



POLYTECH.NEWS

Le journal de la Faculté Polytechnique de Mons

DOSSIER
Lumière dans les Sciences
de l'Ingénieur



**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



**FICHE
PÉDAGOGIQUE N°7 :**
**UNE BRÈVE HISTOIRE
DE LA FIBRE OPTIQUE**

à détacher au centre
de votre magazine



3 ÉDITORIAL

3 LE MOT DU DOYEN

4 DOSSIER | Lumière dans les Sciences de l'Ingénieur

- 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



« *L'ingénieur est un physicien* ». C'est ainsi que notre précédent Doyen, Paul Lybaert, avait l'habitude de présenter notre formation. Cette phrase prend tout son sens dans ce dossier, qui porte sur la lumière et ses diverses applications dans notre domaine. La lumière a longtemps été étudiée par les physiciens, soulignant cette incroyable (et surprenante) propriété de dualité ; tantôt considérée comme un objet, avec ses propres propriétés physiques intrinsèques telle que la masse, tantôt considérée comme une onde, immatérielle avec ses propriétés de vitesse de propagation et d'interférence, la lumière n'a montré tout son potentiel que dès l'instant où l'ingénieur a tiré profit de ses innombrables aspects. Le dossier de ce PN55, supervisé par notre éditeur invité, qui n'est autre que notre cher collègue Christophe Caucheteur, recèle d'applications aussi diverses que variées qui touchent de près ou de loin le domaine des Sciences de l'Ingénieur. Dans ce dossier technique sont abordées les diverses facettes des propriétés de la lumière aux travers de nombreux développements technologiques. Capteurs, transmissions d'information, esthétisme, conver-

sion d'énergie, réalité augmentée, ... autant de domaines qui montrent la créativité et l'esprit d'innovation qui animent nos collègues à la FPMs. Le cahier pédagogique est également lié à la lumière, avec comme toile de fond, l'histoire des technologies à base de fibres optiques, tirée du livre « *c au Beffroi* » publié par l'UMONS et que je vous recommande fortement au passage. En parlant d'innovation, pas moins de 12 thèses de doctorat ont été défendues ces 10 derniers mois ; la rubrique Doc'News leur est dédiée ! Et bien évidemment, c'est sans oublier des prix obtenus par nos scientifiques et nos étudiants. Enfin, une fois n'est pas coutume, ce ne sont pas nos étudiants qui nous présentent leur immersion internationale dans la rubrique « FPMs à l'International » mais des étudiants chinois venus parfaire leur formation au sein de la FPMs durant quelques mois et s'essayer à la culture... montoise.

Au nom de tout le comité de rédaction, je vous souhaite une agréable lecture qui éclairera en vous, je l'espère, une autre vision de la lumière !

LE MOT DU DOYEN

LE MOT DU DOYEN

✉ Prof. Pierre Dehombreux



Lumière et création... les deux mots sont indissociables dans la plupart des genèses des mythologies et religions. Et pourtant, la cosmologie moderne nous apprend que la lumière n'est observable que 380 000 années après le Big Bang...

13,8 milliards d'années plus tard, la lumière n'a pas fini de faire parler d'elle et fascine nos esprits. Personne n'est insensible à la lueur vacillante des étoiles, à la fulgurance des éclairs qui zèbrent nos nuées d'été. La lumière suscite de multiples interrogations quant à sa nature même : comment la définir ? Comment la représenter ?

Depuis le siècle ... des Lumières, les ingénieurs se sont posé d'autres questions à son sujet : comment la faire naître ? Comment l'utiliser ? Couvrant toute l'étendue du spectre électromagnétique, les champs d'application se sont sans cesse élargis. Ce Polytech News évoque la perception visuelle, l'éclairage, mais aussi la métrologie, la fabrication mécanique, la composition architecturale, les processus biologiques, l'énergie, l'information, les télécommunications. Assurément, la lumière est source d'innovation pour les ingénieurs. Les inventions qu'elle a suscitées sont d'ailleurs bien plus récentes que nous ne l'imaginons.

L'ampoule d'Edison apparaît plus de 40 ans après la fondation de notre Faculté. Que penser de l'évolution très récente des lampes d'éclairage LED ? La découverte de l'électroluminescence remonte à 110 ans, le premier brevet à 90 ans, mais la généralisation des LED de forte puissance est bien plus récente. Ceci nous démontre qu'un temps relativement long peut s'écouler entre l'établissement d'un principe physique et le développement de son application au bénéfice de la société. En ce 21^e siècle, le champ technologique reste plus que jamais ouvert au progrès et au développement.

