se sont ensuite révélés pour les premiers gravement dommageables pour l'environnement ou très nocifs pour la santé pour les seconds. Les CFC ont été interdits et remplacés par des produits qui ont impact sensiblement moins important sur la couche d'ozone (Protocole de Montréal, 1987) ; en Europe leurs remplaçants, les HCFC sont également interdits depuis 2015 et remplacés par des composés n'ayant plus d'impact sur la couche d'ozone. Le plomb tétraéthyle est encore produit et utilisé dans certains pays en développement. Les émissions tétraéthyle de plomb, représentent de l'ordre de 90% de tout plomb émis dans l'atmosphère de 1920 à 2000 alors qu'il s'agit de l'une de ses formes les plus bioassimilables.

Le protocole de Montréal fut le premier accord global signé sur l'environnement. Il permit l'arrêt des émissions de CFC. Trente ans après, on peut dire que le protocole est une réussite. Toutefois, cet arrêt ne veut pas dire un retour à la normale, les scientifiques s'accordent pour un retour de la couche d'ozone à son état de 1980 entre 2055 et 2065.

Par la suite, d'autres protocoles se sont mis en place pour limiter les émissions de polluants atmosphériques dans le cadre de la convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance, dont le dernier notamment en 1999, le protocole de Göteborg, qui définissait des plafonds d'émissions afin de réduire les impacts de la pollution atmosphérique sur la santé et l'environnement. Ils ont été mis en place pour les émissions de dioxyde de soufre (SO₂), d'oxydes d'azote (NOx) et d'ammoniac (NH₃), responsables de l'acidification et de l'eutrophisation, et les émissions de composés organiques volatiles (COV), qui, avec les NOx, donnent naissance à l'ozone.

La réduction des émissions de CO₂ et le réchauffement climatique sont le grand défi actuel. Bien que le Professeur Svante August Arrhenius (1859-1927), prix Nobel de chimie, expliqua dès 1896 que la vapeur d'eau et le CO₂ jouaient un rôle essentiel dans l'équilibre thermique de la Terre et que l'utilisation intensive des énergies fossiles pourrait augmenter l'effet de serre, ce n'est qu'un siècle plus tard que sa mise en garde commença à être entendue. Il avait évalué qu'un doublement du

taux de CO₂ causerait un réchauffement de l'ordre de 5°C (soit un peu plus que les prévisions de 2 à 4,5°C faites par le GIEC cent-dix ans plus tard). Il pensait que cela n'arriverait que dans 3000 ans !

Après le sommet de la terre à Rio en 1992, chaque année (depuis 1995), la conférence des parties (COP) se réunit pour faire le point sur l'application de convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques et négocier les nouveaux engagements. Certaines ont marqué les esprits et ont abouti à des avancées : le Protocole de Kyoto, la Conférence de Copenhague ou la COP 21. Beaucoup de bonnes intentions mais nous ne sommes qu'au début du chemin.

L'exploitation non raisonnée des matières premières, tant les minerais que les combustibles fossiles est à l'origine de catastrophes environnementales. L'exploitation des schistes bitumineux et, plus particulièrement, ceux de surface sont à l'origine de contamination des aquifères par des métaux, la production de lixiviats acides ainsi que l'émission de composition sulfurés et particules dans l'atmosphère, ce qui peut induire de graves problèmes de santé environnementale, notamment dans les pays pauvres. Les terres rares (17 éléments du tableau de Mendeleev), qui sont très peu présentes dans la croûte terrestre, sont des métaux qui sont indispensables à notre quotient (lasers, batteries, aimants permanents pour éoliennes ou voitures hybrides, alliages légers, pot catalytique, etc.) et font aujourd'hui partie des matières premières stratégiques. L'extraction et le raffinage de ces terres rares entraînent des rejets toxiques extrêmement nocifs : métaux lourds, acide sulfurique ainsi que des éléments radioactifs comme l'uranium ou le thorium. En Chine, quasi en situation de monopole, les effluents toxiques sont stockés dans un lac artificiel de 10 km³ dont les trop-pleins sont rejetés dans le fleuve Jaune. Les sites pollués liés aux exploitations industrielles passées et actuelles sont nombreux et pas seulement en Chine ou aux Etats-Unis, la Wallonie en regorge. Leur traitement est d'ailleurs un volet important du plan Marsall 4.0.

L'eau est un enjeu majeur. Elle est nécessaire à la survie de l'homme (2,5l par jour selon l'OMS) mais nous en utilisons de 120 à 300 litres par jour et par personne ; ce qui a pour conséquence une surexploitation des ressources qui peut provoquer l'assèchement de réserves d'eau potable ou l'affaissement des vallées comme dans la vallée de San Joaquin en Californie. Les traitements des eaux résiduaires qu'elles soient urbaines ou industrielles sont nécessaires.

Dans le domaine de l'environnement, il faut faire attention « aux fausses bonnes idées ». Penser que le retour en arrière est la bonne solution peut être un leurre. Par exemple, l'utilisation de bois dans un foyer domestique pour se chauffer peut être à l'origine d'émission de composés organiques volatils (COV) importants dans l'atmosphère qui ont un impact bien plus important sur l'environnement (ils interviennent dans le processus de formation d'ozone dans la basse atmosphère) et sur la santé (certains sont toxiques ou cancérigènes) que la

réduction des émissions de CO₂ liée à la substitution du combustible fossile. Il ne faut pas transférer la pollution !

A l'inverse, il est impératif d'effectuer des analyses de cycle de vie (AVC) afin de réaliser des bilans environnementaux multicritères et multi-étapes du produit et/ou du procédé afin de quantifier les impacts tout au long du cycle de vie depuis l'extraction de toutes les matières premières utilisées pour sa fabrication jusqu'à sa mise en décharge ou son recyclage. Ces analyses permettent de comparer des procédés ou des produits ayant la même fonction.

De nos jours, l'écoconception devrait devenir la norme afin de réduire les impacts négatifs du produit, du procédé sur l'ensemble de son cycle de vie, tout en conservant ses qualités d'usage.

Au vu des défis environnementaux et sociétaux, car ces deux notions sont intimement liées, les scientifiques et les ingénieurs ont un rôle primordial à jouer. Ils ont une mission : ils doivent relever ces défis auxquels nous faisons face et que nous devons faire face.

La Faculté Polytechnique de l'UMONS forme, depuis de nombreuses années, les futurs ingénieurs aux traitements des eaux résiduaires urbaines, aux traitements des effluents gazeux, à l'étude des risques naturels, à l'utilisation des matières premières de manière efficiente, au recyclage des matériaux et à la gestion des déchets, la caractérisation et les traitements de sols pollués, aux sources d'énergies alternatives, au bruit, aux vibrations dans les différentes spécialités de Master. Cette énumération n'est pas exhaustive et elle s'enrichit aux fils du temps avec, par exemple, l'introduction aux formations liées à l'analyse du cycle de vie.

En parallèle, la Faculté Polytechnique a voulu conscientiser et former tous ces étudiants, dès leur entrée en bachelier aux problématiques environnementales. Elle a ainsi été la 1^{ère} Faculté de sciences appliquées de la Fédération Wallonie-Bruxelles (en 2005) à donner un premier bagage scientifique et technique, notamment par l'introduction d'un cours de BAB1 intitulé « Environnement, procédés industriels et développement durable ».

Dans le cadre de la démarche Eng'UP de la Faculté et l'apprentissage par projet dès le cycle de Bachelier, des projets à caractères environnementaux et sociétaux sont proposés aux étudiants de BAB2 comme : le développement d'unité portable de production d'eau potable pour ingénieur sans frontières ou encore le recyclage ludique et éducatif des bouteilles d'eau pour Pairi Daiza.

Vous aurez l'occasion dans ce 57^e numéro du Polytech News d'avoir un aperçu des thématiques traitées actuellement à la Faculté et projets sur lesquels travaillent les chercheurs. Vous verrez la grande diversité de ceux-ci. Il est bien sûr impossible d'être exhaustif.

Bonne lecture !

Protection et gestion des ressources en eau souterraine dans les aquifères côtiers philippins



✉ Prof. Pascal Goderniaux, Service de Géologie fondamentale et appliquée

Aux Philippines, nombre de villes se sont développées le long du littoral. Ces zones côtières sont aujourd'hui sujettes à une urbanisation rapide, entraînant également des besoins en eau potable de plus en plus importants et des problèmes de pollution des ressources en eau souterraine.

Pour leur alimentation en eau, ces villes dépendent, en partie, d'aquifères locaux situés entre la ligne de côte et un relief plus ou moins accidenté, à caractère volcanique. Dans les zones urbaines, ces aquifères sont vulnérables à toute une série de contaminations potentielles en provenance de la surface. De plus, l'augmentation des pompages et la proximité de la mer entraînent des intrusions d'eau salée dans les aquifères. En effet, le niveau d'eau souterraine baissant dans l'aquifère, et l'eau de mer étant plus dense que l'eau douce, des transferts d'eau salée ont lieu vers les terres.

L'augmentation de la salinité de l'eau pompée et distribuée, au-delà des normes de potabilité, pose d'énormes problèmes. Une certaine frange de la population continue en effet de la consommer, s'exposant à des problèmes sanitaires conséquents.

Ce type de situation critique est, en partie, expliqué par un manque de connaissance du contexte hydrogéologique de la part des acteurs locaux. En conséquence de la demande en eau de plus en plus élevée, de nouveaux points de captage sont installés, mais sans vision globale des ressources en eau souterraine, et sans méthodologie adéquate pour une gestion durable de ces ressources.

C'est dans ce contexte que le projet BIMWAM, financé par l'ARES, a officiellement débuté le 24 janvier 2018, lors du kick-off meeting à Cagayan de Oro (Philippines), en présence des différents partenaires du projet, des autorités de l'Université Xavier, et du conseiller à l'ambassade de Belgique aux Philippines. Le projet, d'une durée de 5 ans, a pour objectif de développer une méthodologie intégrée pour l'évaluation et la bonne gestion des ressources en eau souterraine dans les zones côtières urbaines aux Philippines. Le projet a lieu sur l'île de Mindanao, située au Sud de l'archipel.

Le projet regroupe plusieurs partenaires issus de différentes institutions en Belgique et aux Philippines. Vincent HALLET, Professeur à l'Université de Namur et coordinateur du projet, et Pascal GODERNIAUX, à l'Université de Mons, mènent les travaux de recherche en hydrogéologie. Dr. Ignace ADANT, de l'Université Catholique de Louvain, est en charge des travaux liés aux problématiques socio-économiques. Les partenaires philippins sont l'Université Xavier, à Cagayan de Oro sur l'île de Mindanao, et l'Université St La Salle, sur l'île de Bacolod. Les travaux sont réalisés sur deux sites d'étude : les localités de Medina et Opol, toutes deux situées sur l'île de Mindanao, respectivement en environnement rural et en périphérie urbaine. Les coopératives locales de distribution d'eau sont parties intégrantes du projet. Des collaborations fortes ont d'ores et déjà été établies, notamment en termes d'échange de données et de partages concernant les pratiques de captage et d'approvisionnement.

Deux étudiants philippins ont récemment débuté des travaux de recherche doctorale, financés par le projet BIMWAM. Ces deux étudiants sont basés à l'Université Xavier à Cagayan de Oro, et réalisent leur doctorat au sein d'universités belges. Ils partageront leur temps entre la Belgique et les Philippines.

En particulier, l'étudiant responsable des questions hydrogéologiques réalise son doctorat à l'UNAMUR et l'UMONS. Dans un premier temps, l'objectif est notamment de caractériser les écoulements d'eau souterraine, les propriétés hydrauliques et les intrusions d'eau salées dans les aquifères présents sur les sites d'étude. Les ressources en eau souterraine seront quantifiées, par le biais d'une approche bilantaire et comparées à la demande. Afin d'atteindre cet objectif, un important réseau de monitoring des eaux souterraines et de surface est en cours d'installation sur les deux sites. Toutes ces informations seront cartographiées et intégrées dans un système d'information géographique (SIG). Dans un second temps, l'objectif est d'utiliser ces données afin de développer un modèle numérique des écoulements d'eau souterraine dans les aquifères, en tenant compte explicitement de l'influence de la densité de l'eau, et donc de la salinité, sur ces écoulements (density dependent flow). Ce modèle est donc capable de simuler des intrusions d'eau salées dans l'aquifère. Il constitue un outil d'aide à la décision important, pour une gestion durable des volumes captés, et l'installation éventuelle de nouveaux captages.

La réalisation et les résultats du projet permettront de développer une expertise locale en matière de caractérisation des aquifères et de gestion des eaux souterraines, dans un contexte d'aquifères côtiers et d'intrusions d'eau salée.



FIGURE 1 – Captage d'eau souterraine à proximité du village d'Opol (Philippines).

LE PIVOT INTELLIGENT SURVEILLE ET OPTIMISE LES BESOINS DES CULTURES

✉ Olivier Debauche, Prof. Sidi Ahmed Mahmoudi, Service d'Informatique

Les réseaux de capteurs sans fil, l'Internet des objets et l'intelligence artificielle apportent conjointement un appui non négligeable dans la gestion quotidienne des infrastructures agricoles et contribuent à relever les défis de demain liés à la raréfaction des ressources, l'augmentation de la population ainsi que les changements climatiques.

L'environnement et les hommes

Les changements climatiques ont un impact non négligeable sur la répartition des ressources en eau à l'échelle mondiale conduisant à des raréfactions ou une surabondance de celle-ci. Ces modifications du régime hydrique nous amènent à devoir reconsidérer nos modes de productions agricoles et à optimiser la gestion de l'eau. La raréfaction des ressources et l'augmentation des besoins industriels en matière de productions agricoles et alimentaires (liés à l'augmentation de la population mondiale) impliquent un besoin d'optimiser l'utilisation des engrais et des produits phytosanitaires.

Les pivots d'irrigation sont composés de travées mobiles qui réalisent une révolution du périmètre irrigué sur une durée d'environ 24h. Ces dispositifs ne sont pas les plus efficaces dans l'utilisation de l'eau mais permettent grâce à leur structure mobile d'y implanter des capteurs, des actionneurs et des caméras. Ceux-ci sont à la base de l'automatisation des pivots d'irrigation en vue d'avoir une gestion autonome grâce aux algorithmes d'intelligence artificielle.

Les réseaux de capteurs et l'Internet des objets apportent des possibilités de suivi en temps réel des infrastructures d'irrigation. En effet, les conditions de propagation des ondes sur un réseau de capteurs en milieu agricole sont fortement influencées par le taux d'humidité, les variations de température et la radiation solaire. Un réseau de capteurs souterrains mesure ainsi le taux d'humidité et la température du sol à différentes profondeurs, les données étant propagées dans le sol de proche en proche jusqu'à la tête du pivot (point fixe).

Dans le cadre de nos recherches, nous avons conçu un dispositif de gestion de l'eau pour un pivot d'irrigation prototype installé en périphérie de Casablanca, au Maroc. Le dispositif est composé d'électrovannes, implantées sur les conduites d'alimentation des asperseurs afin de réguler le débit et d'homogénéiser la répartition de l'eau entre les travées de pivots. Le but est de maximiser la surface irriguée par le pivot vers l'extérieur pour une durée déterminée. Si aucun dispositif de régulation n'était implanté, cela conduirait à une utilisation trop importante de l'eau pour les travées les plus proches du point fixe, impliquant une percolation de l'eau au-delà de la zone racinaire et un lessivage des engrais. Des caméras 3D permettent, dans ce contexte, de prendre des images du développement de plants positionnés dans ce périmètre.

Une station météorologique transmet à intervalles réguliers la température, l'humidité relative [%], la vitesse du vent, la radiation solaire nette [w.m^{-2}], la pluviométrie [mm], à l'aide du protocole de communication LoRaWan, vers une passerelle locale. Les données sont collectées, stockées et traitées

sur la passerelle pour calculer l'évapotranspiration potentielle [mm.j^{-1}]. Un capteur AM2315 Aosong mesure la température à $\pm 0.1^\circ\text{C}$ et l'humidité relative avec une précision de $\pm 2\%$, un radiomètre digital SN-500 Apogee Instruments mesure la radiation solaire nette. Un capteur de marque Argent Data Systems mesure la vitesse du vent, sa direction ainsi que la pluviométrie.

Les besoins en eau des plants sont calculés en fonction du stade de développement de la culture sur base de l'évapotranspiration potentielle, des caractéristiques pédologiques, des apports complémentaires en eaux (éventuels) liés aux précipitations survenues entre deux irrigations.

“ Les algorithmes d'intelligence artificielle offrent aujourd'hui la possibilité d'avoir des systèmes agricoles intelligents. ”



L'intelligence artificielle pour de meilleures décisions

Les algorithmes d'intelligence artificielle offrent aujourd'hui la possibilité d'avoir des systèmes agricoles intelligents permettant de prendre des décisions sans intervention humaine, en vue de remédier à une situation critique ou d'ajuster les consignes de fonctionnement.

Les images 3D capturées sont analysées quotidiennement pour s'assurer que le développement de la culture est en adéquation avec le modèle de phénotypage. Sur la base de ces images 3D, les paramètres caractéristiques de la plante (surface des feuilles, distances entre les nœuds, etc.) sont évalués pour ajuster quotidiennement, de manière efficace, les paramètres du modèle de développement phénotypique de la culture.

Les images 2D sont prises, quant à elles, en continu et permettent d'identifier la présence de maladies et de ravageurs de cultures à l'aide d'algorithmes d'intelligence artificielle qui s'appuient sur l'apprentissage profond.



DEVENIR DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE : RISQUE DE TRANSFERT DES ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES DANS L'ENVIRONNEMENT

✉ Ir Louise Chenoy, Prof. Anne-Lise Hantson, Service de Génie de Procédés chimiques et biochimiques
 Prof. Guy De Weireld, Service de Thermodynamique et Physique mathématique

Les sédiments de dragage pollués, entre autres par les éléments traces métalliques, constituent un problème environnemental majeur en Région Wallonne. La tendance est de plus en plus à la valorisation plutôt qu'à l'élimination, mais cela ne peut se faire qu'à la suite d'un traitement approprié. La conduite d'essais expérimentaux sur les sédiments permet d'évaluer le comportement des métaux traces dans différentes conditions, tandis que la modélisation géochimique peut permettre de comprendre les phénomènes de relargage voire de les prédire. Ces deux approches complémentaires ont pour but d'améliorer les traitements existants et d'évaluer les risques environnementaux liés à la réutilisation des boues de dragage.

La Région Wallonne compte près de 460 km de voies navigables, dont l'entretien incombe à la direction générale opérationnelle de la mobilité et des voies hydrauliques (DGO2). Dans le cadre de cet entretien, le dragage des sédiments est une opération indispensable. En effet, l'accumulation des boues de dragage entrave la circulation fluviale en limitant le gabarit des bateaux pouvant circuler, alors que ce type de transport est de plus en plus favorisé par les pouvoirs publics, étant sensiblement moins polluant que le transport par route et permettant de désencombrer les routes wallonnes. De plus, la présence de sédiments éventuellement pollués peut avoir un impact sur la qualité des eaux de surface. L'enlèvement des sédiments permet aussi de limiter les risques de crue.

Depuis l'Arrêté du Gouvernement wallon du 30 novembre 1995, les boues de dragage retirées du fond des cours d'eau sont considérées comme des déchets (classées en catégorie A ou B suivant la quantité de polluants qu'elles contiennent et relarguent), et doivent être traitées avant d'être valorisées ou éliminées. Les boues de type A peuvent être valorisées après déshydratation ou envoyées en centre d'enfouissement technique (CET), les boues de type B ne peuvent être réutilisées qu'après un traitement permettant de les reclasser en catégorie A. L'élimination ayant un coût non négligeable, la volonté de valoriser au maximum les boues de dragage s'est imposée. Les voies de valorisation possibles sont l'utilisation en génie civil, l'utilisation en agriculture, dans les matériaux de construction, ...

Auparavant, les sédiments étaient déposés dans des bassins proches des cours d'eau ou le long des berges, sans se soucier de pollutions induites par la lixiviation d'éventuels polluants. Du fait de la nécessité de disposer de nouvelles infrastructures (centre de regroupement et de prétraitement des boues, unités de traitement des sédiments pollués, centres d'enfouissement technique) et à cause du surcoût engendré, les travaux de dragage ont été complètement arrêtés jusque dans les années 2000, menant à une accumulation de 2 400 000 m³ de sédiments (estimation du volume à enlever pour rétablir un gabarit suffisant sur l'ensemble des voies navigables), auxquels s'ajoutent environ 500 000 m³ annuels. D'autres estimations donnent un passif de 6 000 000 de m³. Courant des années 2000, le dragage a progressivement repris. Cependant, des solutions de traitement manquent pour les boues de catégorie B, qui constituent environ 2/3 du volume total.

Les sédiments sont essentiellement pollués par des éléments traces métalliques (ETM) tels que le zinc, le cadmium, le plomb, le cuivre, le cobalt, le nickel, par des polluants organiques (hydrocarbures, solvants, ...) ou par les deux types de polluants à la fois. Tous ces éléments sont toxiques ou toxiques au-delà d'un certain seuil. Les traitements existants impliquent la dégradation des polluants organiques (par voie biologique, thermique), l'immobilisation des métaux dans la matrice par ajout de réactifs chimiques (ajout de liants hydrauliques, phosphatation, ...) ou encore la séparation granulométrique des sédiments, dans le but de concentrer la pollution dans une fraction du volume initial, en se basant sur le fait qu'en théorie les polluants sont fixés majoritairement sur les fractions les plus fines (à cause de leur plus grande surface spécifique). Ce dernier type de traitement permet ainsi de diminuer le volume de sédiments pollués. Mais aucun traitement « universel » n'a pu, pour le moment, être mis au point, étant donné l'hétérogénéité des propriétés physico-chimiques des sédiments à l'échelle de la région wallonne.

Dans ce contexte, une meilleure compréhension des interactions entre les ETM et la matrice des sédiments est intéressante d'une part afin d'améliorer les traitements existants, et d'autre part pour estimer le risque environnemental lié à une situation de valorisation (par exemple en cas de retour au sol du sédiment). A l'instar des sols, les boues de dragage sont formées d'un mélange complexe de phases minérales (quartz, calcite, minéraux argileux, oxydes et hydroxydes de fer, de manganèse et d'aluminium, ...) et de matière organique (acides humiques, fulviques, ...) en proportions variables en fonction de l'origine des sédiments. Les ETM peuvent être retenus sur les sédiments par divers processus physico-chimiques tels que la précipitation ou la co-précipitation de phases minérales (par exemple de carbonates), l'adsorption sur les hydroxydes de fer, la complexation par la matière organique, l'échange ionique ou l'adsorption sur les argiles.

L'étude du relargage des ETM se fait expérimentalement par des tests de lixiviation (mise en contact d'un échantillon de sédiment avec de l'eau ou un autre type de solution, sous agitation pendant une durée déterminée) afin de mesurer les quantités de polluants relarguées. Le relargage des ETM peut ainsi être évalué au pH naturel du sédiment, ou en milieu acide ou basique, afin de simuler différentes situations (acidification du déchet,

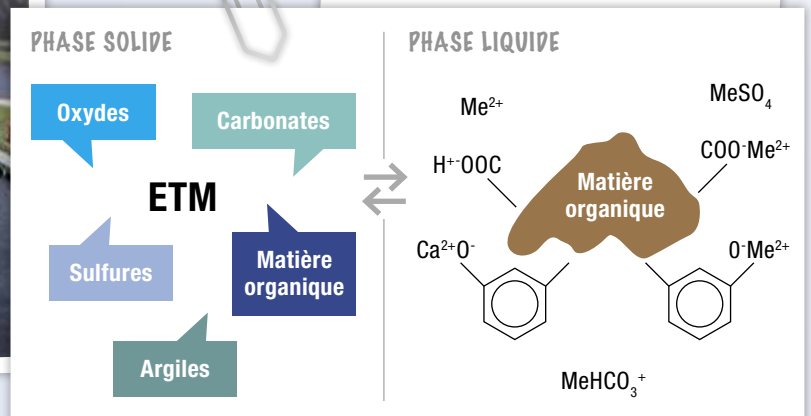
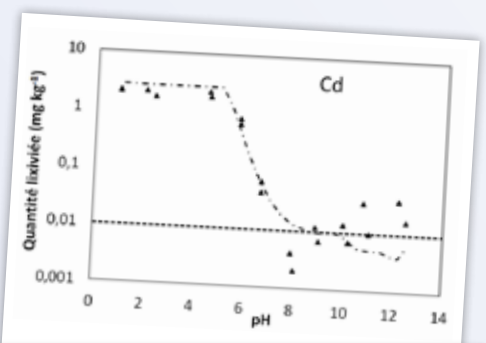
augmentation du pH suite à un traitement, ...). L'évaluation du risque de relargage dans certaines situations peut se faire également à l'aide de colonnes de percolation voire de lysimètres pour se placer dans des conditions proches de la réalité (écoulement de l'eau, ...).

Parallèlement à des essais de lixiviation (essentiellement en mode batch), l'étude en cours dans le service de génie des procédés chimiques et biochimiques en collaboration avec le service de thermodynamique et physique mathématique consiste en le développement d'un modèle permettant de représenter le comportement des ETM dans différentes conditions (variations de pH, de force ionique, ...). Dans cette optique, un modèle géochimique a été construit à l'aide du logiciel PHREEQC. PHREEQC est un logiciel de calcul géochimique libre de droit permettant de simuler un grand nombre de phénomènes tels que la précipitation de phases minérales à partir d'une solution, la spéciation ionique en phase aqueuse, l'adsorption sur des surfaces solides, l'échange ionique, et ce à l'équilibre ou en prenant en compte la cinétique, et en présence ou non d'une phase gazeuse. Les données relatives à tous ces phénomènes (constantes d'équilibre des réactions, ...) doivent être déterminées au préalable.

Afin de représenter les phénomènes se déroulant dans les sédiments de dragage étudiés, la méthodologie retenue implique la prise en compte de la rétention des ETM sur les différentes phases des sédiments à l'aide de différents modèles thermodynamiques : un modèle de complexation de surface pour la sorption sur les hydroxydes de fer et d'aluminium, un modèle d'échange ionique pour les argiles, ainsi qu'un modèle de complexation des ETM par la matière organique en phase solide ou dissoute. Les données relatives à ce dernier, non disponibles à l'origine dans PHREEQC, ont dû être implémentées dans le logiciel.

Le modèle global a besoin d'un nombre important de paramètres d'entrée, qui sont soit disponibles dans les bases de données, soit mesurés sur les sédiments étudiés, soit formulés à partir d'hypothèses. Les paramètres mesurés, tels les phases minérales présentes dans l'échantillon, la quantité d'ETM « disponibles », les quantités d'hydroxydes de fer, ... constituent une « carte d'identité » du sédiment. D'autres paramètres, par exemple la composition de la matière organique, ont dû faire l'objet d'hypothèses car difficilement mesurables et très variables d'un échantillon à l'autre.

Les résultats de simulation de la lixiviation de six ETM (Zn, Cd, Pb, Co, Cr, Ni) en fonction du pH se sont montrés concluants et permettent de bien représenter les résultats expérimentaux, particulièrement pour le zinc, le cadmium et le cuivre. Le modèle ainsi obtenu est donc capable de prédire l'influence d'un traitement donné sur le sédiment ou le risque lié à sa réutilisation dans un contexte donné.



LE PROJET MEMORIS : Monitoring et bioremédiation sur site

☒ Prof. Olivier Kaufmann, Prof. Pascal Goderniaux, Thierry Martin, Konstantinos Tsakirmpaloglou, Christophe Bastin, Service de Géologie fondamentale et appliquée, Prof. Anne-Lise Hantson, Dr Marie-Eve Duprez, Service de Génie des procédés chimiques et biochimiques

Assainissement des sols contaminés *ex situ* ? Stop ! MEMORIS a pour but de développer un nouveau procédé de bioremédiation par chauffage du sous-sol et de monitoring, pour la réhabilitation *in situ* des sites affectés par une pollution mixte et sévère.

Le contexte wallon et le projet

En Europe, environ 342 000 sites contaminés étaient identifiés en 2013. En Wallonie, les friches industrielles occupent plus de 13 000 ha, dont 80% se situent sur l'axe industriel Sambre-Meuse, en milieu urbain et périurbain.

La présence de ces sites dans notre paysage est source de différents problèmes : risques environnementaux, occupation de surfaces conséquentes indisponibles pour le développement de nouvelles activités économiques, proximité éventuelle de centres urbains où le besoin en espace est important, renvoi d'une image négative et non attractive auprès d'investisseurs voulant s'installer dans les zones concernées.

Dès lors, ces sites contaminés représentent un enjeu économique, environnemental et social majeur pour toutes les villes de tradition industrielle et un travail de réhabilitation important s'impose.

Les friches industrielles présentes en Wallonie font souvent l'objet de pollutions mixtes (contamination simultanée par des substances organiques (hydrocarbures aromatiques polycycliques, benzène-toluène-éthylbenzène-xylène (BTEX), huiles minérales) et inorganiques (métaux lourds, cyanures) et les volumes de matériaux contaminés se chiffrent en centaines de milliers de m³. Les coûts d'assainissement sont dès lors gigantesques, rendant souvent l'excavation, le transport, le stockage et le traitement des matériaux contaminés financièrement et éthiquement inenvisageables. Pourtant ces méthodes de remédiation *ex situ* sont largement utilisées. À l'échelle d'une région, le processus d'assainissement et de réhabilitation est donc lent, coûteux et non sans risques pour la santé des riverains.