Pour conclure cet éditorial, je souhaiterais célébrer un anniversaire de quarante ans : celui d'Opticable. En 1977, à l'initiative des quatre grandes câbleries belges (Charleroi, Eupen, Dour, Huizingen), Opticable est constituée pour mettre au point des méthodes de fabrication de câbles optiques, sous l'impulsion des illustres professeurs Marius Cogneau et Michel Blondel du Service d'électronique et de radiocommunication de notre Faculté. Une usine pilote est rapidement installée au sein de cette spin off pionnière ... et se développera progressivement pour aboutir à l'implantation industrielle de Nexans-Opticable, employant sur son site de Frameries 150 personnes dont plusieurs ingénieurs dynamiques collaborant avec notre Faculté. Fiat lux !

SOUS LA LUMIÈRE, LES IN

☒ Dr Christophe Caucheteur, Chercheur qualifié du F.R.S.-FNRS

La lumière a permis de nombreuses révolutions scientifiques et demeure au cœur d'études menées par les physiciens. Elle reste également un outil sans limite pour les ingénieurs. Entre autres, les diodes électroluminescentes, les lasers et autres communications optiques ont largement contribué à améliorer les techniques et ont révolutionné nos vies, en nous faisant basculer dans la société de l'information et de la communication.

Descartes, Newton, Huygens, Fresnel, Maxwell, Einstein, ... Autant de noms qui résonnent familièrement en nous et nous évoquent une théorie, une formule, un phénomène ou encore une expérience. Nous avons fait leur connaissance relativement tôt lors de notre parcours scientifique. Ils nous ont permis de développer notre sens physique et nous ont progressivement insufflé au combien la connaissance et la maîtrise de la lumière sont capitales pour la technologie.

Célébrée par les poètes, les écrivains et les peintres, la lumière est synonyme de pureté et de beauté et peut même être symboliquement associée à un phénomène divin. Chaque année, la lumière est à l'honneur lors des célébrations de la Sainte Lucie, le 13 décembre. Lucie est un prénom venant du latin *lux*, ce qui désigne la lumière. Il s'agit d'une fête majoritairement répandue en Scandinavie, compte tenu des conditions d'ensoleillement dans ces pays nordiques. Dans l'hémisphère nord, cette fête correspond, en effet, au premier jour à partir duquel le soleil se couche plus tard que la veille, bien que les jours continuent à se raccourcir jusqu'au solstice d'hiver.

Ces célébrations matérialisent en quelque sorte la fascination vouée par les hommes à la lumière depuis toujours. Au fil des siècles, cette fascination a progressivement engendré un besoin, celui de comprendre la nature, les fondements et les propriétés de la lumière, entre autres, afin de pouvoir la maîtriser. Ainsi, tout en progressant dans le domaine de l'optique, au départ des premières communications à l'aide de phares lumineux de la Grèce antique ou encore des lunettes de presbytes développées dans le courant du Moyen Age, les hommes ont-ils débattu pendant près de trois siècles sur la nature exacte de la lumière.

D'un point de vue physique, la lumière peut être représentée sous forme d'ondes électromagnétiques ou de photons. C'est ce que les physiciens ont coutume d'appeler la dualité onde-corpuscule.

En effet, certains phénomènes comme le rayonnement du corps noir et la loi de Planck s'expliquent grâce à la théorie ondulatoire qui suppose que la lumière est une onde électromagnétique. D'autres phénomènes, en revanche, s'expliquent lorsque la lumière est décomposée en corpuscules d'énergie, les « photons ». C'est le cas, notamment, de l'effet photoélectrique.

La théorie quantique a permis de formaliser cette surprenante dualité. Les photons possèdent à la fois des propriétés de particules (à titre d'exemple, ils peuvent être comptés) et des propriétés d'ondes, puisqu'ils peuvent interférer. Les physiciens sont désormais capables de manipuler des photons uniques ou pairés (aussi appelés intriqués) et étudient les phénomènes sous-jacents dans le cadre de l'optique quantique. Les applications envisagées sont fascinantes et augurent d'une marge de progrès encore conséquente : cryptographie inviolable et calculs basés sur le qubit (état quantique qui représente la plus petite unité de stockage d'information quantique) en constituent des exemples particulièrement attractifs.

Il est sans doute inutile de rappeler que la lumière se propage dans le vide et dans la matière et que sa vitesse de propagation est fonction du milieu dans lequel elle se déplace. La vitesse de la lumière dans le vide – environ 300 000 km/s ou plus exactement 299 792 458 m/s – est une des constantes fondamentales de la physique. La longueur d'onde constitue une autre caractéristique importante, puisqu'elle donne à la lumière sa couleur et peut influencer sur sa vitesse de propagation dans un milieu dispersif. On désigne par les termes « lumière visible » le spectre du rayonnement électromagnétique perceptible par nos yeux. Les longueurs d'onde correspondantes s'étendent du violet (~380 nm) au rouge (~780 nm). Ce spectre visible s'obtient par décomposition de la lumière blanche via un prisme à la sortie duquel se succèdent les couleurs de l'arc-en-ciel. Alors que les ultra-

violets sont majoritairement connus pour leur effet nocif sur la peau, la lumière infrarouge, non visible également, est très répandue en pratique. Le domaine infrarouge est notamment associé à la chaleur, à la spectroscopie ou encore aux télécommandes. Le proche infrarouge est également majoritairement exploité par les fibres optiques à base de silice. Pour rappel, une fibre optique est un guide d'onde permettant de guider la lumière en son sein avec très peu de pertes (0,2 dB/km à la longueur d'onde infrarouge de 1550 nm). Une troisième caractéristique notoire de la lumière est la polarisation, qui est associée à sa nature d'onde électromagnétique. En pratique, l'état de polarisation représente l'évolution dans le temps, en un point donné de l'espace, de l'extrémité du vecteur champ électrique. Le contrôle de cet état de polarisation permet, dans de nombreuses applications comme la microscopie et la métrologie optique, d'accroître les performances de mesure.

Et nous, ingénieurs, quel rapport entretenons-nous avec la lumière ? Forts de cet immense héritage laissé par certains des plus illustres physiciens, nous pouvons dire sans exagération que la lumière est omniprésente au cours de notre parcours scientifique et technique, bien que nous n'en prenions pas toujours conscience !

À titre personnel, j'ai eu vraiment le sentiment d'exploiter la lumière en dernière année de cursus d'ingénieur civil, au cours de mon travail de fin d'études portant sur la réalisation de capteurs miniaturisés utilisant des fibres optiques. Et pourtant, en y réfléchissant bien, il y avait de bien plus nombreuses et antérieures interactions avec la lumière au cours des études : en physique générale, dans la partie du cours consacrée à l'optique, les lois de réflexion et de réfraction sont étudiées et mises en pratique au laboratoire ; en chimie, combien de réactions ne s'opèrent-elles pas grâce à des conditions spécifiques de lumière ? Et quand nous utilisons un microscope, ne devons-nous pas également optimiser la lumière ? Idem pour l'infographie où nous définissons des conditions particulières d'éclairage des objets d'une scène afin d'en optimiser le visuel. Voici quelques exemples qui témoignent que, dans la pluridisciplinarité des métiers de l'ingénieur, la lumière est au cœur d'un grand nombre de techniques.

Tout cela s'opérait dans le cadre de la formation dispensée il y a près de quinze ans. Actuellement, comme vous pourrez le constater en lisant les

GÉNIEURS



articles de ce dossier spécial, le phénomène n'a fait que s'amplifier... ce qui est somme toute assez classique avec la lumière ! Bien évidemment, la lumière est principalement utilisée dans le cadre de la formation de l'ingénieur civil électricien. Nous allons cependant nous apercevoir qu'elle n'est pas en reste dans les autres sections ! Et, c'est sans compter sur la pluridisciplinarité de la formation d'ingénieur qui renforce davantage ce constat.