Afin d'apporter une réponse à ces problèmes et contraintes, le développement de techniques *in situ* est crucial et représente une alternative crédible, moins chère et plus durable.

C'est dans ce contexte que le projet MEMORIS développe un nouveau procédé de bioremédiation par chauffage du sous-sol et de monitoring, pour la réhabilitation *in situ* des sites affectés par une pollution mixte et sévère.

Le projet MEMORIS comporte quatre axes de développement majeurs :

- Techniques de **bio-stimulation et bio-augmentation**, couplant l'utilisation de bactéries et fungi, de nutriments, de surfactants, et le chauffage du sous-sol pollué afin d'augmenter l'efficacité de la biodégradation.
- Techniques de **phyto-rémediation** pour stabiliser et extraire les polluants non organiques.
- Techniques de **monitoring hydro-géophysique**, permettant de mesurer l'extension et l'évolution de la contamination et du champ de température, de manière continue, et en interprétant les données à distance par télétransmission.
- Techniques de **monitoring éco-toxicologique**, permettant de mesurer les risques sanitaires sur le site en cours d'assainissement.

Le développement et la validation de ces techniques sont réalisés en laboratoire et sur site. La zone d'étude MEMORIS est localisée à Charleroi, sur le site des anciennes cokeries de Marchienne-au-Pont (Figures 1 et 2), présentant une pollution sévère et mixte.

Les équipes POLYTECH travaillent plus spécifiquement sur les volets dédiés à la bioremédiation et au monitoring hydro-géophysique.

La bioremédiation

Les travaux réalisés au sein du Service de Génie des Procédés Chimiques et Biochimiques ont pour but de développer les techniques de bioremédiation qui pourront être appliquées *in situ* ainsi que les méthodes analytiques de détection des polluants et de leurs sous-produits.

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont des composés organiques constitués de plusieurs noyaux aromatiques fusionnés. Leur présence dans l'environnement peut être d'origine naturelle mais aussi et surtout d'origine anthropogénique (industrie pétrochimique, sidérurgie, combustion, cokéfaction, incinération de déchets). Ils ont des effets mutagènes, tératogènes et cancérogènes sur la santé humaine.

Les HAP sont dits récalcitrants : ils ne sont pas biodégradables sous certaines conditions et/ou à un taux assez important pour éviter leur accumulation dans l'environnement. Ils sont peu solubles dans l'eau et très peu biodisponibles (d'autant moins que la pollution est ancienne).

La bioremédiation vise à utiliser des micro-organismes (bactéries, fungi) capables de métaboliser les polluants présents dans le sol. Son efficacité est influencée par différents paramètres (température, pH, disponibilité en nutriments, présence d'autres polluants). Elle peut se décliner sous deux formes (éventuellement complémentaires) : la bio-stimulation et la bio-augmentation. La première consiste à stimuler l'activité biologique naturelle par l'addition de nutriments, une modification de pH ou l'addition de composés permettant de favoriser une activité enzymatique par exemple. La seconde consiste quant à elle en l'inoculation de micro-organismes présentant des capacités métaboliques envers les polluants présents dans le milieu à assainir.



FIG. 1 : Localisation du site d'étude MEMORIS à Marchienne-au-Pont



FIG. 2 : Vue du site des anciennes cokeries

Le sol est sévèrement pollué

iquée



Sur base de prélèvements d'échantillons sur le terrain (sol et eaux souterraines), différents micro-organismes tolérants aux HAP ont été isolés et identifiés en laboratoire. Les souches natives non-pathogènes ont été retenues et quatre souches commerciales sélectionnées sur base d'une étude bibliographique axée sur la bioremédiation de sites industriels contaminés aux HAP, BTEX et autres produits pétroliers et non identifiées sur le site y ont été ajoutées.

L'effet positif d'une augmentation de la température sur les cinétiques de croissance des consortia de micro-organismes a été mis en évidence en laboratoire.

À l'heure actuelle, diverses expériences sur des échantillons de sol sont en cours afin d'étudier l'influence de la présence de nutriments et/ou de surfactants (composés permettant d'augmenter la désorption des HAP du sol) sur les taux de dégradation.

Le monitoring

Le service de Géologie Fondamentale et Appliquée a développé et implanté un système de monitoring du sous-sol incluant le suivi des propriétés géophysiques (résistivité électrique, potentiel spontané et polarisation provoquée), de la température, des variables hydro-chimiques (pH, redox, oxygène dissous) et hydrogéologiques. L'objectif est de pouvoir mesurer l'extension et l'évolution de la contamination et du champ de température, de manière continue, et en interprétant les données à distance par télétransmission.

Les différentes électrodes et capteurs ont été installés au sein de tubes crépinés placés en forage. Ces dispositifs sont situés à hauteur ou à proximité des sondes géothermiques utilisées pour le chauffage du sous-sol.

Depuis la mise en place du système de chauffage, des mesures de résistivité électrique (ERT), de potentiel spontané (PS) et de polarisation provoquée (IP) entre forages ont été répétées régulièrement. Ces mesures font ensuite l'objet de traitements spécifiques. Par exemple, les mesures acquises par ERT entre forages sont filtrées puis inversées de sorte à reconstruire des modèles tridimensionnels de résistivité électrique du sous-sol (tomographies électriques 3D) à différents moments d'observation (voir exemple en Figure 3).

Les tomographies électriques 3D obtenues à partir du traitement des mesures de résistivité permettent

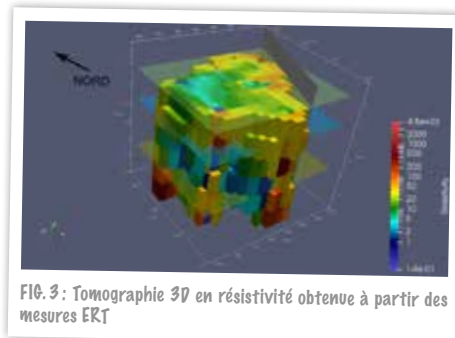


FIG. 3 : Tomographie 3D en résistivité obtenue à partir des mesures ERT

notamment de mettre en évidence des zones plus ou moins conductrices. Les mesures de potentiel spontané entre forages avec les électrodes impolarisables ont mis en évidence une zone de potentiel nettement négatif dans la partie supérieure des remblais saturés. Ces différentes zones sont à corrélérer avec la présence de polluants spécifiques et de sources de courant pouvant trouver leurs origines dans des réactions d'oxydo-réduction localisées, correspondant potentiellement à des dégradations de polluants.

Le système de chauffage du sous-sol a été mis en fonctionnement depuis quelques mois. Le monitoring permettra de suivre l'évolution du champ de température et de la pollution de manière continue.

Nos autres partenaires académiques

Des essais de phytoremédiation (phytoextraction/phytostabilisation des métaux et phytodégradation des HAP) sont menés par l'Unité Échanges Eau-Sol-Plante de Gembloux Agro-Bio Tech en associant des saules et de la luzerne. Ceci permettra d'étudier l'impact des exsudats racinaires (saponines, surfactant naturel) de la luzerne sur la disponibilité des HAP envers les micro-organismes ainsi que leur bio-phytodégradation tout en évaluant la phytoextraction des métaux par le saule.

Enfin, nos collègues du Service de Biologie Humaine et Toxicologie de la FMP (UMONS) développent pour leur part des techniques de monitoring éco-toxicologique (sur des bioindicateurs invertébrés : escargot et ver de terre), permettant de mesurer les risques sanitaires sur le site en cours d'assainissement. En effet, lors de leur dégradation, les polluants vont subir différentes transformations avant d'être (dans le meilleur des cas) minéralisés en CO₂. Le monitoring éco-toxicologique va permettre de s'assurer que la formation de sous-produits et leur possible accumulation dans le sol ne vont pas conduire à une situation plus problématique encore que celle de départ.

TFE Maxime DIDIER > Polluted soil (PAH) bioremediation: Bioremediation parameters optimization

Des expériences de bioremédiation d'un mélange de HAP en milieu liquide en présence d'espèces fongiques ou bactériennes à différentes températures avec ou sans apport de glucose (nutriment) ont été menées. La supplémentation en glucose influence essentiellement la croissance de la biomasse.

L'effet de l'augmentation de la température s'est quant à lui révélé plus efficace (taux de dégradation entre 10 et 70% pour les bactéries à 15°C contre 10-100% à 30°C ; en ce qui concerne les *fungi*, les taux de dégradation sont passés de 20-85% à 4°C à 35-100% à température ambiante).

TFE Elise QUERTINMONT > Etude hydrogéologique et thermique du site des anciennes cokeries de Marchienne-au-Pont, en vue de sa réhabilitation

L'étude hydrogéologique du site et le prédimensionnement du système de chauffage du sous-sol ont été réalisés grâce à des mesures *in situ* et au développement d'un modèle numérique. Des essais thermiques en laboratoire ont été réalisés et ont permis de mesurer la conductivité thermique et la capacité thermique d'un échantillon de sol prélevé dans les couches de remblais du site. Un monitoring hydrogéologique et hydrochimique

a été mené *in situ*. Les données récoltées ont permis de développer un modèle hydraulique et thermique de la zone d'étude, à l'aide du code de calcul par différences finies HydroGeosphere. Ce modèle simule l'écoulement d'eau souterraine et le transfert de chaleur engendré par un dispositif de chauffage du sous-sol implanté sur le site. Le modèle est utilisé pour simuler différents scénarios de chauffage et de dégradation des polluants.

Du sous-sol aux produits finis : itinéraire

Des défis environnementaux pour les ingénieurs

✉ Prof. Philippe Ancia, Service de Génie minier

Notre société est extrêmement dépendante des matières premières minérales. Il suffit pour s'en convaincre de regarder notre environnement immédiat : carbonates pour l'élaboration des ciments, bétons, verres et céramiques ; charges et pigments dans la production des plastiques, papiers, peintures mais également des produits d'hygiène et cosmétiques ; métaux de base (acier, cuivre, zinc) et métaux précieux et rares (or, germanium, gallium, indium, terres rares) pour la fabrication des voitures, équipements domestiques, ordinateurs et smartphones. Les énergies renouvelables dont on vante les qualités pour décarboner notre société sont aussi concernées. Le vent et le soleil sont effectivement renouvelables, mais la transformation de ces énergies brutes en électricité nécessite des matériaux spéciaux pour réaliser les panneaux solaires et les éoliennes. Il en est de même pour les moteurs, les piles à combustibles et les batteries des véhicules électriques.

Ces matières minérales et métalliques présentes à l'état brut dans le sous-sol, où elles constituent des minerais, nécessitent différentes étapes de traitement pour devenir des matériaux utiles : exploitation du gisement, traitement des minerais, métallurgie extractive.

Les différentes étapes du processus induisent des impacts très variables sur l'environnement qu'il convient de gérer : mouvements de terres et de roches, modification des aquifères, bruit, vibrations, etc. Elles conduisent également à la mise au rebus de matières diverses : stériles miniers, rejets de concentration, scories métallurgiques. Celles-ci ne sont pas exemptes de minéraux et de métaux utiles mais les teneurs sont trop faibles pour permettre leur extraction dans le contexte technico-économique du moment. D'autres raisons conduisent à écarter certaines parties d'un gisement ou d'un minerai : dureté ou abrasivité trop importante, présence d'éléments nuisibles, composition chimique trop complexe, particules trop fines. Il en résulte des quantités très conséquentes de résidus solides, sans parler des effluents liquides et gazeux.

Pendant longtemps la gestion de ces différentes nuisances n'a guère été prise en considération, conduisant à une dégradation plus ou moins marquée de l'environnement. Depuis quelques décennies, une prise de conscience a émergé et des réglementations ont été élaborées. Celles-ci, tout à fait légitimes, rendent la production des matières premières plus complexes et coûteuses.

Les matières minérales et métalliques étant, comme nous l'avons vu, indispensables à notre civilisation, différentes voies sont envisageables : pour chacun d'entre nous, adopter des comportements moins gourmands en matières premières et acheter de biens plus durables ; pour l'industrie, continuer à produire les matières premières indispensables, tout en réduisant les impacts sur l'environnement. Ces considérations sont aujourd'hui prises en compte dès la conception d'un projet minier, la gestion des nuisances faisant partie intégrante du projet. C'est par exemple, la réhabilitation en fin de vie du site d'exploitation et des usines attenantes.

L'amélioration du bilan environnemental peut prendre des formes variables en fonction de la nature des matières extraites et des conditions d'exploitation : mitigation des vibrations générées par les tirs de mines, de la poussière et du bruit provenant des opérations de fragmentation, valorisation des eaux d'exhaure, choix des techniques minières pour n'extraire que les parties valorisables (exploitation sélective), amélioration des performances des unités de concentration et de métallurgie.

Ces différentes améliorations passent toutes par une meilleure connaissance des caractéristiques des gisements, du comportement des roches lors de l'extraction, du développement de nouvelles techniques d'extraction des minerais et de leur traitement. Ces résultats sont obtenus via des recherches comme celles menées au sein du service de génie minier, au travers de projets et de TFE, de thèses de doctorats et d'expertises.



Gestion rationnelle des ressources minérales en R.D.C

Plusieurs thèses ont été menées dans le cadre de la coopération avec le Congo. Par exemple, Bilez Ngoybiyukaleza (2008) a travaillé sur l'optimisation de la planification de la mine de Cu-Co de Ruashi, en utilisant des outils modernes comme la géostatistique. Freddy Bokwala (2009) a conduit une étude de stabilité sur la mine de Kamoto pour comprendre les mécanismes de l'effondrement survenu en 1990. Cette étape était une phase indispensable pour imaginer une possible relance des activités. Jimmy Kalenga (2013) a travaillé sur l'optimisation technique et économique de la valorisation par flottation d'un minerai Cu-Co du Katanga. La valorisation du minerai, constitué de minéraux oxydés, est complexe et coûteuse. Ce gisement, comme d'autres gisements de RDC, est une des principales sources mondiales de cobalt, indispensable notamment à la production des batteries au lithium.

Exploitation sélective d'une carrière de marbre en Australie

Le mémoire d'Adrien Louvrier (2018), en collaboration avec Omya, a porté sur l'exploitation d'un gisement de marbre australien (Queensland). L'objectif était d'améliorer la qualité des produits fournis par la carrière et d'optimiser la ressource. Dans un premier temps, des images prises par drone ont permis de cartographier les dykes de basalte, roche constituant une source de polluants dans les produits finis. Ensuite, différentes techniques d'extraction ont été proposées et évaluées.



des matières premières minérales. nieurs.



Une autre facette du monde des matières premières restée longtemps dans l'ombre, et dont nous sommes tous peu ou prou responsables par nos choix de consommation, est celle des déchets générés par les activités humaines. La première réglementation européenne concernant la gestion de ceux-ci date de 1975 (75/442/CEE). Avant cela, ils étaient considérés comme un simple problème technique et économique relevant du producteur du déchet. Il en a résulté des pratiques très pénalisantes pour l'environnement : déversement sauvage dans d'anciennes carrières ou sablières de déchets de tous types, rejets de ceux-ci directement dans les rivières et dans les mers. Les conséquences de telles pratiques, encore largement utilisées à l'échelle mondiale, ont fait et font encore la une de l'actualité.

La prise de conscience a été extrêmement tardive mais les initiatives sont actuellement en développement, tant au niveau législatif (directives européennes, règlements nationaux ou régionaux) qu'au niveau technique.

Il est par ailleurs apparu que les déchets, loin de constituer des rebuts dont il faut se débarrasser rapidement et au moindre coût, peuvent constituer des sources de matières premières, d'énergie et de revenus. En effet, la mise en décharge induit des nuisances mais conduit également au gaspillage de potentiel en termes d'énergie et de matières : production de biogaz à partir de la fermentation anaérobie de matières organiques, compostage, incinération avec récupération d'énergie et valorisation des mâchefers, récupération et valorisation de matières et d'équipements divers (verres, plastiques, métaux, etc.). Différentes filières se sont ainsi mises progressivement en place pour assurer la gestion et la valorisation de ces déchets, réduisant leurs impacts sur l'environnement.

Assurément, tout n'est pas encore parfait, même dans les pays développés, mais les choses ont bien évolué au cours des dernières décennies. Cette évolution, si elle a été poussée par les règlements, n'a pu se bâtir que grâce au développement de techniques spécifiques et donc grâce à la recherche. Ainsi, des verres issus des bulles à verre sont purifiés au moyen de dispositifs de tri automatique faisant appel à l'informatique mais également aux développements les plus récents de la caractérisation des matériaux. Toutefois, ces dispositifs sont assez onéreux et ne sont pas utilisables pour des déchets constitués de grains de tailles inférieures à quelques mm.

On en revient alors aux sources c'est-à-dire aux techniques développées pour le traitement des minerais et la métallurgie extractive car l'approche est similaire : produire, au meilleur coût et en utilisant une combinaison de techniques variées, des pro-

duits valorisables directement ou des concentrés à retraiter au moyen de techniques plus spécifiques et plus onéreuses. Quelques exemples de recherches menées en Génie Minier et en Métallurgie sont présentés dans les encarts ci-dessous.

Valorisation des remblais de Mutoshi



La thèse d'Augustin Muhota a eu comme objectif d'étudier la récupération de l'or résiduel présent dans un terril minier produit par l'exploitation au début du 20^e siècle d'un gisement aurifère de l'ouest de la RDC. Il a pour cela mis en œuvre une technique de traitement assez récente – la concentration gravimétrique centrifuge – qui a permis de récupérer plus de 95% de l'or contenu.

Valorisation de gypse dans la fabrication de briques

Pour sa thèse de doctorat, Crépin Kyona (2014) a étudié la possibilité de valoriser un sous-produit du traitement hydrométallurgique de minerais cuprocobaltifères. Celui-ci, constitué de gypse, a été utilisé pour accroître les caractéristiques de briques crues confectionnées avec de l'argile. Le travail a consisté à optimiser la formulation du matériau et à évaluer les performances des briques obtenues (résistance mécanique, durabilité, impacts environnementaux).



Valorisation de déchets électroniques au Burkina Faso

Francis Konate réalise une thèse de doctorat dont l'objectif est la valorisation des déchets électroniques produits au Burkina Faso au moyen de techniques appropriables localement et ayant un faible impact sur l'environnement. Le but est de récupérer, au moyen de techniques hydrométallurgiques innovantes qui seront mises au point au cours de la thèse, les métaux (cuivre, étain, or, platine, argent, ...) sous une forme permettant leur réintroduction dans la filière de production des métaux. Pour limiter la masse de matière soumise à ces procédés assez coûteux, les déchets seront préalablement fragmentés et les métaux présents seront concentrés au moyen de techniques à définir et à optimiser.



Valorisation de mâchefers d'incinération

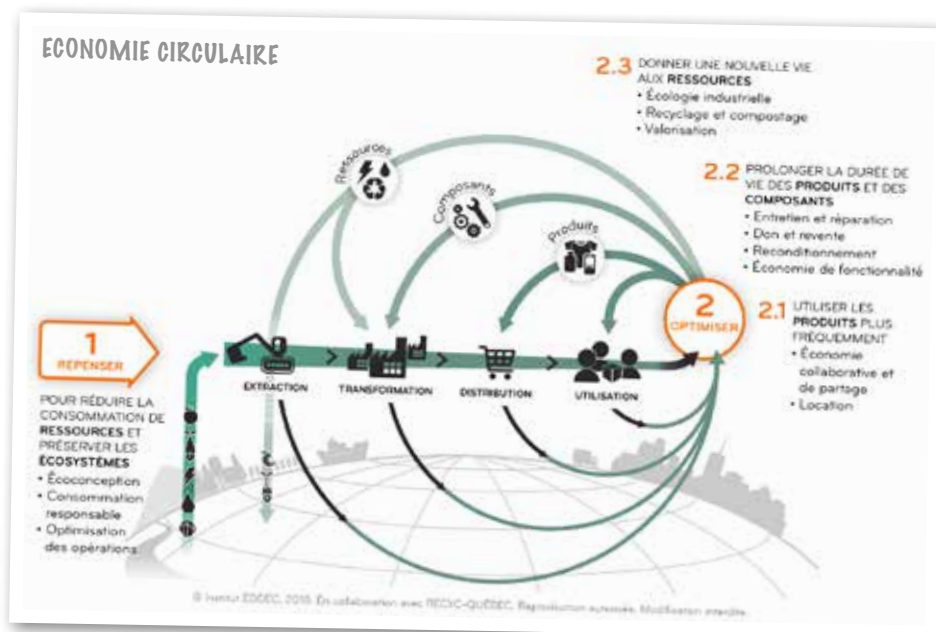
Mathieu Momers (2013) et Florian Delannoy (2018), dans le cadre de leur TFE, ont contribué à la valorisation des métaux non ferreux (aluminium, cuivre et alliages de cuivre, métaux précieux) présents dans les mâchefers résultant

de l'incinération des déchets municipaux. Après une étape de caractérisation des matériaux, des techniques de séparation, dont on a évalué les performances, ont permis de concentrer les métaux non ferreux en vue de leur recyclage.

LA BIODIVERSITÉ DES MICROALGUES ET LE GÉNIE DES PROCÉDÉS AU SERVICE DE L'EXCELLENCE BIOTECHNOLOGIQUE ET DE L'ENVIRONNEMENT

☑ Prof. Anne-Lise Hantson, Prof. Diane Thomas, Hana Berriche, Guillaume Delfau-Bonnet, Claire Delort, Robin Ronneau, Service de Génie des procédés chimiques et biochimiques
Prof. Alain Vande Wouwer, Dr Laurent Dewasme, Service d'Automatique

Se contentant de CO₂ et de lumière, mais capables de métaboliser des polluants divers et variés, les microalgues ouvrent de nouveaux horizons industriels respectueux de l'environnement, intégrant au plus près le concept d'économie circulaire.



En partie responsables du développement de la vie sur terre, suite au rejet par leur métabolisme d'oxygène dans l'atmosphère, de minuscules êtres vivants, communément appelés phytoplancton ou microalgues, sont actuellement impliqués dans le programme de recherche de l'Agence Européenne Spatiale (ESA) en vue de permettre les voyages interplanétaires de longue durée. En effet, récemment, dans le cadre du programme Melissa et plus spécifiquement au travers de l'expérience scientifique ArtEMISS, le SCK-CEN a envoyé sur la Station Spatiale Internationale des photobioréacteurs contenant de la Spiruline (Arthrospira). Riches en protéines, ces cyanobactéries permettront de recycler le dioxyde de carbone, produire de l'oxygène, voire traiter les eaux usées, et nourrir les marionnettes dans cet espace clos et restreint que représente un vaisseau spatial. Pollution et gaspillage, accumulation des déchets et épuisement des ressources sont des problématiques à traiter aussi bien dans un système confiné comme une station spatiale qu'à l'échelle d'une planète.

Si le public et les industriels prennent de plus en plus conscience de l'impact environnemental tout au long de la chaîne de production/utilisation des biens et services, il est du ressort et de la responsabilité de la recherche scientifique et de l'innovation technologique de proposer des procédés plus respectueux de l'environnement, à la fois pour des produits déjà offerts par des voies conventionnelles de production que pour de nouveaux biens innovants.

Très à la mode aujourd'hui, l'analyse de cycle de vie permet de décomposer un procédé de fabrication en ses étapes/sections constitutives (usine, procédé, produit, matière première, etc.) et d'évaluer leur impact environnemental sur base d'un large éventail de critères. Cette méthodologie cherche à comprendre les pertes, intrants, sorties et consommations afin d'en minimiser les effets négatifs. Notamment, elle tend à mettre en avant l'économie circulaire. Ainsi, cette dernière propose de réduire la consommation des ressources finies, entre autres

pétrolières, de favoriser l'utilisation des matières premières renouvelables et de diminuer l'incidence environnementale des activités anthropogéniques en encourageant des politiques de recyclage, réutilisation et de co-valorisation.

Un des axes d'innovation prometteurs se trouve être l'utilisation des microalgues comme matières premières. Ce sont des organismes unicellulaires d'une variété phylogénétique impressionnante, d'un fonctionnement relativement simple et assez plastique. Très généralement autotrophes, elles ne nécessitent qu'une source de lumière adéquate, un milieu aqueux, des nutriments simples (sels minéraux) et du dioxyde de carbone pour une très bonne efficacité.

De plus, la diversité génétique des microalgues propose aussi d'innombrables espèces et souches dont certaines spécialisées dans la production de molécules d'intérêt à haute valeur ajoutée comme *Haematococcus pluvialis* pour l'astaxanthine (environ 1000€/kg). D'autres espèces sont capables de supporter des changements environnementaux importants induisant la production de métabolites secondaires, comme le β -carotène, que *Dunaliella salina*, cultivée en milieu hypersalin, synthétise en grande quantité. Il existe aussi des souches « multitâches » comme *Spirulina platensis* qui peut être utilisée dans la nutrition humaine et animale ainsi qu'en cosmétique et pour la production de colorant alimentaire. Enfin, certaines souches comme *Chlamydomonas reinhardtii* ont un fort potentiel en génie génétique car elles ont largement été étudiées, peuvent être facilement modifiées et leurs versions génétiquement modifiées sont exploitables sur de longues périodes.

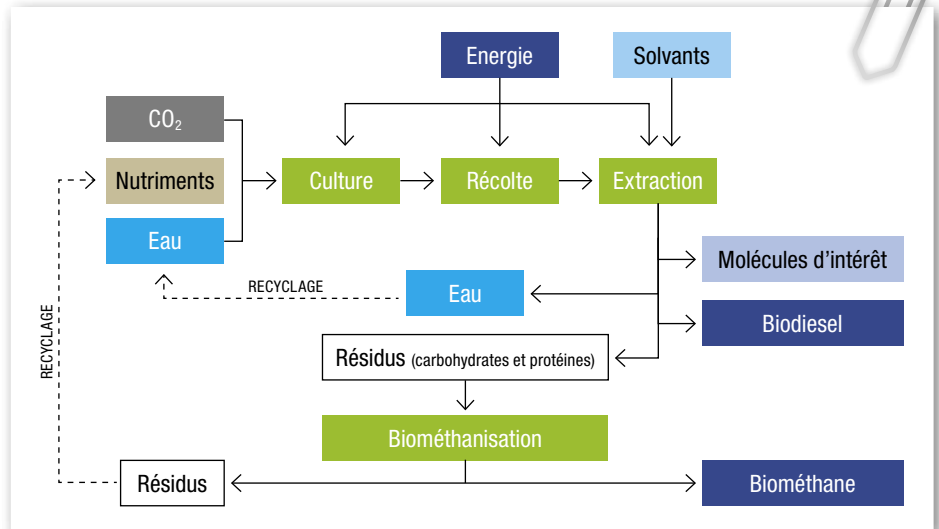
Au sein de la Polytech de l'UMONS, les projets collaboratifs de recherche « Algotech » (subsidé par la Région Wallonne), « ALPO » (subventionné par un financement Interreg) et « Valoalgue » (financé par les Fonds Feder), s'emploient à explorer cette biomasse et ses applications potentielles.

ALGOTECH – PLATEFORME DE VALORISATION DE LA BIOMASSE MICROALGALE

Dans le contexte socio-politico-économique actuel de plus en plus au fait de la responsabilité environnementale et socioéconomique des entreprises, le projet Algotech a pour objectifs de développer l'utilisation de microalgues, notamment dans les filières chimiques, phytopharmaceutiques et énergétiques, et ce en imaginant une voie de production circulaire, en collaboration avec l'ULB, l'UCLouvain et Materia Nova. Notamment, les microalgues sont envisagées comme source de matières premières pour la production de composés actifs dans la croissance et la protection des plantes, de matières premières pour l'industrie des polymères et des biocarburants, associée à une valorisation de leurs résidus par biométhanisation et au recyclage des nutriments.

En effet, certaines souches microalgales ont un fort potentiel de stockage de lipides sous forme de triglycérides, notamment dans des conditions de culture optimales. Par ailleurs, en maximisant les rendements des étapes de récolte, d'extraction des lipides et de conversion, le procédé sera rendu plus écoresponsable, efficace et rentable. D'autres espèces sont capables de produire des polysaccharides endo- ou exocellulaires présentant des activités biologiques d'intérêt en phytopharmacie ou permettant simplement, après fermentation, à l'instar du glucose, de produire du bioéthanol ou d'autres composés biosourcés tels que des acides carboxyliques exploitables dans l'industrie chimique conventionnelle et la synthèse de polymères.

Dans cette optique, les développements menés au sein du service de Génie des Procédés chimiques et biochimiques se focalisent sur l'optimisation des conditions de culture des microalgues par l'étude de designs optimaux de photobioréacteurs et de protocoles de culture favorisant l'accumulation des lipides ou la production de polysaccharides, ainsi que sur les techniques d'extraction écoresponsables de ces composés, c'est-à-dire des techniques réduisant



l'utilisation des solvants organiques traditionnels et les remplaçant par des solvants verts ou du CO₂ supercritique, voire en privilégiant l'extraction/conversion simultanée.

Des limites sont rencontrées lors du processus d'implantation et de commercialisation des produits générés par les microalgues notamment à cause du coût élevé des étapes de récolte, séchage, extraction et de leur maintenance. En vue de respecter la philosophie de l'économie circulaire promue par le projet Algotech, la digestion anaérobie (appelée aussi biométhanisation) des résidus microalgaux (avec, potentiellement, d'autres déchets agroalimentaires ou forestiers) sera mise à profit. Les quantités de microalgues ayant servi, dans une étape antérieure, à produire des composants à haute valeur ajoutée ou des biocarburants, engendrent des déchets qu'il convient de réduire en les valorisant au mieux. Une alternative intéressante offrant la possibilité d'améliorer la rentabilité du processus global par

la production de biogaz, majoritairement composé de méthane et CO₂, et de substrats nutritifs pour l'agriculture, est la biométhanisation. Ce traitement déjà exploité pour la valorisation énergétique et agricole des déchets ménagers fermentescibles et des boues de stations d'épuration, peut être envisagé pour les résidus microalgaux. Les objectifs de ce travail portent un double intérêt qui consiste en l'élimination du maximum de déchets et la mise à disposition d'une source énergétique renouvelable via le biogaz obtenu. Ce dernier pourrait être valorisé sous plusieurs formes telles que la chaleur, la cogénération d'électricité et de chaleur, le gaz de réseau par injection ou encore comme carburant pour véhicules. Là aussi, différents axes seront abordés comme l'étude des capacités à produire du biogaz au départ de ces résidus de biomasse, le développement d'un design de fermenteur permettant de gérer la présence de composés inhibiteurs, le suivi et le contrôle du procédé basés sur des modèles et outils de simulation.

ALPO – NOUVEAUX MATÉRIAUX POLYMÈRES ISSUS DE LA BIOMASSE MICROALGALE

Fournir en matières premières l'industrie des polymères grâce aux microalgues et proposer de nouveaux matériaux biosourcés sont les objectifs du projet de recherche ALPO. Via l'utilisation directe de lipides produits par ces cellules photosynthétiques ou suite à la conversion par fermentation des sucres ou protéines issus de la biomasse microalgale, de

nouvelles formulations de plastiques ou de composites sont à l'étude au sein des Instituts Matériaux et Biosciences de l'UMONS. En collaboration avec AgroParistech-Reims, l'URCA, l'Université de Lille 1, UGent et la KULAK, le Service de Génie des procédés chimiques et biochimiques étudie les conversions de saccharides microalgaux et de protéines. Les études

s'appuient sur l'emploi de souches de levures qui peuvent utiliser certains composés biochimiques pour synthétiser de larges quantités de lipides polyinsaturés exploitables dans la synthèse de résines polymères ou transformables en acides carboxyliques, valorisables comme synthons (sorte de briques) de réaction de polymérisation.

VALOALGUE – PRODUCTION INTENSIFIÉE PAR DES MICROALGUES IMMOBILISÉES DE COMPOSÉS À HAUTE VALEUR AJOUTÉE

Le projet VALOALGUE, du portefeuille de projets AlgaeFactory, se concentre sur la production intensifiée de molécules bioactives à haute valeur ajoutée par des microalgues encapsulées. Comme mentionné par ailleurs, la souche *Chlamydomonas reinhardtii* peut être manipulée génétiquement pour permettre à la cellule de métaboliser des molécules d'intérêt, entre autres des protéines recombinantes et de les excréter dans son environnement. Ces molécules sont ainsi produites

à partir de lumière et de CO₂ avec, si besoin, un complément en carbone organique (culture mixotrophe). Pratiquement, la récupération de ces métabolites en culture en suspension est difficile (provoquant par exemple, le colmatage de filtres) ; dès lors, des photobioréacteurs à biomasses fixes et immobilisées dans un matériau poreux devraient permettre de faciliter la récolte et la purification des composés à haute valeur ajoutée, ceux-ci baignant alors dans un milieu

de culture exempt de particules. Les objectifs du projet sont donc d'une part de développer un matériau suffisamment robuste pour se maintenir durant une culture, et de l'autre d'étudier et d'optimiser les propriétés de transfert au sein du matériau. En effet, les microalgues doivent disposer des nutriments nécessaires à leur survie et les métabolites d'intérêt doivent traverser le matériau afin d'être récupérés efficacement pour ensuite être purifiés.

Peau neuve pour la brique de réemploi

☑ Prof. Laurent Debailleux, Service de Génie Architectural et Urbain

En Belgique, après la pierre naturelle et le bois, la brique est le matériau de réemploi le plus commercialisé dans le secteur de la construction. Ce marché parallèle est géré par des revendeurs spécialisés qui alimentent leurs stocks lors du démantèlement d'infrastructures usinières, agricoles ou résidentielles. La brique artisanale ancienne présente, en effet, certains avantages. Matériau abondant, elle présente une valeur de revente appréciable auprès des clients qui apprécient sa qualité et sa patine ancienne. Par ailleurs, par rapport à la production de briques neuves, le réemploi de ce matériau constitue un geste écologiquement responsable pour autant qu'il s'inscrive dans un circuit court. L'intérêt lié au réemploi n'échappe cependant pas à certaines critiques émises par les auteurs de projets. En ligne de mire, l'absence actuelle d'une norme technique spécifique permettant de valider tant la qualité que la durabilité du matériau parfois fragilisé par le temps. À côté de cela s'ajoute un certain dédain pour une pratique architecturale assimilée à un manque de moyens. Au contraire, le réemploi des matériaux devrait nourrir l'inventivité des concepteurs en repensant les classiques de la mise en œuvre et de l'expression architecturale contemporaine. Si un site voué à la démolition est signifiant pour les habitants, le réemploi de ses matériaux

in situ, participera tant à la rationalisation économique du projet qu'à la conservation symbolique d'une trace de l'histoire locale.

Cette démarche s'est vue récemment concrétisée dans le cadre d'un projet pilote lancé par la région wallonne et la commune de Colfontaine. L'ancien charbonnage des Vanneaux a ainsi fait l'objet d'un audit interdisciplinaire où la Faculté d'Architecture et d'Urbanisme et la Faculté Polytechnique ont représenté l'UMONS. L'évaluation de l'état de conservation des maçonneries et l'étude des qualités patrimoniales du bâti ont ainsi permis d'évaluer le potentiel de réemploi des matériaux suite à la déconstruction annoncée de ces infrastructures minières. Une partie des maçonneries sera ainsi intégrée au projet, alors que les briques issues de la déconstruction seront réutilisées sur site pour de multiples usages.



INGÉNIEUR CIVIL MÉCANICIEN ET LE RECYCLAGE DES ÉLASTOMÈRES

☑ Julien Duez, Business Development Manager – RubberGreen (FPMs 2010)

Après presque 8 ans dans une société active dans le domaine pétrolier (Hamon D'Hondt S.A.) en tant qu'ingénieur "proposal" puis responsable du département "proposal", j'ai senti le besoin de prendre le contre-pied de mon expérience passée et de me tourner vers une société active dans la valorisation de déchets.

RubberGreen est une entreprise créée en 2009 par Olivier Prud'homme (AIMs), qui réalise et commercialise des matériaux et produits en caoutchouc composite, fabriqués essentiellement à partir de caoutchoucs recyclés. Ces matières recyclées

proviennent notamment des pneumatiques en fin de vie et des chutes et rebuts des manufacturiers de caoutchouc.

Le caoutchouc composite est obtenu par agglomération de particules de ces matières recyclées avec une matrice résineuse. Cette structure composite ainsi obtenue lui confère des propriétés uniques en matière de résilience, de perméabilité et d'absorption des chocs et vibrations.

RubberGreen est active dans de nombreux domaines aux applications très variées comme par exemple :

- Les matériaux antivibratoires pour l'isolation acoustique (et vibratoire) dans les bâtiments et les travaux publics ;
- Les systèmes de fixation d'appareils en toiture plate (HVAC, panneaux photovoltaïques) ;
- Tapis sous ballast ou sous dalle flottante (massesort-masse) pour l'isolation des vibrations ou pour assurer une protection mécanique (applications ferroviaires) ; etc.

RubberGreen s'est aussi dotée récemment d'une machine qui exploite le principe de la dévulcanisation. Cette technique permet de faire revenir le matériau élastomère au plus proche de ses propriétés d'origine et de le rendre ainsi potentiellement vulcanisable ultérieurement. Ceci permettra également à RubberGreen de continuer à perpétuer sa vision liée au recyclage et à la valorisation de déchets élastomères initialement destinés à la destruction ou l'enfouissement technique.

Monitoring environnemental à l'aide de fibres optiques



☑ Prof. Christophe Caucheteur, Service d'Electromagnétisme et Télécommunications, et Prof. Marc Debligny, Service de Science des Matériaux

Depuis leur avènement dans les années 1960 et l'essor du laser, les fibres optiques sont principalement connues et utilisées pour leur capacité de transmission de données à longue portée et à très haut débit. Beaucoup de personnes ignorent qu'elles sont de plus en plus répandues dans le domaine des capteurs où elles tirent profit de leurs nombreux avantages comparativement aux autres technologies. Elles possèdent quatre atouts principaux pour la réalisation de capteurs environnementaux :

- un faible encombrement et une robustesse permettant une intégration aisée au sein de matériaux et structures à contrôler (Une fibre a un diamètre de 250 microns et présente une résistance à la traction supérieure à celle d'un câble d'acier de même section) ;
- une insensibilité électromagnétique ;
- la faculté d'adresser plusieurs points de mesures distribués le long d'une seule fibre et interrogés par un seul équipement. Par un traitement adéquat ou une technique de mesure dédiée, toute la longueur ou une partie de la fibre optique peut être rendue sensible à un changement de température, à une contrainte mécanique ou un changement d'indice de réfraction du milieu, donnant ainsi naissance à la réalisation de capteurs physiques et (bio)chimiques (quasi-)distribués. Les mesures peuvent être déportées, c'est-à-dire que la distance entre le point de mesure et l'interrogateur (dispositif incluant une source optique et un photo-détecteur) peut atteindre plusieurs kilomètres ;
- la possibilité de réaliser des capteurs (bio) chimiques en solutions aqueuses et gazeuses par adjonction d'une couche sensible spécifique en surface de la fibre optique.

Depuis une quinzaine d'années, les Services d'Electromagnétisme et de Télécommunications (SET) et de Science des Matériaux (SDM) collaborent, avec le concours de Materia Nova, à la réalisation de capteurs chimiques à fibres optiques, essentiellement basés sur l'utilisation de réseaux de Bragg fibrés. Dans ce travail pluridisciplinaire, le service SET réalise essentiellement la base des capteurs et leur traitement de signal alors que le service SDM développe les couches sensibles.

En quelques mots, les réseaux de Bragg fibrés sont photo-inscrits au sein de fibres optiques par des techniques laser. Dans leur structure la plus simple, les réseaux sont uniformes : la modulation de l'indice de réfraction du cœur de la fibre qui les compose est perpendiculaire à l'axe de

propagation de la fibre optique. Dans ce cas, ils se comportent comme des filtres sélectifs en longueur d'onde et sont intrinsèquement sensibles à la température ou aux déformations mécaniques. D'autres réseaux, dits inclinés compte tenu de leur modulation légèrement inclinée par rapport à la perpendiculaire à la direction de propagation de la fibre optique, permettent de coupler de la lumière vers le milieu extérieur et d'être sensibles à des changements d'indice de réfraction du milieu. Pour la réalisation de capteurs chimiques, ces deux types de réseaux sont généralement associés à des matériaux sensibles (le plus souvent sous la forme de films minces) qui réagissent réversiblement avec une espèce chimique à mesurer en solution ou en milieu gazeux ce qui donne lieu à un changement de propriété mesurable par le réseau de Bragg (réaction exo/endothémique, gonflement ou contrainte, modification d'indice de réfraction). Ceci offre un large éventail de possibilités de détection. Au niveau conceptuel, il « suffit » d'adapter les matériaux pour les diverses applications. Nous donnons ci-dessous trois exemples d'applications environnementales qui ont été développées dans un passé récent.

DÉTECTION DE FUITES D'HYDROGÈNE

Un capteur d'hydrogène destiné aux sites de production, de stockage et de transport (pipelines) et très à propos dans le cadre des piles à combustible a été développé. Pour ce faire, des réseaux de Bragg uniformes ont été recouverts d'une couche d'oxyde de tungstène dopé au platine. En présence d'hydrogène dans l'air, cette couche catalyse la réaction de combustion de l'hydrogène et le changement local de température est alors mesuré par le réseau de Bragg. La limite de détection de ce capteur est de 0.1% d'hydrogène dans l'air, soit bien inférieure à la

limite basse d'explosivité (4%). Ces performances sont maintenues dans la gamme de température -20°C à 50°C, sans influence notable de l'humidité relative. Ces capteurs réalisés sur une même fibre qui assure transduction et transport d'information permettent un monitoring des fuites sur de longues distances et sont une solution élégante à la coûteuse multiplication de capteurs ponctuels.

DÉTECTION PRÉCOCE D'INCENDIE

Un capteur de radiation infrarouge permettant une détection précoce d'incendie a été développé, selon ce principe. Des réseaux de Bragg uniformes sont entourés d'un corps noir (oxyde de cuivre) qui provoque un échauffement local en fonction de la radiation infrarouge qu'il reçoit. Pour accroître les performances de détection, le capteur est placé au foyer d'un concentrateur à l'aide d'un packaging spécifiquement développé pour l'application. Ces capteurs sont destinés essentiellement aux tunnels et parkings confinés. Ce dispositif répond aux exigences qui régissent le secteur de la détection d'incendie dans le sens où il détecte un petit feu, placé à 6 mètres du détecteur, en moins de 30 secondes. Des tests concluants ont été effectués en intérieur et en extérieur.

DÉTECTION DE POLLUTION PAR DES OXYDES D'AZOTE

Un capteur de NO₂ consistant en une couche sensible à base d'un organique gazochrome (bisphthalocyanine de lutétium) a été développé pour le monitoring de la concentration en NO₂ dans les tunnels routiers et parkings, profitant ainsi des avantages de la fibre comme vecteur d'information. Notons qu'ils peuvent être combinés avec le détecteur d'incendie ou d'hydrogène.

Depuis mi-2016 la spin-off B-SENS prend le relais des activités de recherche fondamentale menées à l'Université de Mons pour développer des solutions commerciales basées sur l'utilisation de capteurs à fibres optiques. Plus d'informations à ce sujet sont disponibles sur le site internet www.b-sens.be.



CAPTURER LE DIOXYDE DE CARBONE ÉMIS PAR L'INDUSTRIE ET LE RÉUTILISER

☒ Prof. Diane Thomas, Prof. Anne-Lise Hantson, Dr Ir Lionel Dubois, Ir Aldo Mirisola, Service de génie des procédés chimiques et biochimiques
Prof. Guy De Weireld, Service de Thermodynamique et Physique mathématique

La Chair ECRA

La réduction des émissions de gaz à effet de serre constitue, à juste titre, une préoccupation actuelle majeure de notre société. Une solution pérenne réside évidemment en l'intensification de la mise en œuvre des énergies renouvelables. Mais s'affranchir du jour au lendemain de l'utilisation des énergies fossiles est inconcevable. Mettre en place des moyens techniques permettant une réduction immédiate des émissions de CO₂ dans l'atmosphère est essentiel. Dans l'éventail des solutions à court et moyen termes, l'une des voies retenant l'intérêt des industriels et des chercheurs consiste à capter le CO₂ émis puis soit de le transporter vers un site de stockage, soit de le convertir intelligemment. En particulier, le secteur cimentier, très émissif, se penche sur cette problématique.

C'est dans ce contexte que l'ECRA (plateforme par laquelle les industries cimentières européennes soutiennent, organisent et entreprennent des activités de recherche, s'intégrant dans un réseau incluant divers acteurs de la recherche dont des universités) et l'UMONS se sont rapprochés afin de conclure au printemps 2013 un accord concernant la création d'un partenariat privilégié et le développement, au sein de l'Université, d'une Chaire financée par l'ECRA.

L'objectif principal de cette Chaire « From CO₂ to Energy » est de mettre sur pied un centre d'expertise scientifique dans le domaine spécifique de la « capture du dioxyde de carbone dans la production cimentière et sa réutilisation », et de promouvoir la recherche et l'innovation dans ce domaine.

La Chaire supporte des activités de recherche en finançant partiellement des bourses pour doctorants ainsi que leur encadrement et la coordination des travaux par un post-doctorant. Les étudiants sont aussi associés aux activités scientifiques de la Chaire dans le cadre de projets appliqués, répondant parfaitement aux exigences d'apprentissage de la formation, et de travaux de fin d'études, liés plus ou moins directement aux thèses. Un prix ECRA est d'ailleurs décerné depuis l'année académique 2013-2014 pour récompenser le meilleur travail d'étudiant sur une thématique liée à la capture ou à la réutilisation du CO₂, ou sur toute amélioration applicable à l'industrie cimentière.

La Chaire ECRA, partenariat gagnant-gagnant, associe des professeurs (de services du Groupe Chimie-Science des matériaux de la Faculté Polytechnique) qui s'engagent à partager leur expertise scientifique avec l'ECRA, apportant ses propres connaissances et finançant les activités de la Chaire.

Un Comité Scientifique, incluant des représentants de l'ECRA et de l'UMONS, dirige les activités de la Chaire au travers de réunions régulières pour discuter de l'évolution des projets.

Concrètement, la Chaire ECRA se veut promotrice de recherches relatives aux procédés de capture et purification du CO₂, appliqués à l'industrie cimentière, et à l'utilisation potentielle du CO₂ converti en carburant.

L'oxycombustion constitue une méthode prometteuse qui, via une combustion réalisée en présence d'oxygène pur (ou d'air enrichi en oxygène) et non pas d'air, permet de produire des flux de combustion très concentrés en CO₂.

La technique de post-combustion, plus répandue et testée à l'échelle de gros pilotes industriels, consiste à capter le CO₂ des fumées de combustion constituées par de l'azote, de l'oxygène et du CO₂. Les technologies de postcombustion (souvent, mais pas seulement, par absorption) viennent apporter une solution à des unités industrielles déjà existantes. L'ECRA s'intéresse en outre à la réutilisation du CO₂ par divers procédés qui convertissent le CO₂ en mettant à profit une énergie électrique renouvelable.

Les deux premières thèses menées au sein de cette Chaire ont été défendues en 2018. La première, soutenue par Sinda Laribi en février 2018, a porté sur deux aspects de capture/purification :

- la simulation de la chaîne de traitements (dénitrication et désulfuration par absorption réactive sous pression) à appliquer en aval d'une oxycombustion afin de récupérer un flux de CO₂ aux caractéristiques adéquates pour pouvoir le convertir en composé d'intérêt ;





- le procédé d'absorption-régénération aux solvants aminés appliqué à des fumées issues de fours conventionnels ou d'oxycombustion partielle, testé sur un pilote de laboratoire, mais aussi simulé.

Dans les deux cas, une analyse technico-économique et une optimisation énergétique des procédés ont été menées.

La thèse de Nicolas Meunier, soutenue octobre 2018, s'est intéressée à la conversion catalytique du CO₂ en méthanol. Une étude cinétique a été réalisée sur un catalyseur commercial et un catalyseur innovant (CuO/ZnO/ZrO₂) spécialement mis au point en collaboration avec l'ECPM de Strasbourg. Les expériences ont été réalisées sur une installation micro-pilote développée au cours de la thèse.

La chaîne complète, de la capture du CO₂ à sa conversion en méthanol, a aussi été étudiée, incluant diverses intégrations de matière et énergie. L'analyse de cycle de vie (ACV) a souligné le haut potentiel de ce procédé alternatif, comparé à la voie classique de production de méthanol par vaporeformage de méthane, grâce à une réduction de plus de 50% des émissions de CO₂. Sa viabilité économique reste néanmoins fortement liée aux coûts de l'électricité associée à la production d'hydrogène nécessaire à la conversion.

Deux thèses sont toujours en cours. Celle de Remi Chauvy porte sur la comparaison des voies de conversion du CO₂. Après avoir réalisé un panorama des différentes voies, une méthodologie de sélection multicritère a été développée pour identifier les voies les plus prometteuses (méthanol, méthane, acide formique). Pour chacun de ces composés, la chaîne globale, incluant les unités de capture, de conversion, et de production des éventuels co-réactifs, est modélisée afin d'évaluer les paramètres technico-économiques, complétée par une analyse environnementale. Les opportunités liées aux développements et déploiements de ces technologies, les synergies notamment avec le secteur des énergies renouvelables seront ainsi identifiées afin de proposer aux industriels du secteur cimentier des procédés optimisés et intégrés.

Dans sa thèse de doctorat, Seloua Mouhoubi se penche sur le procédé d'absorption-régénération qui utiliserait un mélange aqueux d'amines particulières qui, une fois chargées en CO₂, démixe, conduisant à une régénération de solvant moins énergivore. La simulation du procédé demande la

maîtrise à la fois des phénomènes thermodynamiques et cinétiques. Une fois cette simulation adaptée, une analyse technico-économique suivra et permettra de chiffrer les gains énergétiques du procédé appliqué aux fumées de cimenterie.

Sur tous ces travaux, soulignons la publication de rapports scientifiques réguliers ainsi que la communication systématique des résultats dans la littérature scientifique et lors de conférences internationales. Deux événements scientifiques d'envergure ont eu lieu en 2014 et 2016 (le prochain est planifié en 2019) dans le but de donner une large visibilité à la recherche et l'innovation développées dans le cadre de la Chaire ; divers experts internationaux, issus du milieu universitaire ou du monde industriel, spécialistes de thématiques en lien avec la Chaire, y ont été invités à présenter des exposés.

La collaboration est jugée tellement fructueuse de part et d'autre que la Chaire académique ECRA prolonge ses activités de recherche au moins jusqu'en 2022 ! Cette deuxième prolongation de trois ans permettra notamment d'élargir la portée de la Chaire par des collaborations initiées avec d'autres universités ou organismes de recherche. A courte échéance, une thèse en co-tutelle avec l'ULCO va démarrer sur la dénitrification catalytique de fumées issues de l'oxycombustion. Les travaux sur la conversion en méthanol devraient également se poursuivre dans une nouvelle thèse.

De quoi encore largement enrichir ce partenariat scientifique, durable à plus d'un titre !

Les microalgues luttent contre le réchauffement climatique

Outre les techniques d'absorption dans les solutions aminées, d'autres voies d'abattement du CO₂ de fumées industrielles peuvent être envisagées. Notamment celles qui font intervenir une valorisation biologique où des microalgues sont utilisées pour transformer le carbone inorganique en composés biochimiques d'intérêt via la photosynthèse.

Les microalgues sont des microorganismes photosynthétiques qui forment un groupe très vaste. Elles manifestent plusieurs avantages par rapport aux végétaux terrestres : croissance jusqu'à 100 fois plus rapide, peu d'encombrement au sol en comparaison aux cultures classiques et productivité en lipides importante.

Dans le cadre d'une valorisation énergétique, maximiser la fraction lipidique (graisses) de la biomasse microalgale est un enjeu essentiel car celle-ci peut être convertie en biodiesel. La fraction saccharidique (« sucres ») peut quant à elle être transformée en bioéthanol par fermentation. D'autres procédés comme la digestion anaérobie (synthèse d'H₂ et de méthane) ou la gazéification (synthèse de CO et H₂) peuvent ensuite compléter la valorisation énergétique du reste de la biomasse. Par ailleurs, des composés à haute valeur ajoutée sont également synthétisés par les microalgues, notamment des antioxydants, vitamines, épaississants/gélifiants, composés anti-inflammatoires et antitumoraux, ... Leur récupération et commercialisation permettrait de rendre un procédé de culture microalgale économiquement viable.

Au vu des avantages offerts par la culture microalgale en termes de capture du CO₂ et de valorisation de son contenu biochimique, l'étude de la faisabilité d'un photobioréacteur alimenté par des fumées industrielles semble plus que prometteuse. L'utilisation directe des fumées de combustions présente l'avantage de limiter les coûts de séparation du CO₂. Dans un tel procédé, différents composants du gaz sont solubilisés (notamment le SO₂, les NO_x et le CO₂) dans les milieux de culture avant d'être disponibles pour la croissance des microorganismes. Néanmoins, certains de ces gaz peuvent générer, dans le milieu de culture, des ions dont la toxicité est pointée du doigt dans la littérature. C'est le cas du SO₂ présent dans les fumées qui, par solubilisation et réaction avec l'eau, forme des sulfites.

« Par ailleurs, des composés à haute valeur ajoutée sont également synthétisés par les microalgues. »

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes d'abord intéressés aux teneurs en ions potentiellement toxiques (sulfites, nitrites) générés lors de la mise en contact d'un milieu de culture microalgale avec un gaz représentatif d'une fumée cimentière. Seuls les sulfites ont été détectés dans les milieux de culture. Il convient donc de tester leur toxicité sur les souches microalgales sélectionnées sur base de leur bonne cinétique de croissance et de production de lipides. Les premiers résultats ont montré que la souche *Scenedesmus dimorphus* est capable de tolérer jusqu'à 50 mg/L de sulfite. Au-delà, la culture ne se développe plus.

Ingénieur Civil des Mines et la transition énergétique...

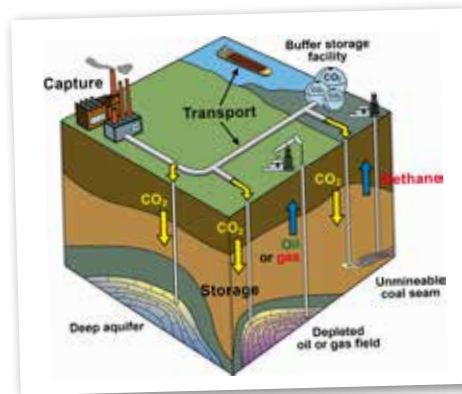


☒ Olivier Vincké, Chef du Département Mécanique des Fluides – IFPen (FPMs 1990)

Une formation d'ingénieur civil des Mines en poche (1990) et fasciné à la fois par la recherche et la Mécanique des Roches, je décidai de tenter ma chance dans un centre de recherche : l'Institut Français du Pétrole. Après quelques années au laboratoire de Mécanique des Roches, j'ai été attiré par la gestion de projets : amélioration des techniques de forage, forage et production de réservoirs très enfouis. Les thématiques de recherche évoluant, l'Institut Français du Pétrole est devenu IFPen, IFP énergies nouvelles. J'ai alors eu la charge de projets visant à développer des techniques de stockage géologique du CO₂. Une fois capté et acheminé, le CO₂ doit être injecté et stocké dans des roches poreuses. La couverture – couche géologique imperméable, essentiellement des argiles ou du sel – empêche la remontée du CO₂ en surface. Pour stabiliser la teneur en CO₂ dans l'atmosphère, il faut le conserver dans le sous-sol pendant des milliers d'années. Seuls les sites présentant toutes les garanties relatives à la sécurité seront retenus. Il faut donc parvenir à modéliser l'évolution du CO₂ stocké dans le temps selon des scénarii provoquant une rupture d'étanchéité. IFPen a développé un logiciel qui modélise la migration du CO₂ dans le sous-sol en prenant en compte la structure géologique du stockage et les interactions géochimiques entre le CO₂ et les structures minérales rencontrées. Ce type de modèles permet aussi d'estimer l'injectivité et les variations de pression induisant une déformation de la structure pouvant nuire à l'étanchéité des couvertures et des puits. Ces informations sont cruciales pour juger de la sécurité du stockage à moyen et long terme. En outre, nous recherchons

des techniques de gestion et de surveillance suffisamment sensibles, pour contrôler l'extension du panache de gaz stocké, détecter toute remontée éventuelle de CO₂ et mettre en place les mesures correctives.

Le management d'équipe m'a ensuite attiré et je suis devenu chef du Département « Géophysique et Mécanique des Roches ». A l'heure actuelle, je dirige le Département « Mécanique des Fluides » qui répond à la fois à des problématiques pétrolières mais aussi à des challenges tels que le développement de nouvelles énergies, tel que, par exemple, l'éolien offshore.



« Pour stabiliser la teneur en CO₂ dans l'atmosphère, il faut le conserver dans le sous-sol pendant des milliers d'années. »

La qualité de l'Air – Une collaboration transfrontalière depuis plus de 15 ans

☒ Guy De Weireld, Rita Ribeiro, Nicolas Heymans, Diane Thomas, André Decroly

Les composés organiques volatils (COVs) sont parmi les principaux contributeurs à la pollution de l'air. Ils ont des impacts importants sur l'environnement tels que l'appauvrissement de la couche d'ozone, la formation d'ozone troposphérique et de smog au sol. De plus, ils peuvent être néfastes voire dangereux pour la santé humaine.

La politique actuelle de réduction des émissions de COVs est de donner une priorité à la substitution totale ou partielle des COVs utilisés à la source. Cependant, lorsque cette substitution à la source n'est pas possible pour des raisons techniques, il est alors nécessaire de trouver des solutions pour traiter ces émissions par de nouveaux procédés adaptés à de faibles concentrations de COVs, tout en ayant une bonne efficacité énergétique et permettant un traitement total sans formation de sous-produits.