Pour illustrer cette caractéristique forte de notre formation et de notre métier, revenons sur les capteurs à fibres optiques que mes collègues et moi-même développons dans le Service d'Electromagnétisme et de Télécommunications. Avec l'invention du laser (acronyme de light amplification by stimulated emission of radiation) dans les années 60, elle a contribué à l'essor des télécommunications à longue distance, permettant l'avènement de l'internet tel que nous le connaissons. En marge de son utilisation pour les communications optiques, la fibre optique est également un excellent support de capteurs possédant des avantages intrinsèques comme de faibles dimensions, une passivité électrique au niveau du point de détection et une immunité face aux radiations électromagnétiques. Ceux-ci sont intrinsèquement sensibles à un changement de température et à l'application d'une tension le long de l'axe de la fibre optique. Ils constituent ainsi des jauges de contrainte miniaturisées pouvant être insérées dans des matériaux, sans en modifier les propriétés mécaniques. Ceci nous amène à les développer pour diverses applications comme la mesure de contraintes au sein de matériaux composites ou la surveillance du trafic ferroviaire lorsque les capteurs sont collés sur la base du rail. Ces activités de recherche sont menées en synergie avec le Service de Mécanique Rationnelle, Dynamique et Vibrations. En adjoignant une couche sensible spécifique en surface de la fibre optique, nous pouvons concevoir des capteurs chimiques et biochimiques, capables de détecter des substances cibles (molécules, protéines, cellules, ...) dans des milieux liquides ou gazeux. Nous voilà amenés à d'étroites collaborations avec le Service de Science des Matériaux, le Service de Protéomique et de Microbiologie et même des départements de chirurgie de l'hôpital Erasme. Nous avons donc ici une preuve tangible qu'un développement unique mais versatile – le contrôle localisé de l'interaction lumière-matière à l'aide de fibres optiques – peut rencontrer de nombreuses applications.

Restons-en là au sujet des fibres optiques, d'autant plus que deux articles traitent du sujet dans la suite de ce numéro. Souvent utilisés conjointement avec ces dernières, nous découvrirons également, au travers de divers articles, que les lasers occupent une place importante dans les enseignements et les recherches menés à la Faculté Polytechnique. Ils sont, en effet, de plus en plus utilisés pour l'usinage de pièces mécaniques à haute résolution et pour la caractérisation de roches. Ils trouvent également des applications dans des domaines aussi variés que la topographie avec le théodolite laser, la géologie avec la spectroscopie de plasma induit par laser ou l'architecture avec les lidars. Pour ce dernier domaine, un article traitera de l'importance de l'apport de lumière dans la conception architecturale. Une autre contribution nous montrera comment maîtriser la colorimétrie du béton. Nous verrons ensuite comment un autre type de lumière, celle émise par les LEDs, peut être utilisée pour favoriser la croissance de plantes. D'autres articles nous plongeront dans les défis de la production rationalisée d'électricité d'aujourd'hui et de demain, avec le photovoltaïque et la biomasse. Enfin, dans les technologies liées au numérique, nous comprendrons comment lumière et internet des objets sont connectés, d'une part, et comment la technique de transmission de données Li-Fi utilise la lumière visible des LEDs en tant que support de transmission, d'autre part. Le concept d'imagerie hyperspectrale sera également abordé. Un dernier article nous fera découvrir l'intrication entre lumière et réalité augmentée.

Ainsi, que nous soyons utilisateurs passifs – parfois même non avertis – ou au contraire acteurs, participant alors à la recherche et au développement des techniques, nous, étudiants et ingénieurs, entretenons une relation privilégiée avec la lumière. Cette édition du Polytech News en sera, pour sûr, une preuve éclatante.

“ **Forts de cet immense héritage laissé par certains des plus illustres physiciens, nous pouvons dire sans exagération que la lumière est omniprésente au cours de notre parcours scientifique et technique, bien que nous n'en prenions pas toujours conscience !** ”

La diffusion de la lumière au service de l'ingénieur : les capteurs distribués à fibre optique



✉ Prof. Marc Wuilpart, Service d'Electromagnétisme et Télécommunications

Localiser un début d'incendie le long d'un tunnel, repérer une fuite de gaz sur une conduite s'étalant sur plusieurs dizaines de kilomètres, identifier une fissure sur un pont ou un barrage, ou encore détecter une intrusion le long d'un périmètre de sûreté constituent des domaines d'application importants du monde des capteurs, notamment parce qu'ils concernent la sécurité des biens et des personnes. La fibre optique apporte une solution technologique pour la réalisation de tels systèmes de mesure.