Depuis 2002, le service de Thermodynamique, rejoint par la suite par le Services de Génie des

procédés chimiques et biochimiques et le Service de Science des Matériaux, tente de trouver des solutions pour répondre à cette problématique environnementale majeure dans le cadre de programmes transfrontaliers Interreg Wallonie-France III (Retrai) et IV (Redugaz). Dans un premier temps, ils étudient à l'échelle laboratoire, de nouveaux matériaux adsorbants et des catalyseurs pour l'élimination des COVs, respectivement par adsorption et par oxydation catalytique et, par la suite, les testent à l'échelle d'un micro-pilote industriel.

Le projet Interreg Wallonie-France-Flandre V, DepollutAir propose de développer de nouvelles méthodes de traitement innovantes basées sur le couplage de différentes techniques. Il regroupe des compétences interrégionales complémentaires pour permettre le développement de ces nouveaux procédés. En effet, les techniques considérées pour le couplage sont l'adsorption, la catalyse, la photo-catalyse et les technologies plasma. L'UMONS apporte une expertise dans le

développement d'unités pilotes et l'abattement des polluants par adsorption, l'Université de Namur (UNamur) apporte une expertise dans la synthèse des matériaux et la photo-catalyse, l'Université du Littoral-Côte d'Opale (ULCO) et l'Université de Lille (ULille) apporte une expertise dans l'abattement des COVs par catalyse et l'Université de Gand (UGhent) apporte une expertise dans la technologie plasma. Les différents couplages utilisés dans le projet sont essentiellement : « Adsorption-Catalyse », « Adsorption-Photocatalyse » et « Plasma-Catalyse ».

Ce projet a pour vocation à accompagner les entreprises transfrontalières dans une démarche environnementale et durable ; depuis les mesures d'émissions sur site jusqu'aux propositions de solutions adaptées et innovantes pour le traitement des COVs.

Pour plus d'informations, visitez notre site internet : www.gotos3.eu/fr/projecten/depollutair/home

GoToS3
Catalyseur
d'innovation
Katalysator
van innovatie



DÉPOLLUTION DE L'AIR INTÉRIEUR PAR DES REVÊTEMENTS BIOACTIFS



☑ Dr Cristiana Castro, Prof. Anne-Lise Hantson, Service de Génie des procédés chimiques et biochimiques

Des revêtements bioactifs constitués de biomolécules ou microorganismes encapsulés permettant de dégrader des composés organiques volatils, constituent une technologie simple, peu coûteuse et efficace, respectant l'environnement et la santé, pour l'amélioration de la qualité de l'air intérieur des résidences et lieux de travail



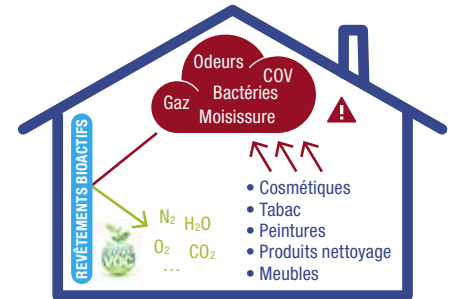
La crise énergétique des années 70 a entraîné des mesures d'économie d'énergie demandant des changements graduels ou parfois brusques dans notre mode de vie, au domicile et sur le lieu de travail. La demande de logements plus économes en énergie pour une population croissante, dont le niveau de vie a augmenté, a rapidement dépassé les capacités de production de matériaux de construction traditionnels tels que le bois naturel. L'utilisation de nouveaux matériaux de construction, de décoration et produits de consommation comme le bois composite, les tapis synthétiques, les revêtements de sol en polymère, les rembourrages en mousse, les articles en plastique et nettoyants parfumés s'est rapidement accrue. De plus, les technologies de bureau modernes telles que les photocopieuses, ordinateurs, terminaux, imprimantes, papiers autocopiants, ... ont été introduites. Ces changements ont, en général, entraîné une augmentation de la diversité et de la concentration, dans l'air intérieur, de substances indésirables.

Les polluants atmosphériques intérieurs typiques comprennent les oxydes d'azote (NOx), le monoxyde de carbone (CO) et les composés organiques volatils (COV), et peuvent être trouvés en mélange avec d'autres contaminants comme des moisissures, bactéries, poussières ou allergènes. Le manque de renouvellement d'air dans l'habitat traditionnel et les immeubles ainsi que la mise en place de

circuits de recirculation de l'air dans les bâtiments passifs favorise la concentration de ces pollutions chimiques et microbiennes.

Parmi les polluants de l'atmosphère ambiante, la partie la plus importante et la plus représentative correspond aux COV. Plusieurs études montrent que leur présence dans les habitations et lieux de travail, où les gens passent plus de 80% de leur vie, a dégradé la qualité de l'air intérieur et a généré des problèmes de santé et de confort auprès de la population. Ces composés émanant des divers produits ménagers, adhésifs et matériaux de construction, ou de procédés de combustion, ont été corrélés à l'accroissement de l'apparition de cancers, d'allergies voire à la baisse de la fertilité humaine. L'effet dangereux des COV est dû à leur capacité à pénétrer la peau et les muqueuses, ce qui peut endommager les organes et les systèmes métaboliques. Le contrôle et la réduction de l'occurrence de ces polluants peuvent aider à réduire les risques de maladies associées. Par ailleurs, la pression réglementaire sur les taux de COV admissibles dans l'air intérieur ainsi que sur les classes d'émission des matériaux de construction est croissante en Europe.

Les méthodes conventionnelles de dégradation ou d'élimination des COV de l'air ambiant reposent essentiellement sur des systèmes de filtration qui requièrent une maintenance régulière et entraînent



un surcoût important de l'habitat. De plus, le défaut d'entretien de ces systèmes peut conduire à un danger de pollution encore plus important. Il y a donc une demande pressante du grand public pour la mise au point de solutions peu onéreuses, efficaces et ne dénaturant pas l'esthétique pour purifier efficacement l'environnement dans les bâtiments. La dégradation des COV par transformation biologique ou enzymatique est de plus en plus explorée comme une stratégie prometteuse en raison de sa flexibilité, son faible coût et son efficacité, respectant les procédures sanitaires et environnementales.

Le projet BIODEC, du portefeuille de projets Films MultiFonctionnels subsidié par le FEDER et réalisé en étroite collaboration avec l'ULB, l'UCLouvain, l'ULiège et le centre de recherche Materia Nova, vise à développer des revêtements bioactifs incorporant des microorganismes ou biomolécules, notamment des enzymes spécifiques, capables de dégrader les polluants et de les transformer en autres composés moins toxiques. L'idée du projet est de déposer ces revêtements écologiques sur des dispositifs déjà existants (filtres, tuyaux, etc.) ou directement sur des surfaces ou parois intérieures du bâtiment (panneaux métalliques ou en bois, plaques de plâtre, pièces plastiques, etc.) pour un maximum d'efficacité.

Dans le cadre du projet BIODEC, l'application est envisagée pour la dégradation du formaldéhyde de l'air intérieur. Ce composé est l'un des COV les plus représentatifs émis par les matériaux de construction, par la transformation du bois, par les textiles et les industries chimiques. Ce composé est extrêmement toxique et est connu pour avoir des effets mutagènes, immunogènes, allergènes et cancérogènes. Plusieurs microorganismes, notamment des bactéries, des cyanobactéries, des champignons ou des levures, sont connus pour synthétiser des enzymes capables d'utiliser le formaldéhyde comme substrat et de le transformer en d'autres composés intermédiaires moins nocifs, l'acide formique et le peroxyde d'hydrogène, qui conduisent finalement au dioxyde de carbone et à l'eau. L'utilisation des revêtements, incorporant ces microorganismes ou les enzymes purifiées, permettra d'améliorer de façon significative et durable la qualité de l'environnement domestique contribuant ainsi à une amélioration de la qualité de vie des individus.

Intégration de petites éoliennes en milieu urbain



☒ Dr Stéphanie Zéoli, Service de Fluides-Machines

Au cours de ces dernières décennies, notre demande en énergie n'a cessé d'augmenter. L'Agence d'information sur l'énergie (Energy Information Administration ou EIA) prédit d'ailleurs une augmentation de la demande de 56% d'ici 2040. Plus particulièrement, notre consommation en énergies fossiles est également en continuelle augmentation. Cependant, au vu de la raréfaction de ce type d'énergies et de la conscientisation de leurs effets néfastes sur le climat, la population et les écosystèmes, le développement d'énergies renouvelables constitue une préoccupation majeure au niveau de la recherche liée à l'énergie. L'une des sources d'énergie renouvelable prometteuse à l'heure actuelle est l'énergie éolienne. On observe de ce fait une augmentation significative du nombre d'éoliennes installées tant on-shore que off-shore durant ces dernières années.

Il existe actuellement une grande variabilité dans le type et la taille des éoliennes développées. En ce qui concerne l'éolien off-shore, la taille des machines tend à augmenter (la hauteur des mâts dépasse à l'heure actuelle 160 m pour une puissance de 10 MW). Par contre, parallèlement au développement des grandes fermes d'éoliennes on-shore, un petit éolien (< 100 kW avec une hauteur de mât limitée à 30 m) et un moyen éolien (de l'ordre de 200 à 300 kW) voient le jour à cause de l'urbanisation sans cesse croissante de nos régions. D'après Engie-Electrabel, « cette solution convient aux PME, aux exploitations agricoles, aux entreprises et aux administrations publiques dont la consommation électrique annuelle se situe entre 30 et 500 MWh ».

Un des avantages du petit éolien est qu'il réduit les pertes liées à la transmission de l'énergie. Cependant, en raison de leur taille, les petites éoliennes sont plus sensibles aux variations de vents et aux effets de turbulence atmosphérique induits par le relief du terrain ou la présence de bâtiments. Ces conditions de vents ont un impact direct sur la production de puissance de ces machines mais aussi sur leur durée de vie et donc sur les coûts de production et de maintenance. Actuellement, l'incertitude liée à la production et au temps de vie d'une machine reste élevée.

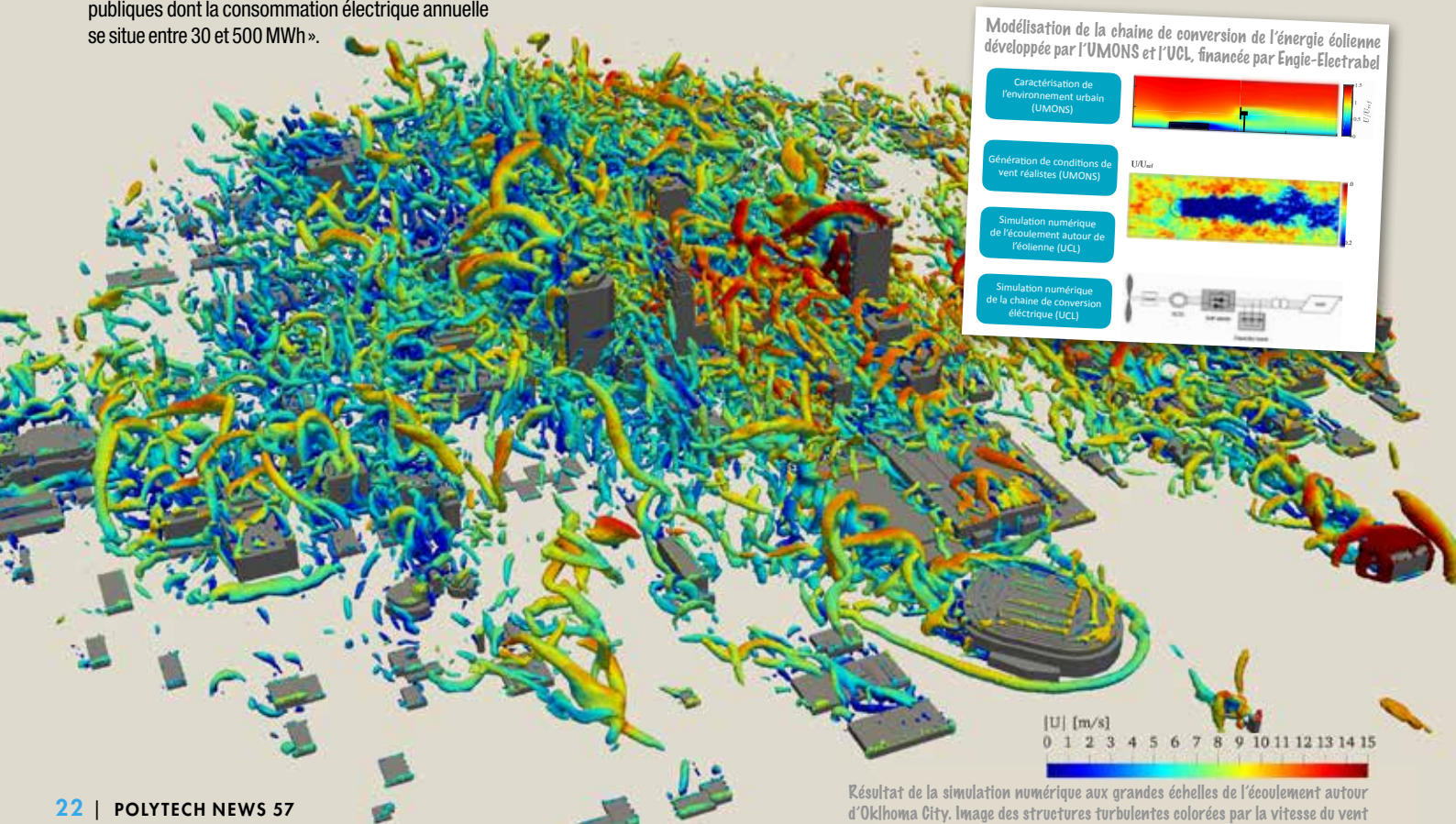
C'est dans ce contexte que le Service de Fluides-Machines de la Faculté Polytechnique mène des recherches fondamentales et appliquées ayant pour objectif de réduire cette incertitude en étudiant en détail le fonctionnement de ces éoliennes et leurs interactions avec la turbulence environnante.

Ces recherches sont menées en étroite collaboration avec le CORIA (INSA-Rouen), l'Université Catholique de Louvain (UCL) et TU-Delft, mais aussi avec des partenaires industriels : Engie, WaPT, Fairwind et 3E. Le service de Fluides-Machines fait état d'une expérience significative dans le domaine : 3 thèses ont déjà été défendues dans le domaine de l'éolien, dont une en partenariat avec Numeca, deux autres thèses étant encore actuellement en cours. Chaque année, des TFEs sont proposés dans la thématique ainsi qu'un cours de spécialisation dispensé aux étudiants mécaniciens à finalité énergétique.

Dans le cadre d'une étude menée en collaboration avec l'UCL pour Engie-Electrabel, il a été démontré que le petit éolien était une alternative crédible dans la production d'électricité (<http://corporate.engie-electrabel.be/fr/actualite/les-petites-eoliennes-une-alternative-credibile/>). Durant cette étude, des outils numériques ont été développés permettant de pouvoir simuler en détail la chaîne complète de conversion d'énergie en partant des données météorologiques jusqu'à l'injection de l'énergie produite par l'éolienne sur le réseau. Cet outil permet d'étudier aussi bien des éoliennes « classiques » à axe horizontal que des éoliennes à axe vertical.

Suite à cette étude, un projet concernant la prédiction opérationnelle pour le petit éolien a été lancé. L'objectif du projet « POPE » est de développer et d'évaluer un prototype de chaîne de modélisation multi-physique à haute précision mais, cette fois-ci, à faible coût de calcul. Cet outil devra, à partir des données météorologiques et des caractéristiques du terrain d'un site, fournir une caractérisation opérationnelle d'une éolienne donnée en termes de puissance et d'efforts sur les pales. L'utilisation de ce nouvel outil permettra ainsi l'optimisation du positionnement de la machine et la prédiction de la production à court et à long terme, ainsi que les efforts appliqués sur les pales indispensables à l'élaboration d'une maintenance prédictive. Une des particularités de ce projet réside dans la mise à disposition par Fairwind de données expérimentales qui permettront de pouvoir valider les outils numériques développés.

Dans le cadre de ces différentes études, l'expertise du service de Fluides-Machines se concentre essentiellement sur la simulation numérique « à haute fidélité » du vent en milieu urbain, en tenant compte de données météorologiques réalistes.



MOBILITÉ

LE VÉHICULE ÉLECTRIQUE RECHARGEABLE
VU SOUS TROIS ANGLES

☒ Prof. Olivier Deblecker, Service de Génie électrique

Est-il vraiment plus propre que la voiture à moteur thermique ? Comment s'insère-t-il dans le nouveau paradigme des réseaux électriques ? Faut-il un câble pour le recharger ? Quelques réponses et mises en évidence de travaux en cours dans cet article.

Les voitures électriques et l'environnement

Dans son rapport de 2016, consacré aux potentiels du véhicule électrique, l'Agence française de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) titrait : « Les véhicules électriques peuvent contribuer à atténuer la dépendance des transports routiers à l'égard du pétrole importé, contribuer à réduire la facture énergétique du pays, réduire les émissions de gaz à effet de serre, améliorer la qualité de l'air en ville grâce à des émissions nulles à l'échappement et réduire les nuisances sonores ».

En pratique, évaluer l'impact environnemental du véhicule électrique nécessite de considérer tous les aspects, de sa conception et de son utilisation. Le sujet est vaste et il serait une gageure de vouloir le traiter ici de manière exhaustive. Même si tout le monde s'accorde aujourd'hui sur le fait que le véhicule automobile électrique représente pour l'avenir la seule véritable solution de mobilité à court terme, grâce au stockage de l'énergie dans des batteries, il est utile de rappeler une certaine réalité.

L'intérêt majeur du véhicule électrique est qu'il ne génère pas d'émission de gaz à effet de serre localement. Ceci constitue un atout indéniable dans le contexte de mobilité urbaine actuel, source de nombreux défis à relever (on notera que d'après les prévisions des Nations Unies, deux personnes sur trois habiteront probablement dans les villes d'ici 2050). Cet aspect doit néanmoins être relativisé car en matière de rejets de gaz polluants, il est important de considérer le cycle complet, du puits à la prise, c'est-à-dire la production d'électricité, et de la prise à la roue (zéro pour un véhicule rechargeable tout électrique). Le bilan en termes d'émission de gaz à effet de serre dépend donc aussi en grande partie du mix énergétique à l'origine de la production d'électricité, la part des centrales thermiques au charbon, très polluantes, devant bien entendu être minimisée devant d'autres moyens de production d'électricité plus propres basés notamment sur les énergies renouvelables. En admettant que le réseau électrique existant puisse supporter une telle situation, des études récentes estiment que le gain environnemental du véhicule électrique, s'il venait à se généraliser, serait déjà important avec le parc européen de production d'électricité actuel (de l'ordre de 60 g de CO₂ produits indirectement par km parcouru contre 180 g/km dans le pire des cas avec un véhicule à essence, soit un gain de 3).

Si l'on tient compte de son processus de fabrication, une voiture électrique serait d'autre part deux fois plus dommageable pour l'environnement en comparaison d'un véhicule classique, un des pôles les plus énergivores étant l'assemblage des batteries. Ceci s'explique aussi par les matériaux rares (cobalt, lithium, etc.) intervenant dans la fabrication des batteries utilisées sur le marché, dont l'exploitation est hautement dommageable tant écologiquement que du point de vue éthique. Heureusement, lorsque ces batteries ne sont plus assez performantes pour une utilisation en traction, elles restent toujours exploitables

pour d'autres usages. Ainsi, pour les batteries au lithium, le potentiel de réutilisation est très important avec une capacité énergétique résiduelle de l'ordre de 80% de la capacité initiale lors du déclassement. Elle peut alors être reconvertie en batterie de stockage, avant d'être finalement recyclée conformément à la réglementation européenne.

Pratiquement, on retiendra surtout qu'à la différence des véhicules thermiques, la majorité des impacts environnementaux d'une voiture électrique interviennent lors de la phase de fabrication. Le gain écologique se retrouve donc plutôt durant la phase d'usage et sera maximal pour une utilisation intensive du véhicule.

Les véhicules électriques et les micro-réseaux

Au cours de la dernière décennie, les énergies renouvelables (éolien, photovoltaïque, etc.) ont connu un essor considérable de par le monde. L'intégration de plus en plus importante de moyens de production d'énergie renouvelable, combinés à des dispositifs de stockage d'énergie, permettent aujourd'hui à des entités telles que zoning industriel, campus universitaires, bâtiments publics, etc., de pouvoir subvenir partiellement, voire entièrement, à leurs besoins en électricité, par la mise en œuvre de systèmes de gestion intelligente des flux d'énergie. Ces entités opèrent alors en micro-réseau, de manière autonome ou raccordées au réseau de distribution électrique principal.

Au sein d'un micro-réseau, dans la mesure où la plupart des voitures électriques rechargeables passent la majorité de leur temps en stationnement, connectés à une borne dédiée, les batteries de ces véhicules peuvent être considérées comme une capacité de stockage mobile d'énergie électrique. Le micro-réseau peut par exemple puiser dans les batteries l'énergie électrique requise pour répondre à la demande (en cas de pointe de consommation) ou pour pallier un manque ponctuel de production (lorsque la météo ne permet pas d'exploiter en suffisance les énergies renouvelables).



Il s'agit du concept de *Vehicle-to-Microgrid*: le parc de véhicules électriques connectés au micro-réseau offre un service de flexibilité en fonction des besoins du système électrique local. Un tel mode de fonctionnement nécessite bien entendu l'utilisation de bornes de recharge bidirectionnelles en puissance, de telle sorte que les flux d'électricité puissent circuler dans les deux sens : du micro-réseau vers la batterie, lors de la recharge, et, inversement, de la batterie vers le système électrique lors de la décharge. Dans une vision centralisée, le gestionnaire du micro-réseau a pour rôle de garantir une exploitation optimale des batteries des véhicules connectés, compte tenu de contraintes opérationnelles du micro-réseau, de l'état de charge des batteries ou encore de considérations économiques. En cas de tarification variable, le gestionnaire peut également décider au fil de la journée de revendre sur le réseau principal de l'électricité stockée au niveau des batteries des véhicules électriques. Une telle situation se produit par exemple lorsque le prix de vente est avantageux et la production renouvelable suffisamment importante pour couvrir la charge du micro-réseau et garantir un niveau de charge suffisant des batteries.

Dans ce contexte, le service de Génie électrique consacre plusieurs travaux de recherche liés à la gestion intelligente de parcs de véhicules électriques rechargeables au sein de micro-réseaux.

“ **Le bilan en termes d'émission de gaz à effet de serre dépend donc aussi en grande partie du mix énergétique à l'origine de la production d'électricité.** ”

Une première thèse, financée dans le cadre du projet RE-SIZED, étudie une stratégie de gestion optimale des flux d'énergie électrique à l'échelle d'un bâtiment public intelligent. Le système électrique consiste en un micro-réseau connecté au réseau principal, comprenant du stockage et de la production renouvelable (photovoltaïque). Un parc de 30 véhicules électriques appartenant aux travailleurs permet d'assurer un service de flexibilité au sens décrit plus haut en intégrant, d'une part, l'aspect stochastique lié aux heures d'arrivée et de départ des véhicules électriques, et, d'autre part, l'incertitude portant sur la production d'électricité photovoltaïque en tirant parti de données réelles issues de compteurs intelligents. La stratégie étudiée optimise une fonction de coût journalier d'utilisation de l'énergie électrique au niveau du bâtiment, compte tenu de profils d'achat et vente de l'électricité au réseau un jour avant la livraison (J-1).

Une seconde thèse de doctorat traite de la problématique de planification à long terme sur 20 ans d'un micro-réseau industriel. L'idée générale du travail est de positionner chaque acteur du micro-réseau (prosumer, consommateur disposant de charges déplaçables, etc.) dans le rôle de gestionnaire du micro-réseau et d'étudier comment un bien-être global, économique et social, peut être obtenu entre toutes les parties. Afin de parvenir à trouver un tel bien-être, le problème est résolu par la théorie des jeux, en intégrant la gestion à plus court-terme du micro-réseau dans la formulation du problème de planification à long terme des investissements à consentir. Dans ce cadre spécifique, l'étude en cours s'intéresse tout particulièrement aux effets de l'insertion d'un parc de véhicules électriques comme nouvelle source de flexibilité dans le traitement du problème court-terme de gestion journalière du micro-réseau.

Recharger la batterie sans câble, c'est possible !

La possibilité de recharger la batterie sans fil constitue un atout supplémentaire en faveur de la voiture électrique. En effet, l'utilisateur n'a plus à se soucier des inconvénients propres à toute connexion câblée et gagne en commodité d'utilisation ; l'intégration à l'environnement est également plus subtile, surtout dans le cas des stations de recharge publiques, qui peuvent alors être protégées du vandalisme. La technologie de recharge sans fil est fondée sur un principe connu depuis plus d'un siècle grâce aux travaux de Nikola Tesla : le transfert de puissance par couplage inductif résonant

(comme dans un transformateur à air). Des condensateurs connectés à des bobines émettrice et réceptrice forment ensemble deux oscillateurs couplés, dimensionnés de sorte à partager une fréquence de résonance commune. La portée et le rendement du transfert de puissance sont ainsi grandement accrus et peuvent respectivement atteindre des valeurs de plusieurs dizaines de centimètres et supérieures à 90% selon l'application visée.

La conception de dispositifs de transfert d'énergie sans fil par couplage inductif résonant constitue le sujet d'une troisième thèse en cours dans le service de Génie électrique. Celle-ci est en lien étroit avec la mobilité électrique puisqu'un intérêt plus particulier est porté à la recharge de batteries de véhicules électriques. Pour cette application, la bidirectionnalité en puissance est une contrainte importante, retenue pour conférer aux dispositifs une fonctionnalité de type *Vehicle-to-Grid*. De plus, la source de puissance électrique à la borne de rechargement doit être capable de fournir typiquement plusieurs kilowatts à une fréquence de plusieurs dizaines de kHz, ce qui est aujourd'hui possible grâce aux progrès récents de l'électronique de puissance. Au vu des niveaux de puissances mis en jeu, il est nécessaire de modéliser correctement les pertes du système mais aussi de les minimiser, par un dimensionnement optimal et par le contrôle adéquat des convertisseurs de puissance inhérents à l'emploi de la technologie précitée. Dans un tel contexte, la recherche menée vise un double objectif : d'une part, développer des méthodes numériques originales afin de modéliser finement les enroulements impliqués dans les dispositifs résonants de transfert d'énergie et leur environnement (châssis du véhicule, blindage, etc.), et, d'autre part, étudier la chaîne de puissance complète, de la source à la batterie, en incluant le contrôle des convertisseurs de sorte à accroître la flexibilité du transfert d'énergie. Par flexibilité, il faut ici entendre la possibilité de ramener le système dans un point de fonctionnement optimal, malgré un écartement des conditions nominales (en cas de mauvais alignement entre la bobine émettrice et la bobine réceptrice par exemple).

Conclusion

Impact environnemental, flexibilité dans les micro-réseaux, recharge sans fil : voilà donc quelques sujets très actuels liés de près au véhicule électrique rechargeable, dont la part dans le parc automobile mondial ne devrait cesser de croître dans le futur. Si l'une des premières voitures électriques fut présentée à Paris lors de l'Exposition internationale d'Electricité de 1881 par le français Gustave Trouvé, il aura fallu attendre presque un siècle et demi pour que celle-ci suscite un véritable intérêt né de la prise de conscience grandissante des enjeux climatiques et de l'épuisement des ressources fossiles.



Le projet SMARTWATER : de l'hydroélectricité dans nos anciennes mines et carrières



☒ Prof. François Vallée, Service de Génie électrique
Prof. Pascal Goderniaux, Service de Géologie fondamentale et appliquée


Avec la pénétration de plus en plus importante d'unités de production d'électricité d'origine renouvelable, dont les solutions les plus populaires sont certainement les mâts éoliens ou encore les installations photovoltaïques, le système électrique est sujet à un changement de paradigme. C'est aujourd'hui à la consommation de s'adapter à ces nouvelles injections caractérisées par une nature hautement aléatoire. En bref, le réseau électrique a plus que jamais besoin de flexibilité afin de pouvoir garantir à tout instant l'équilibre « production – consommation » nécessaire au maintien de la fréquence à la valeur référence (en Europe) de 50 Hz.

Pour ce faire, conscientiser le client final et lui permettre de gérer activement sa consommation électrique via l'utilisation de nouveaux compteurs dits intelligents est une première solution (on parle, dans ce cas, de *Demand Side Management*) mise en place dans les réseaux de distribution modernes. Une autre source de flexibilité peut être trouvée dans les dispositifs de stockage dont la commercialisation tend à se développer. Dans ce contexte, quand on parle de stockage à échelle résidentielle et/ou industrielle de moyenne puissance, on pense directement aux batteries dont les possibilités en termes de dynamique en font des candidats privilégiés afin de compenser les fluctuations rapides de la production d'origine éolienne et/ou photovoltaïque. Toutefois, ces systèmes de batterie présentent le désavantage d'être basés sur l'utilisation de composants questionnables en termes de respect de l'environnement (les batteries Lithium-Ion restent encore aujourd'hui les solutions les plus fréquemment rencontrées). A l'opposé, des moyens « verts » de stockage « à grande échelle » de l'électricité existent depuis longtemps. En effet, dans les réseaux de transport électrique, des centrales d'une puissance installée de l'ordre du

Gigawatt (par exemple, la centrale de Coe) et basées sur le pompage-turbinage d'eau entre deux bassins situés à des altitudes différentes représentent un moyen utilisé depuis les années 70 afin de compenser la fluctuation de la charge électrique (pointe du soir et creux de la nuit) en présence d'un parc de production d'électricité au caractère majoritairement non-modulable (énergie nucléaire).

Dans le cadre du projet Smartwater financé par la Région Wallonne de septembre 2014 à mars 2018, l'idée était d'investiguer le potentiel technico-économique de stations de pompage-turbinage de moyenne puissance (on parle ici en Mégawatt) installées dans des anciens sites carriers ou galeries minières et qui présentent donc l'avantage de ne plus nécessiter de travaux importants de génie civil. Ces sites présentent également l'avantage d'être situés sous le niveau d'eau naturel de la nappe souterraine et permettent d'avoir à disposition une réserve d'eau directement utilisable. Par ailleurs, ils offrent souvent des volumes exploitables importants. Enfin, ils sont nombreux sur le territoire wallon, en raison d'une activité extractive

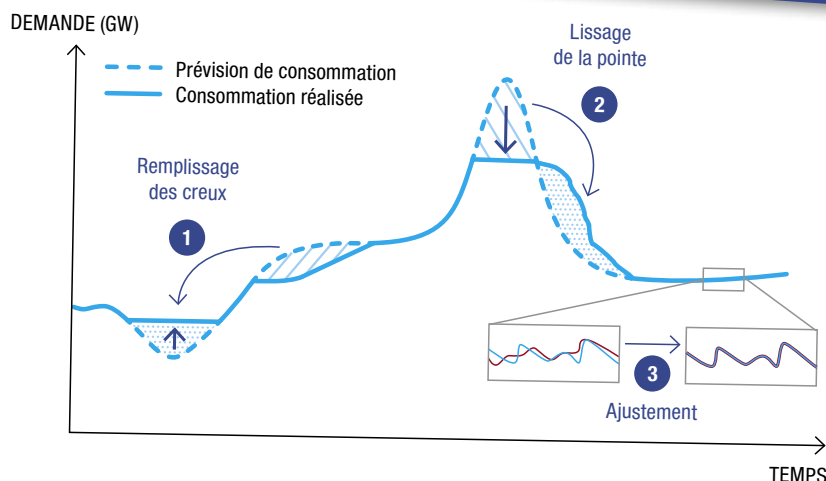
passée et présente très importante, ce qui permet potentiellement de multiplier le nombre de systèmes pompage-turbinage à différents endroits, et d'intégrer l'électricité produite au sein du réseau de distribution électrique de moyenne tension.

Pour ce faire, le projet, chapeauté par le centre de recherches Multitel, était organisé en 7 tâches visant à étudier des aspects relevant de domaines divers et variés tels que l'hydrogéologie, la géomécanique, l'hydraulique, l'électricité ou, encore, le droit... Pour couvrir l'ensemble de ces thématiques, le financement octroyé par la Région Wallonne s'élevait à 3.1 millions d'euros et servait à alimenter un consortium composé de 14 partenaires (Multitel, ULB, UCL, UM  Liège, ISSEP, ECOREM, Engie Lab, Engie Electrabel, COFELY et IDETA).

Un projet multidisciplinaire alliant notamment Génie Électrique...

Le service de Génie Électrique était en charge du Work Package dédié à la valorisation de ces stations de pompage-turbinage. Pratiquement, la flexibilité de pareilles unités peut être valorisée de deux manières différentes en participant conjointement aux marchés de l'énergie (pomper quand les prix de l'électricité sont faibles et turbiner quand ils sont élevés) et aux marchés des services auxiliaires (par exemple, en offrant sa flexibilité au gestionnaire du réseau de transport qui peut dès lors y avoir recours dès que nécessaire). Cependant, de par la nature des stations de pompage/turbinage envisagées dans le cadre du projet Smartwater (puissance de quelques dizaines de MW mobilisable sur une période de temps d'environ 4-6 heures), ces unités ne peuvent pas participer seules de manière optimale aux marchés de l'électricité en raison des contraintes liées à ces derniers (comme l'obligation de fournir en continu les services contractés durant une semaine entière). Ces stations de pompage-turbinage ont donc été intégrées dans un portefeuille

Illustration de l'intérêt du besoin de ressources flexibles (de dynamiques différentes) pour compenser la charge du système électrique



(composé de différents moyens de production/consommation/stockage) afin de compléter d'autres technologies (d'origine renouvelable principalement).

L'optimisation d'un tel portefeuille (soumis à différentes sources d'incertitudes) est complexe d'un point de vue mathématique, et il est donc difficile de tenir compte de tous les aspects non-linéaires et dynamiques liés à ces stations de pompage-turbinage. Pour faire face à ce problème, une approche hybride composée d'un outil de simulation (intégrant l'ensemble des non-linéarités et contraintes dynamiques liées aux unités de pompage-turbinage) complétant un outil de décision (basé sur une modélisation simplifiée de la physique sous-jacente) a été mise au point. L'idée est d'exploiter le simulateur pour ajuster les décisions de l'optimiseur jusqu'à convergence des résultats vers la solution optimale. Par ailleurs, un autre challenge était lié au couplage temporel des différents niveaux de décision. Ainsi, l'aspect de décision moyen-terme (la réservation des services auxiliaires dans les marchés de l'électricité belges a pour l'instant lieu une semaine à l'avance) a été modélisé en tentant de faire le moins possible d'hypothèses simplificatrices sur l'horizon de planification. Pour ce faire, il a été démontré la plus-value d'utiliser un méta-modèle des horizons « court-terme » afin de les exploiter dans l'optimisation moyen-terme (et d'ainsi accélérer la convergence de la procédure). Enfin, un autre aspect important du processus de décision qui a été abordé par le service de Génie Electrique est la caractérisation des incertitudes (venant de la charge électrique, de la production d'origine renouvelable, des prix de l'électricité, etc.). Dans cette perspective, les récentes avancées en *deep learning* ont été étudiées et transposées avec succès à la problématique de la prédiction des grandeurs aléatoires auxquelles sont sujets les réseaux électriques modernes.

De manière générale, les différents outils d'optimisation mis au point par le service de Génie Electrique permettent d'évaluer la rentabilité (à court et moyen terme) de ces stations de pompage-turbinage dans un contexte réglementaire précis. Les outils peuvent donc être utilisés pour évaluer l'influence de différents régimes (par exemple, la suppression des taxes « réseau » pour le pompage d'énergie électrique) sur le temps de retour sur investissement. Une conclusion majeure du projet a été ainsi de prouver et d'insister sur le fait que, dans le modèle réglementaire actuel, de par la double taxation dont elles font l'objet (à l'injection et au prélèvement), il est impossible pour de telles stations de réaliser du profit même en ne considérant que l'aspect opérationnel sans envisager un retour sur investissement. Il s'agit là d'un message clair à destination du pouvoir décideur et une nouvelle preuve qu'il est impératif de faire évoluer le contexte tarifaire pour tendre vers une production d'électricité la plus décarbonée possible.

... et hydrogéologie.

Par ailleurs, l'utilisation de mines et carrières comme bassins de pompage-turbinage s'accompagne également de contraintes importantes. Les carrières et mines ne peuvent être considérées

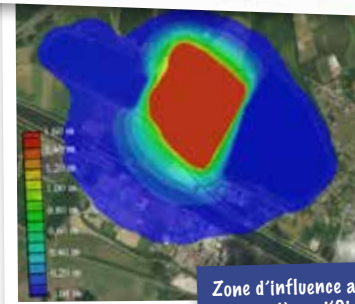


Vue aérienne des anciennes carrières d'Obourg

comme de simples réservoirs étanches. Ils sont en effet en interaction forte avec la nappe d'eau souterraine. Lors des activités de pompage-turbinage, des échanges d'eau ont lieu avec le milieu rocheux adjacent, et les carrières/mines se vident ou se remplissent plus ou moins rapidement, en fonction du contexte hydrogéologique. Cela a un impact sur la différence de niveau entre les réservoirs supérieur et inférieur, et donc sur la productivité du système.

De plus, l'alternance des cycles de pompage-turbinage dans les réservoirs engendrent des fluctuations rapides et périodiques du niveau d'eau, qui se propagent dans le milieu environnant. Cela peut avoir un impact sur d'autres ouvrages éventuels (ex. pompes) à proximité. Ces cycles hydrauliques peuvent également engendrer des problèmes de stabilité potentiellement importants dans certains milieux rocheux. Ces problèmes de stabilité peuvent par exemple avoir lieu au niveau des parois de la carrière, des piliers des mines souterraines, ou dans des zones de roches altérées sous forme d'effondrement localisés.

Le service de Géologie Fondamentale et Appliquée a travaillé sur l'inventaire des potentialités dans le contexte carrier wallon et sur le développement d'outils de modélisation permettant d'étudier de manière détaillée les différents problèmes hydrogéologiques en lien avec des systèmes de pompage-turbinage en carrière à ciel ouvert. En Wallonie, environ 1500 carrières et 300 mines sont toujours inscrites au plan de secteur. Parmi celles-ci, environ 200 carrières et mines sont situées dans différents contextes lithologiques, essentiellement sédimentaires. À partir de cet inventaire, différents cas génériques ont été établis et modélisés. Ils sont représentatifs du contexte wallon en termes de morphologie, de dimensions, de géologie, d'hydrogéologie et de topographie. Leur modélisation numérique a permis de mettre en évidence les paramètres du système contrôlant l'amplitude de la fluctuation du niveau d'eau et l'impact environnemental autour des bassins de pompage-turbinage. Les simulations mettent en évidence l'importance de la conductivité hydraulique et de la porosité du massif rocheux environnant, ainsi que la fréquence de fonctionnement de la station, sur la distance d'influence dans l'aquifère adjacent à la carrière. Les résultats permettent d'alimenter



Zone d'influence autour des carrières d'Obourg

des études de faisabilité de nouveaux projets, en ce qui concerne la problématique environnementale.

Plusieurs cas réels ont également été modélisés plus spécifiquement en tenant compte explicitement de la géométrie, topographie, et du contexte hydrogéologique des différents sites. Les modèles sont développés avec des codes de calcul 'différences finies', comme *GeoFlow*, de simuler l'écoulement d'eau souterraine de manière transitoire, en nappe non captive. Des scénarios de pompage-turbinage réalistes ont été imposés dans les carrières afin d'en quantifier l'impact. Dans le Hainaut, les anciennes carrières de craie d'Obourg, utilisées pour la production de ciment, ont notamment été modélisées. La surface de la carrière étudiée est d'environ 250 000 m² et est entièrement noyée. Elle est considérée comme le réservoir inférieur du système de pompage-turbinage. La topographie des lieux permet la construction d'un réservoir supérieur, d'une capacité maximale de 1 million m³, situé 35 m plus haut. Cela représente une énergie stockée de 120 MWh. En fonction de la fréquence de pompage-turbinage, les fluctuations du niveau d'eau correspondantes dans la carrière sont de 3 mètres maximum. La distance d'influence maximum autour de la carrière est d'environ 700 m et n'atteint pas les puits de captage environnants.

Les résultats de SMARTWATER sont très encourageants quant aux possibilités d'installation de stations de pompage-turbinage dans d'anciennes carrières et représentent donc une première pierre en vue d'une hypothétique prolifération de ces moyens de stockage dans les réseaux de distribution électrique du futur.

MAROC : des fours alimentés à l'énergie solaire photovoltaïque pour le monde rural et les zones forestières



✉ Prof. Olivier Deblecker, Service de Génie électrique

Le service de Génie électrique a une longue tradition de coopération avec le Maroc. Celle-ci se poursuit aujourd'hui dans le cadre d'un projet Wallonie-Bruxelles International (WBI) inscrit dans le développement durable.

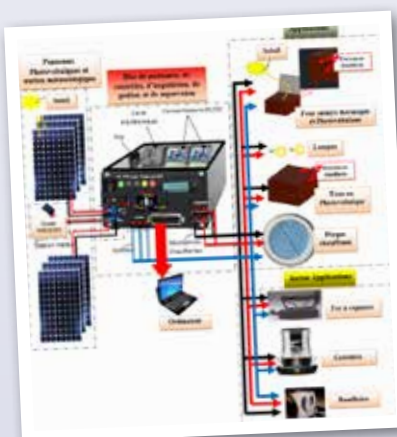
Dernièrement, la commission mixte permanente Wallonie-Bruxelles/Royaume du Maroc a inscrit le projet de coopération « Fours et plaques de cuisson innovants à l'énergie solaire photovoltaïque » à son programme de travail pour la période 2018-2022. Les porteurs de ce projet, d'une durée de cinq ans, sont le service de Génie électrique de la Faculté Polytechnique de l'UMONS et l'équipe MEER (Matériaux, Electronique et Energies Renouvelables) du laboratoire LETSER de la Faculté des Sciences, Université Mohammed Ier à Oujda, en partenariat avec des acteurs socio-économiques de la région de l'Oriental. L'initiative s'inscrit dans l'axe prioritaire stratégique de suivi de la COP22 (22^e conférence des Nations Unies sur les changements climatiques, organisée à Marrakech en 2016) visant la mise en œuvre de technologies et solutions durables pour le climat.

Le projet soutenu par WBI concerne le développement et la mise en place au Maroc de dispositifs pilotes innovants de fours et plaques de cuisson à haut rendement et température élevée, réglable suivant la nature de la cuisson et à bas coût. Ceux-ci seront destinés à chauffer ou sécher des aliments, en extérieur ou à l'intérieur de foyers d'habitation, en utilisant principalement l'énergie solaire photovoltaïque (mais également dans une moindre mesure, l'énergie solaire thermique). Une autre application envisagée concerne la production d'huiles essentielles cosmétiques bio obtenues par distillation à la vapeur d'eau. Plus généralement, l'objectif ciblé par le projet est double : contribuer au développement durable, d'une part, et, améliorer les conditions de vie socio-économiques des habitants, d'autre part. En effet, le recours à l'énergie solaire, largement disponible au Maroc, devrait permettre de limiter la consommation de bois de cuisson contribuant ainsi à la protection des forêts des communes rurales vis-à-vis de leur exploitation préoccupante par les habitants (moins de rejets de gaz à effet de serre dans l'atmosphère). De plus, l'application proposée dans ce projet va dans le sens d'une amélioration des conditions de vie des habitants, tant en milieu rural (en particulier dans les douars isolés) qu'urbain, puisqu'elle devrait générer à terme un gain de temps et d'argent (les dispositifs de cuisson envisagés pouvant à leur tour devenir sources de revenu). En outre, la présence de panneaux photovoltaïques devrait permettre aux habitants d'alimenter des équipements électriques pendant la journée, voire d'éclairer leurs foyers, réduisant ainsi le coût de la facture d'électricité.

« **Le recours à l'énergie solaire, largement disponible au Maroc, devrait permettre de limiter la consommation de bois de cuisson contribuant ainsi à la protection des forêts des communes rurales.** »



Pour l'opérateur marocain, l'initiative décrite plus haut s'inscrit dans la continuité de travaux déjà réalisés et présentés à la COP22 sur un prototype de four solaire thermique dans le cadre de l'Initiative Nationale pour le Développement Humain (INDH). Au travers de la nouvelle thématique proposée, il souhaite développer une plate-forme pour la formation et la recherche, ainsi que la commercialisation à terme des équipements concernés par le projet. Quant au partenariat avec le service de Génie électrique, il vise avant tout à permettre de développer l'aspect technique des dispositifs envisagés fonctionnant à l'énergie solaire photovoltaïque, notamment le système de conditionnement de puissance et les commandes associées (suivi du point de puissance maximale, etc.). Lors de la valorisation des acquis du projet, l'équipe belge apportera également son support à la réalisation d'une trentaine d'équipements au Maroc pour l'INDH de la province de Berkane et la mise en place d'une start-up.



Outre des missions ponctuelles d'une semaine permettant le déplacement des partenaires au Maroc et en Fédération Wallonie-Bruxelles, les moyens alloués au projet prévoient deux mensualités annuelles de bourses de recherche en Belgique. Le service de Génie électrique accueillera ainsi prochainement deux doctorants stagiaires marocains affectés au projet qui travailleront sur la modélisation thermique des résistances chauffantes et la conception optimale du système de conditionnement de puissance des équipements de cuisson envisagés.

Enfin, mentionnons qu'en termes de résultats, le projet démarré en janvier 2018 a déjà donné lieu à deux publications en collaboration avec l'équipe MEER de l'opérateur marocain, l'une lors de la conférence ICEMS à Saidia (Maroc) en avril dernier et l'autre dans une revue internationale référencée.

Les composites participent à l'allègement du véhicule pour le concours Shell Eco-Marathon

✉ Dr Adrien Dolimont, Prof. François Ducobu, Clément Dutoit, Service de Génie mécanique



L'allègement de la structure des véhicules, qu'ils roulent ou volent, est aujourd'hui plus que jamais une des principales priorités du concepteur. En effet, les normes d'émissions des moteurs à combustion interne toujours plus strictes et l'augmentation du prix des carburants fossiles induisent un besoin de diminution de la masse pour réduire l'énergie nécessaire à la déplacer.

En comparaison avec les alliages d'acier, les alliages légers tels que ceux d'aluminium et de titane constituent une première réponse à la demande. Les matériaux composites sont de, manière générale, encore plus intéressants quand il s'agit de réduire la masse d'un composant, tout en apportant d'autres avantages comme une orientation aisée du matériau pour mieux résister aux contraintes en service et une excellente résistance à la corrosion. Un matériau composite est le plus souvent constitué de deux matériaux, le renfort (fibre de verre, fibre de carbone, fibre d'aramide, etc.) et la matrice (résine polyester, résine époxyde, etc.), dans le but de profiter de leurs avantages respectifs.

Le secteur aéronautique est un grand consommateur de matériaux composites et, avec le secteur automobile, est une des locomotives dans leur développement. La part des composites dans les avions récents dépasse les 50% (de l'ordre de 53% pour l'Airbus A350 XWB lancé en 2015 par exemple) contre environ 5% pour la génération précédente (Airbus A320 lancé en 1988 par exemple). Cette augmentation rapide de l'utilisation des composites conduit d'ailleurs parfois à des soucis et des retards dans les développements, tels que ceux rencontrés par le Boeing 787 suite à un manque de maîtrise de la conception et de la fabrication d'éléments en composites. La recherche est, par conséquent, très active dans ces domaines à l'heure actuelle.

C'est dans ce cadre que le service de Génie mécanique mène des activités de recherche et d'enseignement en conception et fabrication de pièces en matériaux composites. Le projet européen MachComp (en partenariat avec l'entreprise Sobelcomp et le centre de recherche Cenaero en Belgique et l'Université de Mondragon et l'entreprise Zubiola en Espagne) a pour but de mieux comprendre les phénomènes et d'augmenter la qualité et la productivité de pièces composées de « stacks » (empilement d'un matériau composite et d'un ou plusieurs alliages métalliques) lors de la réalisation de perçages en vue d'un assemblage par rivets. Les techniques de fabrications et de conception de pièces en composites sont enseignées aux étudiants mécaniciens et, plus particulièrement, à ceux de la finalité Conception & Production. Des projets faisant intervenir les matériaux composites sont également proposés aux étudiants dont certains ayant pour objectif principal la légèreté de la conception tel que le concours Shell Eco-Marathon.

Parcourir la plus grande distance possible avec un seul litre d'essence. C'est l'objectif du véhicule Shell Eco-Marathon de la Faculté. Pour y parvenir, il faut alléger au maximum ce véhicule, la masse ayant une grande influence sur la consommation. Au cours de l'année 2017-2018, l'équipe du projet a réalisé un nouveau véhicule en fibres de carbone pour remplacer l'ancien véhicule en aluminium. Pour aboutir à un résultat probant, le projet a été décomposé en différentes phases successives. D'abord, il a été nécessaire de concevoir le véhicule (châssis et coque) à l'aide d'un logiciel de CAO. Après, il a été nécessaire de vérifier la tenue aux efforts du châssis en réalisant des simulations avec un logiciel aux éléments finis. Ensuite, il a fallu procéder à la réalisation d'un master en mousse Polyuréthane. Pour le châssis, les formes étant relativement simples, il a été possible

de réaliser manuellement le master par découpage et ponçage de plaques. Par contre, la forme complexe de la coque a obligé l'emploi d'autres moyens. C'est finalement grâce au robot d'usinage placé dans la halle de Génie Mécanique et programmé par Hoai Nam Huynh, doctorant-chercheur au sein du service de Mécanique rationnelle, dynamique et vibrations et du service de Génie mécanique, que le master a pu être fabriqué. La dernière étape, et non des moindres, a été la réalisation du châssis et de la coque au Campus Automobile de Spa-Francorchamps. En effet, ce campus dispose d'un atelier dédié à la fabrication de pièces en composite, notamment en carbone. Cette mise en œuvre a permis un gain de poids conséquent : ce nouveau véhicule de troisième génération, « 3G », pèse 133 kg alors que l'ancien véhicule pesait 156 kg, le poids de l'ensemble châssis-coque ayant diminué d'environ 40%.

La réalisation de ce nouveau véhicule en une année relève de l'exploit tant la quantité de travail a été importante. La conception et la mise en œuvre du véhicule ont nécessité l'acquisition de nouvelles compétences, notamment pour les matériaux composites. Encore toutes nos félicitations à l'équipe du projet fraîchement diplômée et nos remerciements au personnel technique !





SHELL ECO-MARATHON ÉDITION 2018

☑ Marion Coquelet, jeune diplômée Ingénieur Civil Mécanicienne



Pour la treizième année consécutive, six étudiants de deuxième master en mécanique de la Faculté ont participé au Shell Eco-marathon. Cette édition a marqué un tournant dans l'aventure Shell pour la Polytech puisqu'elle a vu l'arrivée d'un tout nouveau véhicule.

Le Shell Eco-marathon met au défi des étudiants du monde entier de travailler à la réduction de l'impact du parc automobile sur la planète. Chaque équipe fabrique pendant une année son véhicule à consommation minimale. Avec son châssis en aluminium et sa coque en fibre de verre, l'ancien véhicule de la Polytech (le 2G) devenait trop lourd pour être compétitif. Nous avons donc pris le pari de concevoir et fabriquer un véhicule entièrement en carbone (le 3G).

Suite à une formation sur les matériaux composites au Campus Automobile de Spa-Francorchamps, nous sommes attelés à la conception du châssis (la

structure portante) et de la coque (la carrosserie) du véhicule. Pour l'un comme pour l'autre, nous avons ensuite réalisé les moules en mousse polyuréthane au sein du Service de Génie mécanique. Nous sommes retournés au Campus de Spa pour le moulage au carbone. Nous nous sommes alors attelés à fixer tous les composants du véhicule (roues, freins, direction, moteur, etc.) sur le châssis. Fin juin, nous avons enfin terminé la fabrication du véhicule. Ça y était, des années que la « Méca » en parlait, la fameuse 3G avait finalement vu le jour ! Son petit nom : la F-Gus.

La cerise sur le gâteau de ce projet a bien entendu été notre participation au concours début juillet.

Rassemblant près de 5000 étudiants répartis dans 200 équipes, il s'est déroulé pendant une semaine au Parc Olympique de Londres sous un soleil de plomb. Après les derniers réglages, nous avons passé le contrôle technique et nous sommes parvenus à valider un essai en compétition (15 tours de 1 km en moins de 35 minutes).

Bilan de cette année : un véhicule tout en carbone conçu et fabriqué en 10 mois, qui a parcouru 107 km avec un litre d'essence. Existait-il un meilleur moyen de terminer nos cinq années à la Polytech ?

Vers une approche intelligente et à faible énergie consommée pour le traitement d'objets multimédia

☑ Prof. Sidi Ahmed Mahmoudi, Mohammed Amin Belarbi, Service d'Informatique

Traitement multimédia, consommation d'énergie, calcul haute performance

Les algorithmes de traitement d'images et de vidéos sont actuellement utilisés dans un large éventail d'applications liées à la vision par ordinateur, telles que la vidéosurveillance, la reconnaissance de formes, l'imagerie médicale, etc. Cette forte émergence est due principalement à la présence de caméras, de smartphones, de réseaux sociaux ou de dispositifs médicaux permettant de capturer et partager un grand volume de données multimédia. Généralement, ces images et vidéos sont utilisées pour illustrer des personnes ou des objets (voitures, trains, avions, etc.) dans de nombreux cas, tels que des aéroports, des gares, des lieux publics, des événements sportifs et des hôpitaux.

Le principal défi pour ce type d'applications est de gérer de manière efficace l'intensité de calcul

élevée en développant des solutions optimisées via des algorithmes peu énergivores (en consommation) et accélérés (en temps de calcul).

Au service d'Informatique du département d'Informatique et Gestion, nous avons proposé un nouveau modèle de développement permettant aux utilisateurs de sélectionner de manière intelligente et efficace les unités de calcul (CPU ou / et GPU) d'une plateforme matérielle à distance (cloud) pour le traitement d'une image (ou d'une vidéo en temps réel) ou de nombreuses images (ou vidéos). Ce modèle permet d'affecter les unités de calcul locales, embarquées (Figure 1) ou distantes, en fonction de l'analyse du type d'objet multimédia et de la complexité de l'algorithme. La structure dispose d'un ensemble d'algorithmes de vision par ordinateur, implémentés



FIGURE 1

Application	CPU		GPU		Heterogeneous	
	Power (W)	Energy (Wh)	Power	Energy	Power	Energy
Image analysis algorithms						
Color histogram	271.25	0.90	298.12	0.45	---	---
Hu Histogram	234.8	0.50	280.77	0.12	---	---
DFP	298	0.58	299	0.22	---	---
Corners detection	256.8	0.60	310.2	0.49	---	---
Image denoising algorithms	268.2	4.37	290	1.29	---	---
Linear filtering	278.8	0.77	294.6	0.61	---	---
Median filtering	304.6	12.48	390.8	1.30	---	---
Median filtering	241.6	3.88	296.13	0.30	---	---
Cascade filtering	294.2	1.31	292.83	0.09	---	---
Sift descriptor	232.8	6.97	305.2	2.96	---	---
Sift descriptor	280.8	1.15	311.6	0.86	---	---
Optical flow computation algorithms						
Likelihood	223.4	0.60	302.2	0.43	---	---
Fambac	243.6	2.54	282.6	0.76	---	---
hvl	269.8	1.22	312.2	0.85	---	---
Block matching	220.8	0.53	277.4	0.48	---	---
User case applications						
Vehicle recognition	294	294	---	---	232	12
Vehicle detection	207	292	---	---	227	20.2
Event detection	155	35.1	248	3.8	---	---
Event localization	152	22.4	246	1.3	---	---
Vehicle tracking	198	51.6	299	4.2	---	---

FIGURE 2

tés sur processeur central (CPU) et/ou graphique (GPU). Nous avons également proposé une solution embarquée pouvant exploiter les cartes graphiques intégrées (Jetson TX2) pour exécuter plusieurs applications sans devoir recourir à un ordinateur complet.

Les résultats expérimentaux ont montré une vitesse globale de 5 à plus de 250 fois plus rapide que les versions de base implémentées sur CPU. Outre les performances améliorées, les implémentations parallèles et hétérogènes ont offert une consommation d'énergie moindre grâce au traitement accéléré des données (Figure 2).

Le bois, matériau vert-ueux

☒ Prof. Thierry Descamps, Service de Génie civil et Mécanique des structures

L'écoconception telle qu'enseignée dans ses fondements dans l'enseignement de BAB3 Architecture « Ecoconception et matériaux de construction » vise à intégrer dans la démarche de conception architecturale les dimensions sociétales et écologiques. Le secteur de la construction est responsable de près de 40% des déchets produits annuellement en Europe et de 30% des émissions de gaz à effet de serre. Le choix des matériaux en Architecture impacte de manière considérable la qualité environnementale du projet Architectural. La quantification de la valeur environnementale d'un matériau requiert une analyse systémique. Compte tenu de la complexité de la tâche, outils et modèles sont indispensables tant pour pondérer et accorder les divers points de vue (gravité relatives des impacts) que pour garantir la complétude de l'étude.

Contrairement à d'autres matériaux, le bois bénéficie d'un a priori environnemental favorable à son emploi en construction. En plus d'être 100% biosourcé et carbonivore, il est plus léger que les autres matériaux de construction. Bien sélectionné, sa résistance est comparable à celle du béton et, bien qu'il soit combustible, il a une meilleure résistance au feu que l'acier. Au-delà des effets d'annonce, ces réels atouts intrinsèques du bois ne doivent évidemment pas occulter la nécessité d'appréhender la question environnementale dans sa globalité. Le modèle « circuit-court » initialement instauré dans le monde agricole fait aujourd'hui sens dans le secteur de la construction aussi. Il vise tant la réduction des intermédiaires que l'éloignement géographique entre producteurs et consommateurs. L'approvisionnement en bois à l'échelle locale

apparaît désormais comme une évidence dans une démarche d'éco-conception. Et pourtant... Malgré la prise de part de marché de la construction en bois, la production à l'échelle Belge (et Wallonne en particulier) a chuté de 60 000 m³ en 2012 à 35 000 m³ en 2017.

Cette décroissance s'accompagne en parallèle d'une hausse des importations de produits à base de bois alors même que nous disposons d'une ressource locale ! Cette situation n'a pas de sens à l'échelle de l'éco-concepteur. Autre paradoxe, le choix des essences de bois employées en construction. Le choix des essences de bois et par là de leur disponibilité est lui aussi important : est-il pertinent d'employer de l'épicéa en construction si cette utilisation contribue à la déforestation de la planète ? En Wallonie, les feuillus et en particulier le hêtre sont sous-valorisés alors que les ressources locales en épicéa sont surexploitées (le taux de prélèvement annuel de l'épicéa s'élève à 150%). Avec un taux de prélèvement du hêtre de seulement 61%, environ 50 000 m³ de bois sont « abandonnés » chaque année dans les forêts. Tant la surexploitation que la capitalisation excessive d'arbres matures n'ont pas de sens...

Créatif et conscient des enjeux globaux, l'ingénieur Architecte écoconcepteur de la FPMs est un acteur important du développement durable.



Forté building, premier immeuble à appartements en bois, de 32 m de haut, construit à Melbourne : 485 tonnes de bois transformé en Autriche et acheminé dans 29 containers.

Planchers composites CLT – acier : vers une diminution de consommation de matière première

☒ Bertrand Roensmaens



Depuis quelques années, le monde de la construction en bois est en pleine mutation grâce, notamment, à l'arrivée sur le marché du bois lamellé croisé (CLT – Cross Laminated Timber en anglais). La structure de ces panneaux en bois massif permet d'ouvrir la voie à des formes architecturales qui n'étaient pas accessibles à la construction en bois jusque maintenant. De plus, le haut degré de préfabrication de ce matériau permet une grande précision de mise en œuvre et un gain de temps considérable sur le chantier.

Toutefois, le CLT présente aussi un inconvénient majeur : son utilisation comme plancher sur des grandes portées entraîne une surconsommation de matière première au regard du potentiel de résistance du matériau. Pour cette raison, plusieurs études sur l'utilisation de panneaux en CLT comme base de planchers composites ont été réalisées dans différentes universités,

le but étant de diminuer la consommation de matière première et d'élargir les possibilités d'utilisation de ce matériau. A ce sujet, l'Université de Mons n'est pas en reste. En effet, un projet de recherche y est actuellement activement mené afin de proposer une solution de plancher à la fois préfabriqué, fonctionnel et élégant. Ce projet a pour but d'optimiser au maximum le temps de mise en œuvre sur chantier, le poids du

plancher fini et le coût écologique de la solution en minimisant la quantité de matériau utilisée. Le plancher composite prendra ainsi la forme d'un plancher treillis dont les membrures comprimées et tendues sont des panneaux de CLT.

Dans l'optique d'une utilisation responsable des ressources de notre planète, la réduction du coût écologique du transport d'un produit préfabriqué doit également être un objectif dès le stade de la conception de ce produit. Pour atteindre cet objectif, le plancher sera plié pour être transporté jusqu'au chantier où il sera déployé et posé sur le bâtiment. La conception de ce système de pliage-dépliage permettant un transport efficace des éléments constitue un axe principal de l'étude du projet.

La généralisation du CLT dans le bâtiment : réalité de demain ?

Vers un nouveau plancher en bois... le lamellé-croisé chevillé

✉ Luc Sohier

Luc Sohier a effectué un séjour de six mois à l'Université de São Paulo, Brésil, dans le cadre de son travail de fin d'études dédié au développement d'un nouveau panneau de bois lamellé-croisé chevillé.

Depuis toujours, l'homme construit en bois, et de nouveaux produits et techniques sont encore inventés de nos jours. Au début des années 90, un nouveau produit à base de bois s'est ainsi développé : le bois contrecollé (CLT). Celui-ci assemble traditionnellement 3 à 7 couches de planches de bois superposées orthogonalement et collées entre elles par des adhésifs structuraux. Il peut être utilisé comme mur, plancher ou toit, et présente beaucoup d'avantages par rapport à des matériaux traditionnels comme le béton ou l'acier. En plus d'être 100% biodégradable, son faible poids et sa préfabrication permettent de construire haut et en peu de temps, permettant de répondre aux enjeux du XXI^e siècle. Cependant, la colle contenue dans ce produit a un impact non négligeable sur la planète et la santé humaine à cause des molécules qui la composent. De plus, la presse nécessaire pour coller les plis les uns aux autres coûte très cher. Pour ces raisons, un panneau en bois contrecollé où la colle est remplacée par des chevilles en bois a été inventé. En collaboration avec la FPMs, deux de ces panneaux ont été fabriqués et testés à l'université de São Paulo, au Brésil. Le bois utilisé pour les différentes couches était du pin, alors que du Roxinho, une variété de feuillus brésilienne très résistante, a été utilisé pour les chevilles.

L'objectif du travail était de développer des modèles mathématiques permettant de prédire les propriétés mécaniques de tels panneaux utilisés comme planchers et de les valider grâce à des tests expérimentaux. Deux théories ont été proposées et validées en comparant les déformations expérimentales et analytiques. L'étude est prometteuse puisque la portée théorique maximale atteignable pour le panneau 3 plis est de 325 cm contre 530 cm pour le panneau 5 plis. Comparé à du bois contrecollé traditionnel, ses performances structurelles sont légèrement plus faibles mais le bois lamellé-croisé chevillé est un produit 100% à base de bois. De nombreuses questions restent en suspens mais toutes les raisons portent à croire que ce nouveau système structurel a de l'avenir. Le retrouvons-nous dans nos bâtiments dans quelques années ?



L'OCCAUX 21

ATELIER – RECHERCHE – CONSTRUCTION ALTERNATIVE

✉ Nicolas Atle, Service de Génie Architectural et Urbain

Le service de Génie Architectural et Urbain participe à l'événement « Imaginez votre ville », avec le projet « L'OCCAUX 21 » (l'Open Cloud Agency d'Architecture et d'Urbanisme).

L'appel à participations a pour ambition de mettre en place un laboratoire urbain pour la ville de La Louvière. Ce projet vise à occuper l'ancien site des usines de céramique Boch avec des activités et usages innovants en termes de pratiques urbaines, afin de réactiver cette friche et de recréer du lien entre les habitants et ce territoire délaissé.

Plusieurs initiatives ont été retenues: un skatepark, une écoquinguette, un village d'habitat léger, une recyclerie, un laboratoire de recyclage...

L'occupation d'une durée d'un an et demi s'inscrit donc dans une logique d'urbanisme de transition, en menant des dynamiques d'appropriation citoyenne. La démarche se veut véritablement participative et responsable.

Le service de Génie Architectural et Urbain s'est associé à divers professionnels pour constituer une plateforme

de recherche et de construction alternative, dont Jean Garcin, du bureau Karbon'. Cette plateforme permettra d'expérimenter avec les étudiants la mise en œuvre in situ de constructions temporaires à partir de matériaux naturels et de réemploi.

La pédagogie par la construction est un atout pour nos étudiants. L'apprentissage par l'expérimentation est très important dans leurs cursus. Les workshops seront organisés notamment avec la Faculté d'Architecture et d'Urbanisme de Mons, les Arts² de Mons, le centre Kéramis, l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Montpellier et l'Ecole des Arts Visuels de La Cambre à Bruxelles.

Un premier objectif est de permettre à nos étudiants de prendre part à cette démarche collective où les habitants sont inclus dans la fabrique de la ville. Il s'agit également de constituer un réseau de récupération de matériaux pour les réalisations, et de sensibiliser le public et les étudiants à une démarche d'économie circulaire.

À travers les installations et activités réalisées sur le site, ce sera l'occasion de faire se rencontrer les mondes universitaire, professionnel et citoyen. Le projet « Imaginez votre ville » est porté pour la ville par Amaury Vandenhende, piloté par Larissa Peixoto pour l'IDEA et coaché par Marie Godart.

Projets et infos : <https://imaginezvotreville.be/>



Le bâtiment : modélisation, consommation, certification... la thermique en action !



✉ Ali Bagheri, Benoit Liémans, Dr Julien Quinten, Service de Thermique et Combustion

De nos jours, vu la diminution des ressources fossiles et les conséquences climatiques liées aux émissions de gaz à effet de serre (GES), la question énergétique est fondamentale. L'Union Européenne s'est d'ailleurs donné l'objectif d'atteindre la neutralité carbone pour 2050 et de limiter le réchauffement climatique à moins de 2°C d'ici 2100.

En Belgique, plus de 70% de la consommation d'énergie primaire provient de sources fossiles. Le secteur du bâtiment représente près de 40% de la consommation énergétique et a vu ses émissions de GES augmenter de 18% entre 1990 et 2010. Il s'avère prioritaire de diminuer la consommation

énergétique de ce secteur, et les émissions qui y sont liées, en concevant des bâtiments performants.

Il est donc nécessaire de se doter d'outils précis capables de prédire, évaluer ou optimiser la performance énergétique des bâtiments : c'est là que le Service de Thermique et Combustion de l'UMONS intervient ! Différents travaux de recherche y sont menés parmi lesquels on retrouve le développement de modèles simplifiés de ponts thermiques ou de bâtiments entiers afin d'évaluer la consommation et le confort ainsi que les moyens d'évaluer les performances du bâtiment, une fois celui-ci construit.

LA THERMIQUE DU BÂTIMENT SIMPLIFIÉE

Dans la simulation détaillée de bâtiments, une simplification courante est de considérer un flux de chaleur 1-D alors que des détails de l'enveloppe – les ponts thermiques – sont 2-D/3-D. Ces zones peuvent causer de 5% à 40% des pertes de chaleur d'un bâtiment. Si leurs effets dynamiques ne sont pas correctement évalués, cela conduit à des erreurs dans le dimensionnement des systèmes de climatisation et l'évaluation du confort. Nous avons proposé de remplacer ces ponts thermiques par des murs équivalents 1-D ayant le même comportement thermique. La méthode développée et validée permet une meilleure évaluation de la consommation instantanée des systèmes.

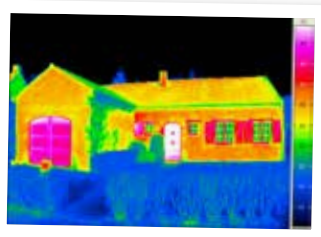
Dans certains cas, une simulation détaillée du bâtiment n'est pas envisageable vu le grand nombre de paramètres à déterminer et à encoder et vu l'incertitude ou l'absence de certaines données. Nous avons proposé un modèle simplifié de bâtiment avec un nombre réduit de paramètres (sept !), qui peuvent être évalués à partir de grandeurs thermiques caractéristiques du bâtiment et de données géométriques. Ce modèle a été testé sur plusieurs centaines de bâtiments et permet, dans une première approche, d'estimer rapidement les besoins en énergie pour assurer le confort avec une erreur globale raisonnable (moins de 25%).

Ces modèles simplifiés sont en cours d'adaptation pour l'étude et la conception de districts complets dans le cadre du projet européen RE-SIZED. Ces districts sont destinés à être autonomes en énergie en partageant des systèmes de production d'énergie renouvelable et de stockage entre plusieurs bâtiments.



INVESTIGUER, COMPARER, AMÉLIORER

Lorsque la construction d'un bâtiment est terminée, il est parfois nécessaire de pouvoir identifier a posteriori des faiblesses de l'enveloppe pouvant nuire à ses performances énergétiques, à son intégrité structurelle ou au confort des occupants d'une manière générale. Une analyse thermographique, étude au moyen d'une caméra captant le rayonnement infrarouge, pourra mettre en évidence et localiser précisément des défauts d'isolation ou d'étanchéité à l'air pouvant occasionner des zones propices à des phénomènes de condensation voire de développement de moisissure ou tout simplement des courants d'air désagréables.



par exemple le certificat PEB, document obligatoire visant à informer un candidat acheteur ou locataire sur les performances énergétiques du bien convoité et de pouvoir éventuellement orienter son choix par comparaison (label énergétique allant de A+++ à G). Pour les propriétaires désireux d'améliorer la performance énergétique de leur bâtiment, ils pourront compter sur l'audit énergétique qui a pour objectif d'étudier l'impact et la rentabilité d'investissements tant au niveau de l'enveloppe que des systèmes.

Pour les bâtiments existants, il est également possible de réaliser des études standardisées plus globales visant à estimer les consommations annuelles spécifiques à un bâtiment. On trouvera

ET ENSUITE ?

Dans le cadre des objectifs vers la neutralité énergétique pour 2050, la Wallonie devra améliorer la performance énergétique de l'ensemble de son parc immobilier de manière extraordinaire afin d'atteindre une consommation spécifique moyenne inférieure à 85 kWh/m².an. Un défi de taille pour les 30 années à venir durant lesquelles il faudra continuer de construire mais surtout de rénover à grande échelle et de façon plus performante.

Que ce soit pour améliorer la précision des simulations dynamiques des bâtiments, pour simplifier des modèles afin de pouvoir réaliser des simulations à des échelles plus importantes ou informer les citoyens et les propriétaires et les guider pour leur permettre d'atteindre au mieux ces objectifs ambitieux, la recherche dans le domaine de l'énergie du bâtiment au sein du laboratoire de thermique n'est pas prête de prendre fin.

BRUIT, VIBRATION ET... ENVIRONNEMENT

EFFET DU BRUIT ET DES VIBRATIONS SUR LE CORPS HUMAIN ET LES BÂTIMENTS



☒ Prof. Georges Kouroussis, Service de Mécanique rationnelle, dynamique et vibrations

Lorsqu'on évoque les nuisances environnementales, on pense premièrement à la pollution (émission de CO₂, de particules fines et/ou nocives). Ensuite, on retrouve la pollution sonore, terme largement répandu et compréhensible d'un point de vue environnement, mais également l'environnement vibratoire, dont voici quelques exemples d'effets négatifs :

- Les vibrations peuvent provoquer toute une série d'effets plus ou moins négatifs chez l'homme, dont les plus connues sont le phénomène de Raynaud (« doigt blanc ») ou des blessures irréversibles au dos dues à des chocs sévères.
- Les vibrations peuvent causer de l'inconfort, comme des sensations de nausée dans les navires (cinétose), dans les trains ou autres véhicules.
- Les vibrations peuvent provoquer de la fatigue et le dysfonctionnement de nos systèmes sensoriels (vue ou écriture).
- Les vibrations peuvent générer du bruit, lui-même désagréable et causant une nuisance d'inconfort.
- Les vibrations peuvent affecter les bâtiments, si bien que des fissures peuvent apparaître après une exposition plus ou moins longue aux vibrations (si ces fissures ne provoquent pas de risques au niveau stabilité et intégrité du bâtiment, elles ont certainement un rôle négatif d'un point de vue esthétique).

Comprendre le phénomène et proposer des solutions requiert souvent l'avis de l'ingénieur. Vous trouverez ci-après un aperçu de cette thématique développée à la FPMs tant dans la recherche que dans les cours.

Au niveau recherche

La principale recherche menée à la Polytech concerne le transport ferroviaire comme source vibratoire et son impact sur son environnement (ndlr : voir le numéro PN53 et l'article concerné du dossier « Ingénieurs et transports »). Outre les mesures et analyses que l'on peut effectuer sur site, la possibilité d'élaborer des modèles numériques permet de prédire et de comprendre le phénomène de propagation des vibrations lors d'un passage de véhicule sur rails, tout en faisant varier différents paramètres pour en déduire la

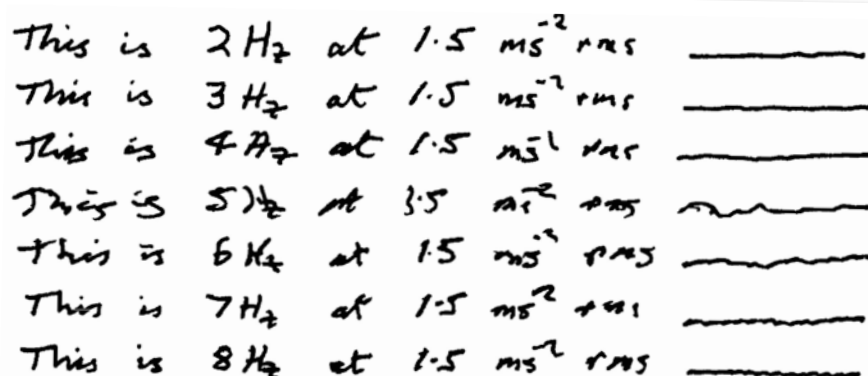


Illustration des effets de la fréquence des vibrations sur l'apparence de l'écriture. Les exemples ont été obtenus en étant assis sur un siège rigide sans dossier et en écrivant sur un presse-papiers « This is X Hz at 1.5 ms⁻² rms » où X est la fréquence des vibrations ressenties (source : M. J. Griffin. Handbook of human vibration. Academic Press, London, 1990). On observe une chute notable de la qualité d'écriture autour des 5 Hz.

sensibilité face aux vibrations ressenties. Des modèles d'interaction sol-structures permettent de quantifier le bruit solide et ainsi de proposer des solutions améliorant le confort des riverains.

“ La possibilité d'élaborer des modèles numériques permet de prédire et de comprendre le phénomène de propagation des vibrations lors d'un passage de véhicule sur rails, tout en faisant varier différents paramètres pour en déduire la sensibilité face aux vibrations ressenties. ”

En parallèle, le projet ARC (Actions de Recherche Concertées) BlaViB est mené depuis trois ans maintenant afin d'étudier l'interaction des tirs de mines avec leur environnement vibratoire. Des équipes de spécialités complémentaires (Services de Géologie fondamentale et appliquée, de Génie minier et de Mécanique rationnelle, dynamique et vibrations) travaillent en étroite collaboration

afin d'analyser en détail la source vibratoire que constitue une explosion dans une carrière dans le but de la modéliser le plus finement possible et de pouvoir déterminer la propagation des ondes vibratoires qu'elle engendre.

À noter enfin la récente acceptation du projet INSPIRE dans le cadre de l'action Marie Skłodowska-Curie Innovative Training Networks 2018 du programme-cadre européen pour la recherche et l'innovation, Horizon 2020. Le projet INSPIRE (innovative ground interface concepts for structure protection) vise à promouvoir une synergie entre ingénieurs, chercheurs et académiques issus d'Allemagne, Belgique, France, Grèce, Italie et Suisse. Le budget alloué (près de 4 millions d'euros) permettra de mettre en œuvre un système holistique et novateur d'éléments dédiés à l'isolation vibratoire de structures pour protéger efficacement celles-ci par rapport aux vibrations induites par le sol, tels que les séismes, les sources liées au trafic routier et ferroviaire et tout autre type d'excitations, y compris le bruit solide à basse fréquence.

Au niveau enseignement

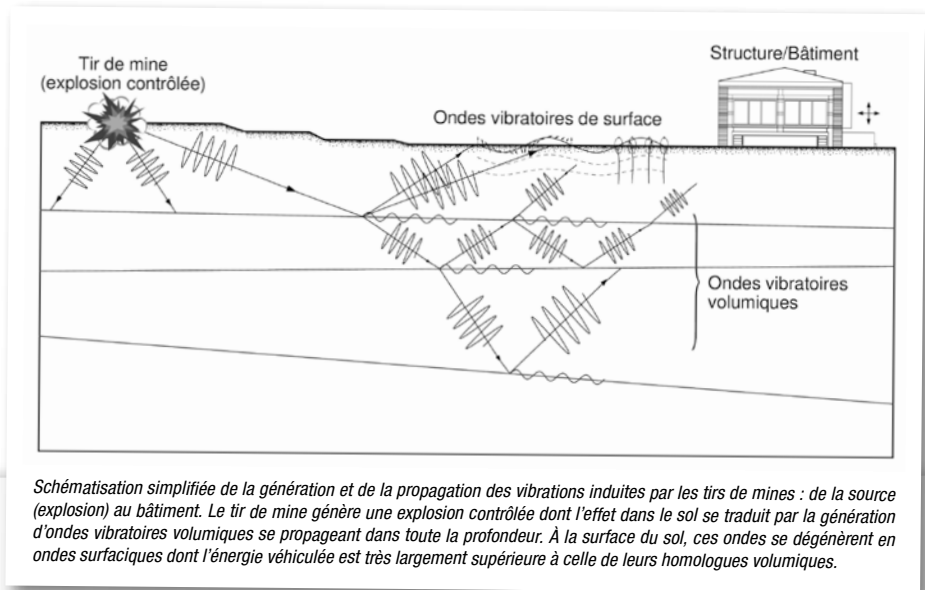
Les cours de vibrations se sont structurés depuis quelques années à la Polytech, permettant la création récente des cours tels que « Engineering Vibration and Structural Analysis » ou « Vibration et environnement ». Si le premier est spécialement dédié aux étudiants ingénieurs civils-architectes,

le second vise à compléter la formation de l'ingénieur civil mécanicien, dans le cadre plus large du module électif « Bruit et Vibration » en MAB2. Ce dernier comprend également le cours de « Bruit des machines » afin de compléter le module. Diverses notions sont ainsi enseignées, allant de l'isolation vibratoire, l'analyse des normes nationales et internationales pour quantifier les gênes vibratoires et sonores, la maîtrise des mécanismes de génération, propagation et perception du bruit dans l'air et des vibrations dans le sol, le tout agrémenté d'exemples concrets tirés des recherches récentes menées dans le Service de Mécanique rationnelle, dynamique et vibrations.

Kevin Ricci,

Ingénieur fraîchement diplômé en 2018,
ayant suivi le module « Bruit et Vibration »

Dans le cadre de mon stage industriel au sein de la firme ArcelorMittal, j'ai dû concevoir une machine permettant d'isoler acoustiquement une poinçonneuse de tôles en acier. J'ai dû alors me confronter à un environnement très bruyant et inconfortable. Celui-ci était totalement différent de ce que j'avais pu connaître auparavant. Pour la première fois, j'ai dû faire face à une véritable démarche d'ingénieur, à savoir : partir d'une feuille blanche dans le but



Schématisme simplifié de la génération et de la propagation des vibrations induites par les tirs de mines : de la source (explosion) au bâtiment. Le tir de mine génère une explosion contrôlée dont l'effet dans le sol se traduit par la génération d'ondes vibratoires volumiques se propageant dans toute la profondeur. À la surface du sol, ces ondes se dégèrent en ondes surfaciennes dont l'énergie véhiculée est très largement supérieure à celle de leurs homologues volumiques.

de pouvoir ressortir une solution au problème de l'industriel. Dans le cadre du module de cours « Bruit et Vibration », j'ai eu l'opportunité de valoriser cette expérience en rédigeant un article scientifique sur ce travail et soumis au congrès international ICSV25 (International Congress on Sound and Vibration) se tenant à Hiroshima au Japon. Le choix m'avait été proposé : afin d'éviter une redondance dans les informations assimilées lors du cours de « Bruit des

machines » (la matière de ce cours avait été déjà abordée lors du stage et donc maîtrisée lors de mon stage), la participation au cours et la note attribuée à la fin reposaient sur la rédaction de cet article scientifique en anglais et intitulé « On the design of an enclosure to minimise noise produced by heavy industrial machines », ce qui m'a permis d'obtenir de nouvelles compétences scientifiques et une publication scientifique diplôme en poche !

Demain en Hainaut : Créathon-Polytech 2018

☒ Arnaud Henrotin, étudiant en 1^{er} Master chimie et science des matériaux



Deux jours pour apporter des solutions innovantes et concrètes aux défis contemporains dans le Hainaut, tel était le défi lancé aux 3^e bacheliers en mars dernier pour l'édition 2018 du Créathon-Polytech.

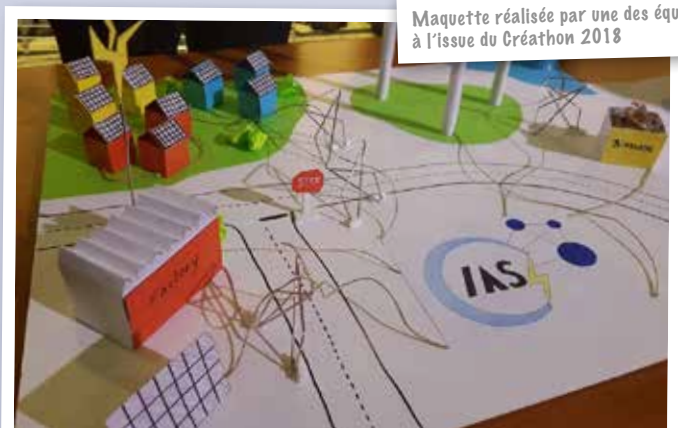
Les jeudi 22 et vendredi 23 mars 2018 a eu lieu le Créathon-Polytech, une activité proposée aux étudiants de 3^e bachelier de la Faculté polytechnique de Mons mêlant innovation, créativité et développement durable, le tout encadré par une équipe de professeurs, mais aussi de « coachs » (étudiants suivant le Master Ingénieurs Civil en informatique et gestion).

Le Créathon et, plus particulièrement, sa thématique fut introduite la veille de son commencement par un ciné-débat où les étudiants étaient conviés à participer. Le film documentaire « demain » réalisé par Cyril Dion et Mélanie Laurent fut projeté : celui-ci aborde les problèmes environnementaux et sociétaux de notre société et propose plusieurs exemples d'initiative de par le monde. Ce ciné-débat permit d'introduire le thème du Créathon : trouver des solutions aux objectifs de développement durable proposé par l'ONU et, plus particulièrement, pour la région du Hainaut.

Le marathon créatif commença le jeudi matin au Mundaneum, un espace d'exposition temporaire montois. Une présentation sur l'intelligence artificielle et le deep learning fut donnée par le Prof. Dutoit afin de présenter cet outil que nous devrions utiliser

afin de trouver des solutions aux objectifs de développement durable de l'ONU. 15 groupes pluridisciplinaires d'étudiants furent formés pour chercher à améliorer notre monde en deux jours. Chaque groupe fut coaché par un étudiant de master afin d'initier le processus créatif entre les étudiants de 3^e bachelier. Celui-ci avait pour but de proposer des techniques de brainstorming, ainsi que d'aider à la mise en avant du projet et à la réalisation de la communication autour de celui-ci.

Le Créathon se conclut le vendredi par une présentation des différentes idées de chaque groupe. Maquettes et posters étaient au rendez-vous pour défendre ses idées. Différents prix furent remis pour récompenser l'innovation et la créativité des différents groupes. Cette activité a permis aux jeunes ingénieurs de se sensibiliser par rapport à notre monde et le rôle qu'il ont à y jouer.



Maquette réalisée par une des équipes à l'issue du Créathon 2018

VACHES, PÂTURAGE ET ENVIRONNEMENT

☒ Olivier Debauche, Prof. Saïd Mahmoudi, Service d'Informatique

Recherches menées en étroite collaboration avec les Profs. Jérôme Bindelle et Frédéric Lebeau (GxABT – ULiège)

Comme nous le savons tous, le secteur laitier est en difficultés. Un des moyens d'améliorer la rentabilité de ce secteur est d'augmenter le temps de pâturage des vaches laitières. En effet, une vache au pâturage ne coûte rien à l'agriculteur.

ETHOLOGIE ET PRAIRIE

Les prairies sont de plus en plus éloignées des sièges d'exploitation des fermes ce qui engendre de facto des problèmes liés à la surveillance des animaux mis au pâturage. Ces problèmes peuvent être de différentes natures : animaux en détresse (par exemple : embourbement), chaleurs non détectées (pertes économiques liées à la non fécondation), animaux malades (éventuellement décès liés au non traitement ou à une détection tardive), ...

L'analyse comportementale des animaux à l'aide de dispositifs électroniques permet aux éleveurs d'être prévenus lorsqu'un problème survient et de réagir rapidement. Ces dispositifs sont généralement des boîtes noires détenues par des sociétés commerciales et dont les données brutes ne sont que rarement accessibles. L'agriculteur ne recevant que des indicateurs ou des alertes ; cela engendre un manque de visibilité sur la manière dont les données sont traitées et éventuellement réutilisées à d'autres fins, cédées ou vendues par ces sociétés commerciales. La nécessité de développer une solution ouverte se faisait cruellement sentir.

DES IPHONES ET DES VACHES

Dans le cadre des recherches menées conjointement en Smart Agriculture entre la Faculté Polytechnique de l'UMons et Gembloux Agro Biotech de l'ULiège, un prototype d'acquisition des données comportementales a été réalisé à partir d'iPhone 4S recyclé. Les iPhones ont été implantés sur le cou des vaches car ils sont équipés d'une centrale inertielle suffisamment précise pour mesurer les mouvements des vaches et intrinsèquement leurs différents comportements. En effet, la centrale inertielle des iPhones mesure 15 paramètres et en calcule 26 autres. Cette preuve de concept, réalisée à l'aide d'iPhones 4S recyclés a permis de collecter 41 informations à une fréquence de 100 Hz sur 19 vaches réparties dans 4 troupeaux différents et de constituer une base de données. Le croisement des données collectées avec les images vidéo (annotées) des vaches a servi à l'établissement des algorithmes d'identification des comportements

liés aux ranges de variation des paramètres mesurés par la centrale inertielle de l'iPhone. Les iPhones recyclés et reconditionnés ont été choisis car c'est un produit largement disponible dans le monde entier, d'emploi intuitif, à coûts réduits.

Pendant, les algorithmes établis sont spécifiques aux vaches de nos régions et ne sont pas représentatives des conditions environnementales qui peuvent être rencontrées dans d'autres régions du globe ou des autres races de vaches. C'est la raison pour laquelle la collecte massive de données variées provenant du monde entier, associant différents types de vaches et de milieux est nécessaire afin d'établir de nouveaux algorithmes d'analyse comportementale et de les valider sur de grands ensembles de données.

DES VACHES DANS LE NUAGE

La collecte, le stockage et le traitement de grandes quantités de données (1,2 Go/vache/jour) nécessitent de déployer une infrastructure spécifique qui soit tolérante aux pannes et capable d'accepter des données arrivant à grande vitesse (100 Hz) à un débit important. Une solution « cloud » a été ainsi proposée et comporte :

- (1) Une architecture cloud de type Lambda qui permet le traitement de grandes quantités de données transmises sous forme de flux par les colliers connectés.
- (2) Une plateforme d'hébergement d'applicatifs conçue spécifiquement pour cette application et basée sur Apache Mesos, un gestionnaire de cluster Hadoop. L'architecture Lambda a été développée pour ingérer de grandes quantités de données rapidement. Tandis qu'Apache Mesos permet une utilisation fine et efficiente des ressources du cluster et offre également la possibilité d'utiliser de nombreux cadres (frameworks), les technologies de containerisations et de déploiement continu permettent aux équipes de chercheurs de déployer et tester leurs modèles sur de grands ensembles de données.

LES VACHES ET L'ENVIRONNEMENT

L'identification des principaux comportements des vaches laitières et le recours à des technologies de reconstruction 3D sur base d'images multispectrales acquises à l'aide de drones permettent d'identifier les comportements individuels de chacun des individus ainsi que leurs préférences en matière de consommation d'herbus. L'étude des relations des vaches avec la prairie et leur environnement permet



« L'analyse comportementale des animaux à l'aide de dispositifs électroniques permet aux éleveurs d'être prévenus lorsqu'un problème survient et de réagir rapidement. »

d'optimiser les mélanges d'espèces à semer au sein des prairies pour prolonger les durées de pâturage. L'étude de ces relations permet également d'éviter le surpâturage et ses conséquences en matière d'érosion et d'appauvrissement des sols. La gestion optimisée des rotations de pâturage des troupeaux, c'est-à-dire les changements de prairies, permet d'optimiser leur régénération et, par conséquent, d'améliorer la production de matière végétale fraîche disponible pour les bovins. Ces nouvelles manières de conduire les troupeaux au pâturage permettront aux agriculteurs d'améliorer la rentabilité de leurs élevages et de donner un nouveau souffle à un secteur en agricole en difficultés.

EN SAVOIR PLUS :

<https://doi.org/10.1007/s12652-018-0845-9>

LA DÉPERDITION DES ABEILLES, LE SOS D'UN ENVIRONNEMENT EN DÉTRESSE

☒ Olivier Debauche, Prof. Saïd Mahmoudi, Service d'Informatique

Les abeilles sont des indicateurs de l'état de santé de l'environnement et, plus particulièrement, des insectes pollinisateurs. Ces derniers jouent un rôle crucial dans la production agricole ainsi qu'en arboriculture et leur disparition impactera, à très court terme, l'équilibre des écosystèmes tout en remettant en question nos systèmes de productions agricoles.

Les abeilles menacées

La disparition massive des abeilles à miel domestiques (*Apis mellifera* L.) est un phénomène complexe provenant de la combinaison et / ou de la conjonction de facteurs multiples tels que certains fongicides qui renforcent la toxicité des pyréthroides et néonicotinoïdes, parasites (*Varroa Destructor Anderson & Trueman*) avec un impact clair sur la santé des insectes pollinisateurs. À cela, s'ajoutent les prédateurs naturels : frelons européens (*Vespa crabro* L.), ours, souris, araignées, reptiles, amphibiens, pics verts, etc. et l'apparition récente de nouvelles menaces : frelons asiatiques (*Vespa velutina Lepeletier*), coléoptères (*Aethina tumida Murray*), etc. Les parasites, parasitoïdes et les pathogènes (protozoaires, champignons, bactéries, virus) atteignent des abeilles déjà affaiblies par la conjonction des facteurs précités et les rendent d'autant plus vulnérables.

Les ruches connectées

Face à la disparition massive des insectes pollinisateurs, un suivi des colonies à grande échelle est devenu indispensable pour suivre l'évolution des différentes menaces qui affectent leur état de santé. Nous avons proposé, dans le cadre de nos recherches, un système de monitoring composé d'une station météorologique implantée au niveau du rucher et d'un dispositif de monitoring installé directement dans la ruche.

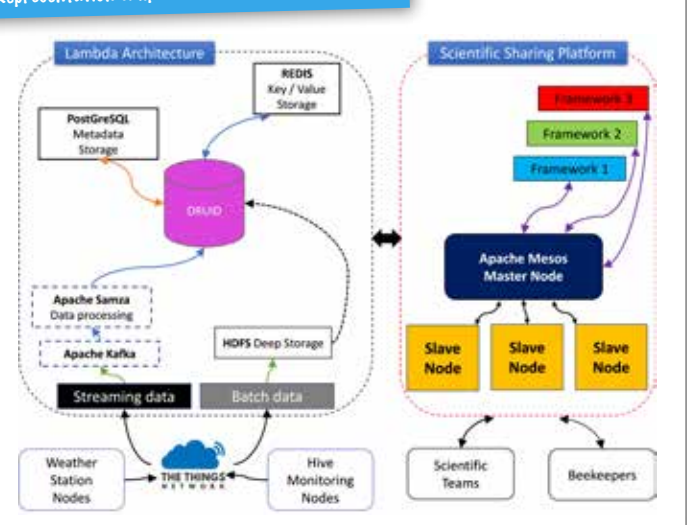
La station météorologique a été conçue à l'aide d'un microcontrôleur FiPy (PyCom), facile à programmer en micro Python et qui supporte plusieurs protocoles de communication (Wi-Fi, LoRa, Sigfox, NB-IoT, CAT-M1), ce qui lui permet de s'adapter en fonction de la disponibilité des réseaux. Les données de température, humidité relative, pression atmosphérique, vitesse et direction du vent et pluviométrie sont collectées toutes les 15 minutes. La température et l'humidité relative de l'air sont mesurées par un capteur AM2315 (Aosong) avec, respectivement, une précision de $\pm 0,1^\circ\text{C}$ et $\pm 2\%$. La pression atmosphérique est mesurée à l'aide d'un capteur Bosch SensorTec BMP280 précis à ± 1 hPa. La vitesse du vent et sa direction ainsi que la pluviométrie sont mesurées à l'aide d'un dispositif Argent Data Systems.

Ces données sont transmises à l'aide du protocole LoRaWan qui autorise l'envoi de 140 messages par jour vers une passerelle LoRa / 4G. Les données sont ensuite acheminées vers une architecture cloud Lambda unifiée. Ce type d'architecture est capable de traiter de grands volumes de données en quasi temps réel, et de les stocker en moins d'une seconde. Les données sont rapidement intégrées

au niveau de la base de données et restent disponibles pour les applicatifs qui les exploitent.

Le système de monitoring en ruche est également conçu autour d'un microcontrôleur FiPy (PyCom) et est équipé d'une sonde température AM2315 (Aosong) I²C qui mesure la température et l'humidité relative de l'air de la ruche avec respectivement une précision de $\pm 0,1^\circ\text{C}$ [-20 - 80°C] et de $\pm 2\%$ [0-100%]. Tandis que 4 capteurs SHT35 (Sensirion) mesurent la température directement au cœur du couvain avec des précisions respectives de $\pm 0,1^\circ\text{C}$ [20-60 $^\circ\text{C}$] et $\pm 1,5\%$ [0-80%]. Ces capteurs implantés entre les cadres de couvain sont protégés par des cages utilisées pour l'expédition postale des reines. Ces cages perforées empêchent les abeilles d'être directement en contact avec les capteurs de température et de les recouvrir de propolis et de cire. Les mesures de température au sein de la ruche permettent de suivre le développement de la colonie, l'activité des abeilles au sein de la ruche et le déplacement de l'essaim à l'intérieur de la ruche. La qualité de l'air au sein de la ruche est mesurée par un capteur BME680 (Bosch Sensortec) qui mesure le taux de monoxyde de carbone et d'éthanol avec respectivement une précision de 2 et 5%. Finalement, un capteur LSM303DLHC mesure les vibrations et les mouvements de la ruche. Le dispositif est installé dans un boîtier IP67

Représentation simplifiée de l'architecture Lambda



placé dans la hausse de la ruche. Les données individuelles de chaque ruche sont envoyées par LoRaWan et ensuite via la passerelle LoRa / 4G à l'architecture Lambda (Figure 1).

Le suivi dans le cloud

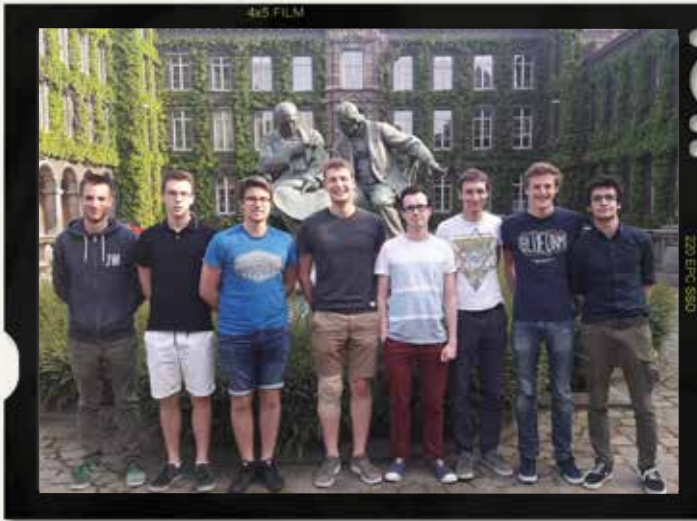
Les données acheminées vers le cloud sont mises en file d'attente par un service de messagerie (Apache Kafka) avant d'être ingérées et traitées en temps réel (Apache Samza). Les données sont ensuite stockées dans une base de données distribuées de manière temporaire avant d'être stockées en permanence. Toute la difficulté réside dans le fait que les données doivent rester accessibles durant les différentes étapes de traitement pour pouvoir répondre aux requêtes dans des délais rapides n'excédant au plus que quelques minutes. Les architectures Lambda sont conçues spécifiquement pour traiter rapidement de grandes masses de données. Cette architecture cloud est pourvue de deux voies de traitement : l'une traite en temps réel les flux de données et l'autre branche traite les données en lots.

POUR EN SAVOIR PLUS :
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.103>

Le projet de deuxième bachelier, quels en sont les enjeux ?



☒ Quentin Campeol, étudiant en 3^e Bachelier



Au cours de la deuxième année de Bachelier, un projet sociétal est proposé aux étudiants. Cette année, l'automobile fut choisie comme thème.

A peine ma troisième année au sein de la Faculté commencée que voici pour moi l'occasion de revenir sur le projet de deuxième bachelier. Celui-ci débuta en février de l'année passée pour se terminer fin mai lors d'une journée de défense devant les professeurs.

De manière générale, l'automobile est un secteur dans lequel les ingénieurs travaillent d'arrache-pied pour que chaque partie qui compose le véhicule soit à la pointe de la technologie. Dès lors, il ne faut pas considérer la voiture comme un tout mais comme un ensemble de technologies complexes. Ce principe nous a permis de démarrer le projet de deuxième année puisque chaque équipe a donc choisi un composant ou une technologie de l'automobile.

Pour ma part, j'ai fait partie d'une équipe qui travaillait sur les phares quand d'autres ont choisi de travailler sur l'aérodynamisme, le système de refroidissement, etc. Nous avons imaginé puis conçu un prototype de phares semi-automatiques, en ce sens que la zone éclairée s'ajustait d'elle-même suivant les obstacles qui surgissaient devant le véhicule. Notre phare se mouvait donc automatiquement de façon verticale et le mouvement latéral était quant à lui guidé mécaniquement par la rotation d'un volant.

Notre envie de développer ce prototype était forte mais elle n'a néanmoins jamais affecté son aspect environnemental. Nous avons mis un point d'honneur à ce que notre prototype soit recyclable en utilisant du bois pour sa structure. Nous ne l'avons pas peint et tout l'électronique qui le composait, était facilement réutilisable. Notre projet avait également de grands enjeux sociétaux, lorsque vous conduisez de nuit, vous ne voyez pas toute la route ce qui peut être très dangereux. A contrario lorsque vous mettez vos grands phares, vous risquez d'éblouir d'autres usagers.

Pour toutes ces raisons, le projet fut une belle expérience qui a permis à chacun de s'investir à sa manière pour proposer un prototype original et abouti.

Best Research Paper à Imperial College pour les travaux du Génie Minier sur les craies

Les 17 et 18 septembre 2018, la conférence internationale « Engineering in Chalk » s'est tenue à Imperial College à Londres. Avec plus de 350 participants et une centaine d'articles édités dans un volume spécial de la Geological Society, cet événement organisé par la British Geotechnical Association a rencontré un franc succès et traduit le besoin pour les géotechniciens, ingénieurs géologues et hydrogéologues de partager leurs connaissances autour de ce matériau qui fait l'objet de multiples applications et ouvrages dans tout le Nord-Ouest européen : infrastructures, carrières, exploitation d'hydrocarbures, éolien off-shore, stabilité de falaises, etc.

Le service de génie minier était impliqué dans l'organisation de l'événement, avec la thématique des essais de laboratoire et in situ gérée par Fanny Descamps. En effet, le service

a une longue expérience dans l'étude des craies. Ces dernières années, les recherches se sont focalisées sur les relations entre la géologie et la géomécanique des craies avec la thèse d'Ophélie Faÿ-Gomord (2017). Elles ont été primées en 2017 par l'European Association of Geoscientists and Engineers (Prix Louis Cagnard).

Lors d'Engineering in Chalk, la multi-disciplinarité des travaux a été récompensée par le prix du meilleur article de recherche pour la publication "Tight chalk: how does microtexture control petrophysical and geomechanical properties? The effect of clay flakes and calcite cements". Ce travail est le fruit d'une collaboration entre la KULeuven, Total et l'UMONS, avec pour auteurs Ophélie Faÿ-Gomord, Fanny Descamps, Jeroen Soete, Sara Vandycke, Jean-Pierre Tshibangu et Rudy Swennen.



Martin Preene, président de la conférence, avec Sara Vandycke et Fanny Descamps



Caractérisation de quelques sites latéritiques du Burkina Faso : application à l'élimination de l'arsenic (III) et (V) dans les eaux souterraines

✉ NOM: Dr Corneille Bakouan
 SERVICE: Génie des procédés chimiques et biochimiques
 PROMOTEUR: Prof. Anne-Lise Hantson, Prof. Boubié Guel (thèse en co-tutelle avec l'Université Ouaga I, Burkina Faso)

Des latérites naturelles du Burkina Faso ont été caractérisées par diverses méthodes physicochimiques (DRX, FTIR, analyses chimiques élémentaires, MEB, ...) et mises en œuvre pour l'élimination de l'arsenic en solution. Les effets de dose d'adsorbant, du pH et de la concentration initiale sur l'adsorption de l'arsenic ont été étudiés dans des expériences en batch. Pour une concentration de 5 mg/l et une dose d'adsorbant de 15 g/l (pH neutre), les taux d'élimination de l'As(III) et As(V) sont supérieurs à 98%. Les études des résidus après adsorption de l'arsenic montrent que l'adsorption sur la surface se fait principalement par échange de ligands. L'interférence par les anions en solution, sur le taux d'élimination n'est due qu'aux ions bicarbonates. Des essais de percolation en colonne menés se sont avérés concluants et démontrent l'opportunité d'utiliser ce matériau pour traiter les eaux naturelles polluées localement.

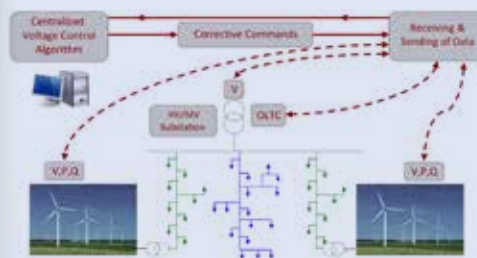


Centralized Control of Voltage in the MV Distribution Systems under Deterministic to Uncertain Mode

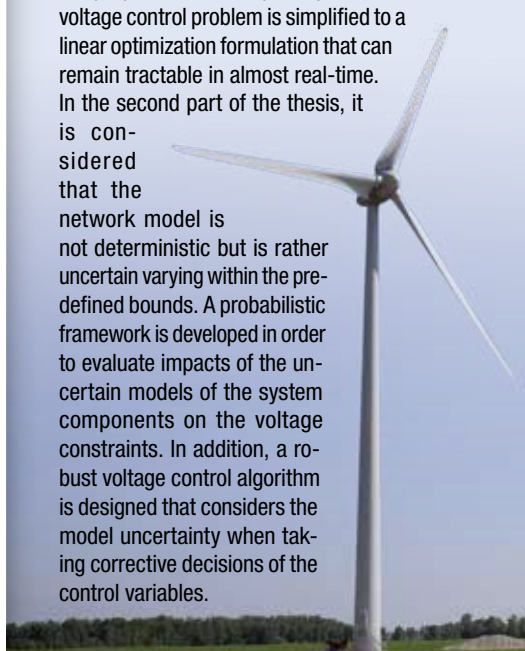


✉ NOM: Dr Bashir Bakhshideh Zad
 SERVICE: Physique générale
 PROMOTEUR: Prof. Jacques Lobry

The massive integration of Distributed Generation (DG) units in the electric distribution systems has created serious technical challenges for the distribution system operators including the voltage rise and local congestion problems. In order to deal with such arising issues, the conventional passive manner of the distribution network management based on the fit-and-forget policy is being replaced by the Active Network Management (ANM) schemes aiming at operating network in a safe and cost-effective way by taking advantage of the real-time communication and optimal control of the available devices. This thesis addresses the voltage control problem of the medium-voltage distribution systems under deterministic to uncertain model.



Inspired by the ANM framework, in the first part of the thesis, a centralized sensitivity-based voltage control approach is developed which manages the transformer tap position and DG active and reactive powers in order to maintain the node voltages and branch currents within their permitted limits. The sensitivity analysis determines impacts of the control variables on the operational limits of the system. Thanks to the information provided by the proposed sensitivity analysis methods, the voltage control problem is simplified to a linear optimization formulation that can remain tractable in almost real-time. In the second part of the thesis, it is considered that the network model is not deterministic but is rather uncertain varying within the pre-defined bounds. A probabilistic framework is developed in order to evaluate impacts of the uncertain models of the system components on the voltage constraints. In addition, a robust voltage control algorithm is designed that considers the model uncertainty when taking corrective decisions of the control variables.



Etude de l'impact de sollicitations cycliques au sein d'aquifères non confinés, à différentes échelles

Applications à des systèmes de pompage – turbinage en carrières

✉ NOM: Dr Angélique Poulain
 SERVICE: Géologie fondamentale et appliquée
 PROMOTEUR: Prof. Pascal Goderniaux



Dynamic modelling of Anaerobic Digestion processes

✉ NOM: Dr Giannina Giovannini
 SERVICE: Automatique
 PROMOTEUR: Prof. Alain Vande Wouwer



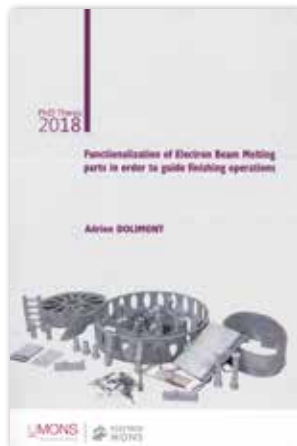
Stochastic optimization of Virtual Power Plants participating in electricity markets: from forecasting to decision-making

☒ NOM: Dr Jean-François Toubeau
 SERVICE: Génie électrique
 PROMOTEUR: Prof. François Vallée
 (thèse réalisée dans le cadre du projet Smartwater, piloté par Multitel)

Dans le contexte actuel d'intégration d'énergies renouvelables (principalement éolien et photovoltaïque en Belgique) à caractère fortement volatile, le stockage a une place prépondérante à jouer dans le maintien de la stabilité du réseau grâce à son apport de flexibilité (capacité à ajuster bi-directionnellement sa puissance de sortie). En particulier, le turbinage-pompage hydraulique représente une filière très importante de la problématique de par sa robustesse et maturité technologique. De plus, de telles stations n'émettent pas de gaz à effet de serre et sont totalement démontables en fin de vie.

En Wallonie, afin de réduire le coût initial de construction, il est envisagé de récupérer des sites géologiques spécifiques tels que d'anciens sites carriers où miniers afin de les exploiter comme réservoirs naturels.

Ces configurations présentent néanmoins des contraintes inédites et complexes d'un point de vue mathématique (dû aux non-linéarités qui en découlent) qu'il est primordial de considérer lors de leur utilisation. Dans ce contexte, ce doctorat avait pour but de développer des outils d'aide à la décision afin de maximiser la valorisation économique de telles unités en tenant compte de leurs spécificités et du cadre de régulation belge.



Functionalization of Electron Beam Melting parts in order to guide finishing operations

☒ NOM: Dr Adrien Dolimont
 SERVICE: Génie mécanique
 PROMOTEUR: Prof. Edouard Rivière-Lorphèvre



The study of mechanisms of galvanic corrosion between aeronautical structural parts and its control applying local electrochemical techniques

☒ NOM: Dr Leonardo Bertolucci Coelho
 SERVICE: Science des Matériaux
 PROMOTEUR: Prof. Marjorie Olivier



Space and Hadron Therapy Dosimetry with Luminescent Detectors: Microdosimetric Modeling and Experimental Measurement

☒ NOM: Dr Alessio Parisi
 SERVICE: Electromagnétisme et Télécommunications
 PROMOTEUR: Prof. Patrice Mégret



Replacement of Lead stabilizer in electroless Nickel-Boron baths: New composition of green baths with properties characterization

☒ NOM: Dr Luiza Bonin
 SERVICE: Métallurgie
 PROMOTEUR: Prof. Fabienne Delaunois





Modélisation dynamique et commande d'une extrudeuse bi-vis pour la confection de pilules à usage thérapeutique

☒ NOM: Dr Jonathan Grimard
 SERVICE: Automatique
 PROMOTEUR: Prof. Alain Vande Wouwer

Expert Gesture Analysis through Motion Capture using Statistical Modeling and Machine Learning

☒ NOM: Dr Mickaël Tits
 SERVICE: Théorie des Circuits et Traitement du Signal
 PROMOTEUR: Prof. Thierry Dutoit

Projection on moving and deformable objects

☒ NOM: Dr Radhwan Ben Madhkour
 SERVICE: Théorie des Circuits et Traitement du Signal
 PROMOTEUR: Prof. Bernard Gosselin

Catalytic Conversion of CO₂ coming from Cement Kilns Flue Gases into Methanol: Optimization of the Overall Process

☒ NOM: Dr Nicolas Meunier
 SERVICE: Thermodynamique et Physique mathématique
 PROMOTEUR: Prof. Guy De Weireld

La réduction des émissions anthropogéniques de CO₂ provenant de l'industrie, et plus particulièrement de l'industrie cimentière, est primordiale dans les années à venir afin de limiter le réchauffement climatique à moins de 2°C d'ici la fin du siècle. En conséquence, cette thèse, réalisée dans le cadre de la Chaire Académique ECRA (European Cement Research Academy) a pour objectif d'étudier la chaîne complète de capture et de conversion catalytique du CO₂ en méthanol, considéré comme une des voies de conversion les plus prometteuses dans le cadre des technologies « Carbon Capture and Utilization (CCU) ».

De fait, des études thermodynamiques et cinétiques ont été effectuées afin de mettre en lumière l'importance des limitations thermodynamiques sur cette conversion ainsi que les mécanismes cinétiques et phénomènes de désactivation relatifs aux catalyseurs utilisés. Un catalyseur innovant de type CuO/ZnO/ZrO₂ a également été développé en collaboration avec l'Ecole Européenne de Chimie, Polymères et Matériaux (ECPM) de Strasbourg pour la conversion de CO₂ pur en méthanol.

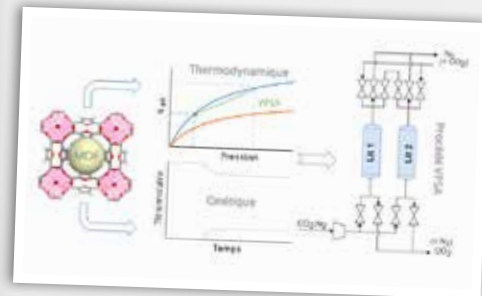
La chaîne complète de conversion du CO₂, de sa capture à sa conversion, a aussi été étudiée dans sa globalité et les paramètres opératoires optimisés en considérant diverses intégrations internes et externes.

Finalement, l'analyse environnementale souligne le haut potentiel de ce procédé alternatif grâce à une réduction de plus de 50% des émissions de CO₂ comparé à la voie classique de production de méthanol à partir du vaporeformage du méthane.

Etudes thermodynamique et cinétique d'adsorption du CO₂ sur des Metal-Organic Frameworks : évaluation des performances pour la capture du CO₂



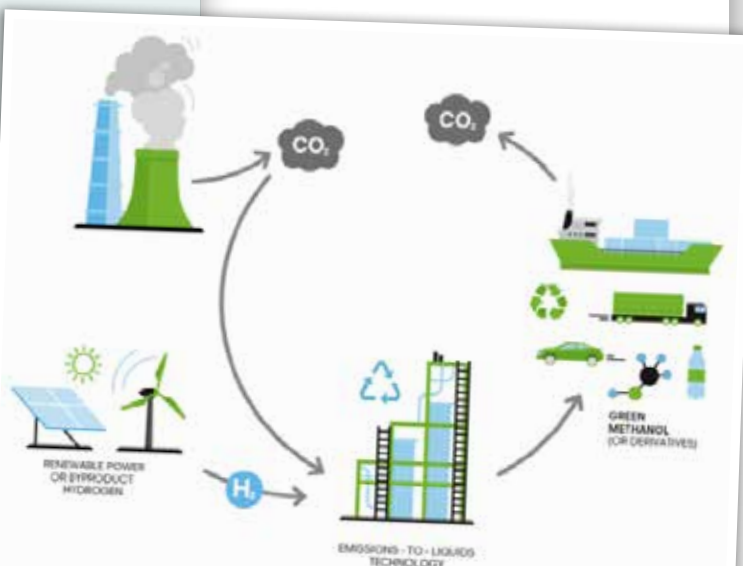
☒ NOM: Dr Périne Normand
 SERVICE: Thermodynamique et Physique mathématique
 PROMOTEUR: Prof. Guy De Weireld



Cette thèse s'inscrit dans le contexte de la capture du CO₂, issu d'une fumée de combustion, par adsorption sur des solides hybrides poreux appartenant à la classe des Metal-Organic Frameworks (MOFs).

Ce travail présente la méthodologie mise en place pour évaluer les propriétés thermodynamiques d'adsorption de différents matériaux (onze MOFs sous forme de poudre, quatre MOFs mis en forme et un benchmark commercial) pour la capture du CO₂ afin de réaliser un classement sur base de différents facteurs de sélection. Ensuite, la mesure de courbes de percée et leur modélisation ont été réalisées afin d'étudier la diffusion du mélange gazeux dans les matériaux mis en forme. Sur base des études thermodynamique et cinétique, la modélisation d'un procédé VPSA/PSA complet a pu être réalisée, ce qui a permis l'évaluation des performances de trois matériaux mis en évidence par les facteurs de sélection.

Sur base de cette étude et des résultats obtenus, les procédés basés sur l'adsorption sont bien une alternative au procédé de capture de référence (absorption). En effet, le benchmark choisi, la zéolithe 13X, a permis d'atteindre les critères de performance fixés pour la capture du CO₂ avec une consommation énergétique nettement inférieure à celle du procédé de référence. Au niveau des MOFs étudiés, le MIL-160 (Al) présente des performances prometteuses malgré une sélectivité plus faible que celle de la 13X.





Uncertainty Quantification for Robust Design of Axial Compressors

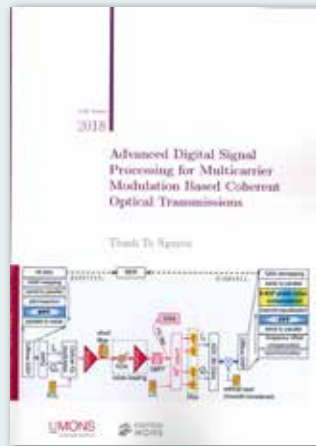
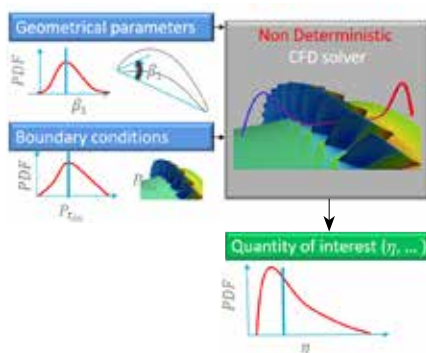
☒ NOM: Dr Rémy Nigro
 SERVICE: Fluides-Machines
 PROMOTEUR: Prof. Grégory Coussement



One of the major challenge of the aeronautical industry is to reduce the fuel consumption while decreasing the manufacturing costs. The main task of an aircraft engine designer is to find a trade-off between these two antagonist objectives. This difficult task can be tackled by quantifying the impact of the manufacturing tolerances on the engine performances.

The aim of this thesis is to provide a user friendly tool to help designers in this task. The first step is to determine the variability of the performances regarding the manufacturing tolerances. Once this step is accurately tackled, the design optimization can be performed. This improvement can be achieved in two different ways. On the first hand, the geometry can be modified to minimize the variability of the performance (robust design). On the other hand, the tolerance can be maximized while keeping a minimal performance (inverse robust design).

The methodology developed during this thesis can be easily extended to various test cases. Indeed, even if it was mainly tested on axial compressors, it has been successfully applied to other fluid dynamics and structural analysis cases. This extension is facilitated thanks to its integration in a user-friendly GUI software.



Multicarrier Modulations and Advanced Digital Signal Processing for Coherent Optical Transmission

☒ NOM: Dr Tu Thanh Nguyen
 SERVICE: Electromagnétisme et Télécommunications
 PROMOTEUR: Prof. Patrice Mégret

The thesis first gives a numerical demonstration of multicarrier modulation (MCM) applications for realizing next generation transponders (terabit-per-second scale). Two potential candidates among MCM, i.e. orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) and filter bank multicarrier (FBMC), are taken into account for performance evaluations and comparisons. Nonetheless, multicarrier signals have several issues such as their susceptibility to phase noise (PN) and fiber nonlinear effects. To overcome the PN problem, several low complexity and high performance digital signal processing (DSP) algorithms are proposed for both OFDM and FBMC-based transmissions, followed by intensively numerical and experimental demonstrations. One chapter of the thesis is dedicated to fiber nonlinear mitigation technique for OFDM-based systems by employing support vector machine. Compared to other existing techniques, these above-mentioned DSP proposals provide superior performances and/or lower complexities. Thus, they should be considered while designing next generation optical network.

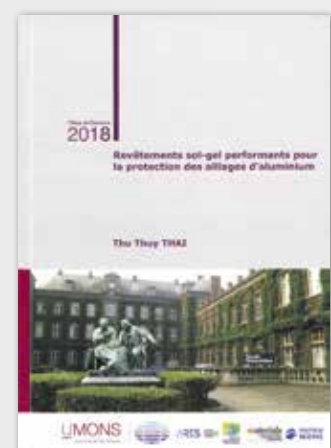
Multiscale modeling of the atmospheric boundary layer: Mesoscale/ microscale coupling

☒ NOM: Dr Orkun Temel
 SERVICE: Fluides-Machines
 PROMOTEUR: Prof. Laurent Bricteux
(thèse en collaboration avec l'institut von Karman)



Dynamic metabolic flux convex analysis of animal cell cultures

☒ NOM: Dr Sofia Afonso Fernandes De Sousa
 SERVICE: Automatique
 PROMOTEUR: Prof. Alain Vande Wouwer



Revêtements sol-gel performants pour la protection des alliages d'aluminium

☒ NOM: Dr Thu Thuy Thai
 SERVICE: Science des Matériaux
 PROMOTEUR: Prof. Marjorie Olivier

Building concrete collaborations in China: a journey of a thousand miles begins with a single step

✉ Prof. Pierre Dehombreux, International Advisor

The People's Republic of China evokes stereotypes which are too often reduced to the scenery of the Adventures of Tintin in the Blue Lotus, if not to the legends of Qin's dynasty (third century BC), during which the Great Wall was built. Modern China has a lot to offer with developing universities, an industrial growth sustained by a massive technological research and a rich culture.

Concerning higher education, more than 27 million students are enrolled in Chinese universities. It is particularly remarkable to notice that one third of the Chinese students are involved in engineering studies (7% in Wallonia-Brussels). Compared with the rest of the world, the absolute number and the proportion of engineering students ranks first. Undeniably, the level of engineering technology represents a country's core competitiveness. China is currently the number one source country of international students around the world, with a preference for English-speaking countries (the USA, the UK, Australia and Canada concentrate 75% of the Chinese students). This, however, provides tremendous opportunities for student exchanges in European countries that develop master's programmes in English.

Concerning research, China is now the world leader in the publication of scientific papers, outstripping the previous leader, the United States. China's total expenditure for research and development is estimated at \$279 billion in 2017 with a year-on-year increase of 14 percent. China has established dozens of new high-tech industrial parks and incubators aimed at promoting technologies such as artificial intelligence, robotics and big data. China is aiming to bring output of electric vehicles up to 2 million units by 2020. Most of our Walloon companies still export their top-quality products to China: they could not survive without those customers. This leads us to believe that our students should be more involved in mobility programmes in China to understand their culture and practices. China is also coming to us: we

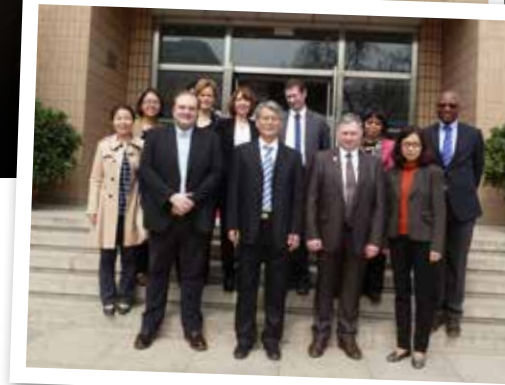
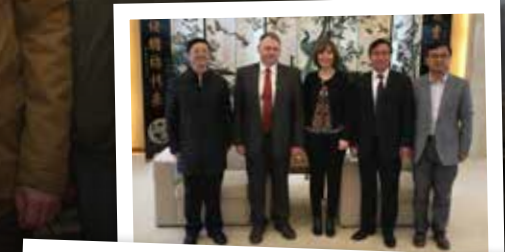
have just welcomed the recent investments from the Hong Kong electric car manufacturer Thunder Power in Gosselies or from Ali Baba in Liège.

In this globalization context, there is no doubt that fostering collaborations with Chinese universities is a project full of future promise in which Polytech Mons is engaging more and more. A proof of this is the generous invitation of our Chinese institutional partners to visit them in Spring 2018. They received, of course, an enthusiastic response. A delegation of 7 colleagues was involved in an academic mission during the first week of April, visiting universities and students in Beijing, Yangzhou and Shanghai.

The China University of Mining and Technology – Beijing has seen the most fruitful experience of student exchanges with Polytech Mons over the last ten years. Its Key State Lab for Rock Mechanics and Rock Engineering is directed by Prof. He Manchao, who received an honorary doctorate from the University of Mons in 2012. He focuses his research on risk management in mining activities, with monitoring of landslides, rock burst control and use of innovative mining technology.

Direct seminars and discussions between respective colleagues were scheduled to broaden our scientific collaboration beyond the actual borders of rock mechanics, mechanical engineering and materials science. The stay at CUMTB gave us the opportunity to meet the 5 engineering students who will be welcomed in Mons in February 2019 for 4 months in the departments of the Faculty of Engineering. A significant number of UMONS students from the Faculty of Translation and Interpretation benefit from the agreement but more engineering students are awaited since the internship of Mrs. Queenie Gérard and Mr. Yoan Deflandre... in 2012.

A second stage in our Grand Tour was in Yangzhou University, with a focus on material science. After a



postdoctoral internship in Mons, Prof. Zhang Chao and Dr Marc Deblicquy continued to work jointly with common PhD's students. The expansion of Yangzhou University justifies the extension of our collaboration to other sectors.

Our final stop was in Shanghai, where we met two students, Nathan Derave (computer engineering and management) and Pierre Richard (architectural engineering) performing their final year's thesis respectively under the expert supervision of Prof. Fei (Shanghai University) and Prof. Sikora (Xi'an Jiaotong-Liverpool University). Both students have benefited from a pleasant and modern working environment.

Following up on our mission, the China University of Mining and Technology and the Yangzhou University have demonstrated their real willingness to cooperate with UMONS by their return visit: we received a delegation led by Prof. Zhu Shuquan, Vice President of CUMTB, in May and a second led by Prof. Yao Guanxin, Chairman of the Council of Yangzhou University, in July. On this occasion, invitations have been addressed for exchanges of PhD students and professors during the next academic year.

As a conclusion, all academic and scientific conditions are met to increase the mobility of UMONS students to China and conversely. But above all, long years of confidence between our institutions and mutual friendship between colleagues are the decisive factors to boost collaboration between universities that share the same social values and regard training engineering students as a public service mission.

Dans le cadre des conférences en intelligence artificielle organisées par l'UMONS en lien avec la formation certifiante *Hands on AI*, le Prof. T. Dutoit a donné ce lundi 9 novembre une conférence sur les liens entre créativité et technologie.

C'était l'occasion pour le public, venu nombreux au Mundaneum, de mieux comprendre les impacts actuels et potentiels à court-terme de l'intelligence artificielle sur nos créations humaines.

Nous utilisons fondamentalement trois types de connaissances pour gérer nos vies et nos sociétés humaines. Les deux premières sont ce que les anglo-saxons appellent la « street knowledge » (connaissance par l'expérience), et ce qui s'y oppose, la « book-knowledge » (connaissance par le langage). La « street knowledge » consiste en la somme des savoir-faire que nous avons tous appris par nous-mêmes (à partir de notre environnement), de la parole à la marche en passant par la reconnaissance de voix, de personnes, d'objets, et d'espaces 3D. La « book knowledge » est au contraire ce qui a permis à nos sociétés humaines de se développer progressivement en complexité. Au contraire du « street knowledge », que nous ne pouvons transmettre d'un individu à l'autre, la « book knowledge » est transmissible et pérenne, ce qui nous permet de l'accumuler.

Après avoir longtemps cherché à créer des systèmes experts capables d'utiliser nos propres connaissances « book knowledge » (connaissances pour la transmission desquelles nous avons inventé des « langages informatiques »), l'intelligence artificielle explose depuis 2009 en mode « street knowledge » sous la forme de « réseaux de neurones profonds », qui ont permis des avancées considérables dans des domaines tels que la reconnaissance de la parole, de l'image, ou la robotique.

En particulier, les technologies liées à l'interprétation ont été fortement impactées par les développements technologiques récents. Un compositeur contemporain peut entendre à quoi ressemble son œuvre sans l'aide d'aucun musicien, vu la qualité du rendu acoustique des synthétiseurs (y compris des synthétiseurs de chant). Il reste évidemment que la production de cette œuvre en public n'a de sens que lorsqu'elle est interprétée par de vrais musiciens. Le rendu visuel des bâtiments d'architecture suit le même principe. Le développement fulgurant des techniques de capture de mouvement pour le cinéma et l'animation sont d'autres exemples. On commence même à voir apparaître des systèmes intelligents permettant l'animation de personnages de dessins animés sur simple base d'un script, ou des robots musiciens de jazz !

On peut se demander si les machines sont intrinsèquement capables de créer des œuvres, et si oui quelle sera leur limite. On a vu se développer depuis quelques années des architectures de réseaux de neurones profonds qui ont en effet manifesté un réel talent musical, pictural, ou architectural par exemple. Notre gloire nationale Stromae a ainsi collaboré en 2018 avec le Computer Science Lab de Sony à Paris pour produire une chanson « AI inside » : « Hello Shadow », qui fait partie d'un album entièrement co-composé avec une intelligence artificielle. La machine n'a pas véritablement composé la chanson, mais proposé des harmonies et des mélodies « à la sauce Stromae ». Les réseaux antagonistes génératifs (GAN) ont également défrayé la chronique récemment sous la forme des tableaux du Comte de Belamy, créés automatiquement à partir de 10000 peintures du XVI^e au XIX^e siècle, et qui se sont vendus pour plusieurs centaines de milliers de dollars chez Christie's à Londres.

Le lecteur attentif aura remarqué que je citais en préambule trois types de connaissances... et que j'en ai explicité que deux. Comme l'a magnifiquement souligné le neurologue américain Antonio Damasio dans son ouvrage « L'erreur de Descartes », nous utilisons en pratique une troisième source de connaissances, liées aux émotions que nous ressentons lors de nos expériences de vies. En examinant des patients atteints de troubles neuronaux localisés, ce neurologue et son équipe ont mis en évidence que ce sont en effet souvent nos émotions qui nous permettent de prendre des décisions rapides sur des problèmes pourtant extrêmement complexes. Mieux encore, il a montré que les sensations corporelles que nous ressentons lors de la perception d'une émotion ne sont pas un simple sous-produit de ces émotions : elles en sont l'essence. Sans ressenti corporel, selon Damasio, pas d'émotions !



Shimon, le robot jazzman du Georgia Tech Center for Music Technology (2018)



Imagine this! (Univ. Illinois, 2018) : des réseaux de neurones profonds entraînés sur 25000 clips des Flintstones créent un dessin animé à partir d'un script.

D'où les attitudes d'incarnation (« embodiment ») que nous manifestons tous à l'écoute d'une œuvre musicale, en reproduisant la gestuelle du chef d'orchestre ou des musiciens pour mieux ressentir l'émotion musicale... Nous avons en effet une incroyable capacité à nous projeter dans le corps de l'autre. De là à dire qu'un ordinateur ne pourra jamais ressentir une émotion, il n'y a qu'un pas... que nous ne franchirons pas ici. Rappelons-nous en effet que les avions ne battent pas des ailes... Les machines sont d'ailleurs déjà capables de percevoir nos émotions (de nombreux travaux sont menés dans ce sens, et d'exprimer des émotions à leur tour. Nous aurons en effet besoin, dans un avenir proche, d'interagir avec diverses formes d'intelligences artificielles, et tant qu'à faire, pourquoi ne pas les rendre sympathiques ?

La vraie question n'est donc pas de savoir si une machine peut ou pourra un jour créer ou interpréter une œuvre (c'est déjà partiellement le cas) mais bien si cela aura un intérêt pour les amateurs d'art humains que nous sommes. Lorsque l'ordinateur BigBlue d'IBM a battu le champion d'échecs Gary Kasparov en 2007, la salle a applaudi l'ordinateur. Aujourd'hui, personne ne se presse pour autant dans les salles de spectacle pour voir un ordinateur battre un champion d'échecs...



Le Comte de Belamy (02/2018) - 432,500 chez Christie's à partir de 10 000 portraits du XVI^e au XIX^e siècle

En ligne :
www.youtube.com/watch?v=w-3mPNIOMBk
 (NB : ca sera prochainement remplacé par un pointeur sur le site UMONS)

MESSAGE ADRESSÉ À PIERRE PAR CHRISTINE LORS DU DERNIER CFAC DE PIERRE EN SEPTEMBRE DERNIER

Quelques mots pour vous, Monsieur le Doyen, pour toi, Pierre.

Avec toi, grâce à toi, nous avons vécu 4 années particulières.

4 ans c'est tellement ...

Tellement de dossiers, de réunions, de discussions.

Tellement de moments partagés.

Des moments parfois difficiles, graves, douloureux comme lors de la perte d'un de nos collègues.

Des moments de crainte aussi quand, en septembre, on regarde avec inquiétude la courbe des indicateurs des primo-inscrits.

Mais le plus souvent fort heureusement, des moments joyeux, heureux, empreints de bonne humeur, de fierté pour nos collègues ou pour nos étudiants, comme lors du traditionnel Polytech Mons Day.

Et aussi il faut l'avouer, des moments agrémentés de quelques fous rires, dont on ne sait plus sortir.

4 ans, une petite cinquantaine de CFac, avec bien entendu autant de Bureaux et de Burex, ...

Des Burex où tu étais, à ton grand bonheur ou ton grand drame, presque exclusivement entouré de femmes. Diane, Véronique, Angeline, Barbara, et les 2 Christine... Heureusement, François d'abord, Nicolas ensuite, en représentants infatigables du personnel scientifique, et de la gent masculine, t'ont aidé à ne pas te sentir trop seul.

4 ans, c'est aussi, énormément de successions. Clairement, il y a quelque 60-65 ans, les parents de nombreux collègues avaient décidé, anticipativement, que leurs rejets prendraient leur retraite sous ton mandat. Hughes Wilquin, Paul Lybaert, Enrico Filippi, Michel Vankerkem, Gaëtan Libert, Philippe Saucez, Joël Hancq, Calogero Conti. Autant de transitions que de personnalités. Autant d'émotions que de dossiers.

4 ans, 4 ans à soutenir nos étudiants dans leur démarche ENG'UP et à permettre à leurs initiatives de fleurir dans la Faculté. Ils te doivent beaucoup !

4 ans, de discours, d'exposés, de prises de parole, par le fervent défenseur de la langue française que tu es et que tu resteras, je n'en doute pas.

4 ans, de démarche qualité, d'indicateurs, de tableau de bord, de plan d'action, de systèmes bouclés (l'automaticienne que je suis ne pouvait manquer de le souligner)

4 ans, rythmé par un agenda multicouche : une couche « Doyen », rue de Houdain, un gros trousseau de clés à la main ; une couche « Prof de méca », rue du Joncquois, chef d'un service qui compte énormément pour toi ; une couche « International », globe-trotter infatigable et Tour operator génial.

En un mot, 4 ans d'énergie dépensée, sans compter, pour que la Faculté, tous ses membres, ses étudiants, ses Alumni, ses partenaires travaillent de concert.

N'est-ce pas là, la plus belle mission d'un Doyen !...

Merci Pierre.

Merci à titre officiel mais aussi à titre personnel, pour ces 4 belles années.

Christine – « Doyenne »

J'ai eu, durant les 4 dernières années, la grande chance de concilier trois fonctions. Professeur d'abord, un métier qui me tient particulièrement à cœur. Vice-Doyenne ensuite, pour un mandat qui m'a permis de prendre connaissance des dossiers facultaires, de m'y investir et d'en percevoir les enjeux. Conseillère du Recteur enfin, une fonction qui m'a initiée aux dimensions institutionnelles de notre jeune et florissante Université UMONS qui fête, cette année, ses 10 ans. Ces trois fonctions ont été pour moi, chacune à son niveau, particulièrement enrichissantes et motivantes.

De cette expérience, a été renforcée sans nul doute la volonté de m'investir pleinement pour la Faculté et de me présenter, en février dernier, à l'élection de Doyenne. Les membres du Conseil de Faculté m'ont exprimé leur large soutien. Ce soutien, ils l'ont également clairement exprimé lors des élections de Véronique Feldheim et de Philippe Ancia, respectivement comme Vice-Doyenne et Secrétaire de Faculté. Notre « trio » a pris ses fonctions le 1^{er} octobre 2018, simultanément à la mise en place de la nouvelle équipe rectorale de l'Université, Philippe Dubois ayant succédé à Calogero Conti comme Recteur de l'UMONS.

Les années à venir s'annoncent bien remplies : les chantiers et les défis seront nombreux. Pour n'en citer que quelques-uns... L'année 2019 verra l'ouverture d'un cycle complet de Bachelier en Sciences de l'Ingénieur à Charleroi, conjointement avec l'ULB. Le lancement d'un Master Erasmus Mundus SMACCs se fera également en septembre 2019. Fruit de la collaboration entre quatre grandes universités européennes, ce programme international ambitionne de former la prochaine génération d'ingénieurs et de chercheurs dans le domaine des Smart Cities et des Smart Communities. Par ailleurs, dans le cadre du renouvellement de l'accréditation CTI et du suivi de l'évaluation AEQES, la visite des experts est planifiée pour mars 2019 et nous sommes plongés dans la dynamique de mise en œuvre du nouveau plan stratégique de la Faculté.

Pour mener à bien ces chantiers et ces défis, nous pouvons compter sur une Faculté motivée et dynamique, qui rassemble son personnel et ses étudiants, en relation étroite avec ses Alumni.

Les Présidents des 6 Commissions de Diplôme (Architecture, Chimie-Sciences des Matériaux, Electricité, Informatique et Gestion, Mécanique et Mines-Géologie) y jouent un rôle primordial dans la mise en œuvre, en toute cohérence, des axes de développement facultaire au sein de leur programme.

Pour soutenir cette dynamique facultaire et aider au portage de projets transversaux, il semblait cependant important d'envisager un autre angle d'approche. Ainsi, c'est une équipe décanale élargie qui a vu le jour. Recherche, International, Innovation pédagogique, Communication, Relations Alumni et Entreprises, tels sont les thèmes que 5 collègues ont accepté d'animer en y impulsant et portant des projets facultaires.

Cette volonté de gestion participative sera encore renforcée dès 2019, par des rencontres régulières avec le corps scientifique et le PATO facultaire.

Une vision croisée et participative, bénéfique pour la Faculté.

La dernière leçon de Calogero Conti

☒ Prof. Olivier Verlinden, Prof. Georges Kouroussis, Service de Mécanique rationnelle, Dynamique et Vibrations

Ce 30 novembre fût un jour particulier à la Faculté Polytechnique. L'auditoire 11 était rempli pour le dernier cours de Mécanique Rationnelle II, et non pas qu'avec des étudiants. En effet, il s'agissait du dernier cours du Professeur Calogero Conti et pour l'occasion, plusieurs personnes – collègues-enseignants, personnel de la FPMS, et même amis de promotions (sortis en 1978 !) – se sont déplacées expressément pour lui rendre un dernier hommage, en plus d'une présence importante des étudiants de BAB2.

L'occasion pour l'assemblée de participer à un quizz interactif qu'affectionne tout particulièrement l'enseignant (nous ne mentionnerons pas qui des ingénieurs présents n'ont pas pu répondre aux diverses questions de mécanique théorique – comme dit l'adage, « what happens in Polytech stays in Polytech »). Les dernières minutes de cours furent écourtées afin de laisser diverses personnes prendre la parole pour remercier celui qui a consacré sa carrière à défendre la Faculté Polytechnique et l'Université de Mons, mais également un excellent enseignant au service des étudiants. Après l'intervention des étudiants (cf. encart), le Professeur Olivier Verlinden, chef de Service de Mécanique rationnelle, Dynamique et Vibrations, a pris la parole pour rappeler la carrière de son collègue et ami, tout en mentionnant certains points méritant une attention particulière :

- Le Professeur Conti fût un pionnier en termes de pédagogies novatrices (cours entrecoupés d'exemples illustratifs tirés de la vie de tous les jours, tests en direct ou en ligne, étudiants résolvant les exercices au tableau dans le souci de l'étudiant) ; il fût notamment l'initiateur des boîtiers de vote lors des séances de cours afin de « prendre la température » auprès des étudiants.
- Il a permis une transition tout en douceur lors du mariage de la FPMS et de l'ex-UMH, dans le respect et la confiance, pour devenir l'Université de Mons, une université bien ancrée et de référence dans le Hainaut.
- En tant que recteur (4 ans FPMS, 9 ans UMONS), il a continué à donner deux cours (« Mécanique Rationnelle 2 » et « Dynamique et vibrations de systèmes mécaniques »), chose assez rare dans le milieu où les recteurs abandonnent généralement leur charge de cours au profit de leur tâches administratives et organisationnelles ; la raison en est simple : le Professeur Conti est passionné par l'enseignement et donner cours était pour lui une récréation et pas une contrainte.

C'est finalement avec beaucoup d'émotion que le Professeur Conti conclut cette dernière leçon, en soulignant le bonheur et le plaisir qu'il a toujours eu à enseigner, et la chance d'avoir une faculté (et



donc une université) de proximité dans le Hainaut. Enfin, il rappelle qu'enseigner à des jeunes permet à l'enseignant de toujours se croire jeune, d'autant plus que l'intéressé avait la particularité d'avoir une calvitie monacale, plus difficile à remarquer chaque matin devant le miroir.



Pour le dernier cours du Professeur Conti, nous nous sommes cotisés, élèves de BAB2 mais également plus anciens, afin d'offrir un petit présent pour le remercier de tout ce qu'il a apporté à la Faculté, tant pour son rectorat que son professorat. Il nous semblait tout naturel d'organiser cela pour lui. Et tout cela fut facile à organiser car la réactivité et la générosité des élèves étaient proportionnelles à la gentillesse de Monsieur Conti. Après avoir décidé collectivement et émis plusieurs idées, nous avons donc choisi de lui offrir un gyroscope de précision comme symbole de son cours et un panier garni.

Morgane Fanfone et Charles Moulin, délégués de BAB2.

Au nom de tous les étudiants de la Faculté, la Fédération des Etudiants FPMS tenait à remercier profondément le Professeur Conti pour toutes ces années passées à défendre leurs intérêts tant sur le plan scolaire et académique que sur le plan des activités étudiantes. Que ce soit en tant que Doyen puis Recteur de la Faculté ou bien en tant que Recteur de l'UMONS, il a toujours su trancher, de manière juste, afin de permettre à tous une vie étudiante la plus développée et polyvalente possible. Ceci est primordial pour l'épanouissement d'un étudiant durant ses années à l'Université et le Professeur Conti l'avait bien compris. Nous avons donc pensé bon de lui offrir une « petite » bouteille d'1,5L de Saint-Feuillien Grand Cru, connaissant l'attrait général pour cette boisson lors des événements de la Faculté !

Wastiau Gabriel, Président de la Fédération des Etudiants FPMS



PHOTO-REPORTAGES

FÊTE DE LA COMMUNAUTÉ FACULTAIRE 2018



JOURNÉES DES ENTREPRISES 2018



JOURNÉES PORTES OUVERTES 2018

... À CHARLEROI



POLYTECH MONS DAY 2018



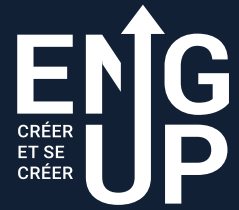
PRINTEMPS DES SCIENCES 2018



PROJET DE BAB2 (2018)



INGÉNIEUR CIVIL, À MONS



SE PRÉPARER POUR RÉUSSIR L'EXAMEN D'ADMISSION ...

■ Le samedi matin, avec des étudiants de Master de Polytech Mons (à Mons, Charleroi ou Tournai)

Ces séances ont lieu le samedi matin toute l'année à partir du 15 septembre, sauf pendant les congés scolaires et les périodes d'examens. Vous pourrez évoluer à votre rythme en résolvant, avec l'assistance des étudiants de Polytech Mons, des exercices de différents niveaux, des plus simples aux plus compliqués. Les résolutions complètes sont distribuées en fin de séance.

INFOS: fpmaths@gmail.com ou www.facebook.com/FPMaths

■ Lors des séances de présentation par des enseignants de Polytech Mons (à Mons, Charleroi ou Tournai)

Chaque séance est consacrée à l'une des matières mathématiques au programme de l'examen d'admission: algèbre, analyse, géométrie synthétique, géométrie analytique, trigonométrie et calcul numérique. Des exemples de questions sont présentés et commentés par des enseignants de Polytech Mons.

QUAND ? Les mercredis en mars, en avril et en mai de 14h00 à 17h00 – Du 19 au 23 août (inscription préalable)

INFOS ET INSCRIPTION PRÉALABLE OBLIGATOIRE ? www.umons.ac.be/polytech/admission

POUR PRENDRE DATE ET DÉCOUVRIR LES SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

→ Durant le congé de détente – cours ouverts UMONS

- **Mardi 5 mars** – Rencontres avec les scientifiques de l'UMONS, au travers d'un parcours ludique, présentation du concours « ShowYourPhD »
- **Mercredi 6 mars** – Laboratoires interactifs de physique, chimie, infographie – Participation à l'activité architecturale « Imaginez votre ville » sur le site historique des usines Boch
- **Jedi 7 mars** – Journée des Makers

→ Durant les vacances de printemps - Stages Polytech-Jeunes

Du 9 au 12 avril – activités en laboratoires pour des stages passionnants de 2 à 3 jours. Une belle expérience en immersion ! Dès la 1^{ère} année du secondaire

→ Lors d'une Journée portes ouvertes de l'UMONS

- **Mercredi 20 février, de 13h00 à 17h00** – Campus de Mons
- **Samedi 30 mars, de 9h00 à 12h30** – Campus de Mons
- **Samedi 27 avril, de 9h00 à 12h30** – Campus de Mons
- **Mercredi 15 mai, de 15h00 à 20h00** – Campus de Charleroi
- **Samedi 22 juin, de 9h00 à 12h30** – Campus de Mons

INFOS : www.umons.ac.be/futuretudiant

Dès la rentrée 2019 à Charleroi

NOUVEAU !

BACHELIER EN SCIENCES DE L'INGÉNIEUR, ORIENTATION INGÉNIEUR CIVIL

180 CRÉDITS – EN COURS DE JOUR

INFOS : www.umons.ac.be/charleroi – www.ulb.ac.be/charleroi
polytech.charleroi@umons.ac.be

INFOS VIA



Infos au Secrétariat des Études

+32(0)65 37 40 30 à 33 | info.polytech@umons.ac.be | www.umons.ac.be/polytech