Depuis l'invention du laser et de la fibre optique dans le courant des années 60, les télécommunications optiques ont connu un essor prodigieux. Les capacités de débit (vitesse à laquelle l'information se propage entre l'émetteur et le récepteur) ont été multipliées par un facteur 20.000 depuis le premier système de télécommunications par fibre développé dans les laboratoires Bell Labs aux Etats-Unis, en 1977. La recherche dans le domaine des fibres optiques a bien évidemment joué un rôle fondamental dans cette fulgurante évolution. Depuis la fabrication de la première fibre par la société Du Pont de Nemours à la fin des années 60, ses propriétés ont, en effet, été constamment modifiées afin de lutter contre les phénomènes physiques (atténuation, dispersion et effets non linéaires) limitant ses capacités en termes de débits et de distances maximales.

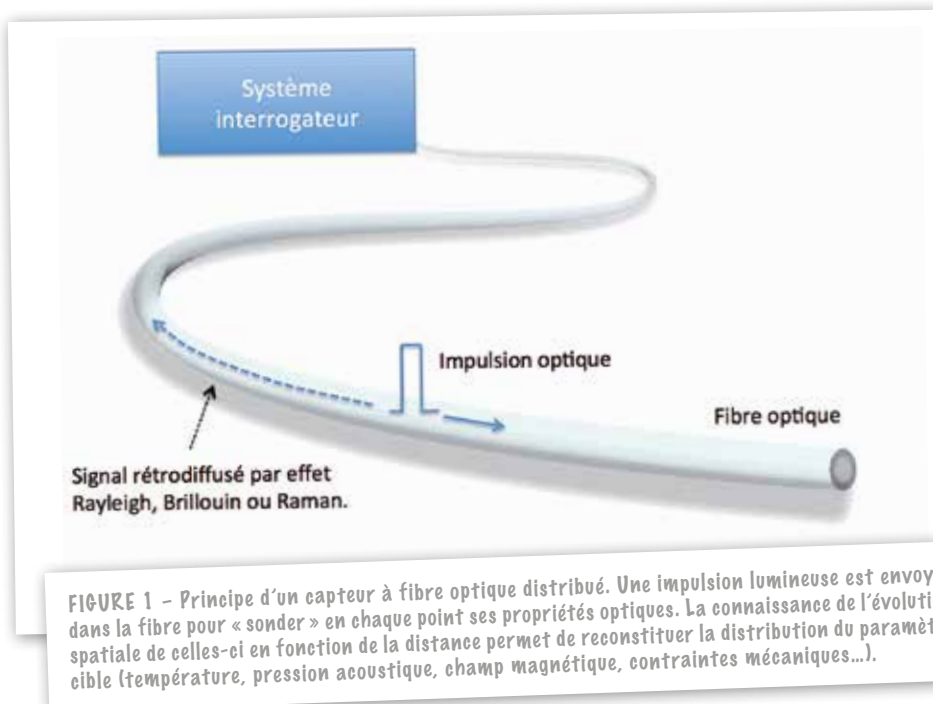
Au fil de cette recherche, il s'est très vite avéré que les télécommunications étaient loin de constituer le seul domaine où les fibres optiques pouvaient apporter une révolution technologique. Sous certaines conditions, les propriétés optiques de la lumière mesurée à la sortie d'une fibre peuvent être influencées par l'environnement dans lequel elle baigne, ouvrant ainsi la voie à la réalisation de capteurs à fibre optique. Une des premières réalisations pratiques proposée au milieu des années 70 consista en un gyroscope (capteur de rotation) basé sur le déphasage entre deux faisceaux lumineux se propageant selon les deux directions opposées dans une boucle de fibre optique. Depuis lors, des capteurs à fibre optique de température, de contraintes mécaniques, de taux d'humidité, de composés chimiques, de vibrations, de courant et de tant d'autres paramètres physiques ont été réalisés. De plus, la fibre optique sert, non seulement, de capteur mais peut aussi amener la lumière vers le point de mesure. Puisque les fibres sont caractérisées par une faible atténuation, le point de mesure peut

être déporté de plusieurs dizaines de kilomètres du centre de décision.

Les capteurs à fibre optique présentent un avantage particulier par rapport aux capteurs traditionnels car ils permettent de mettre en œuvre une technologie rendant possible la réalisation de mesures distribuées. Par distribué, on entend que le système est capable de mesurer le paramètre cible en chaque point de la fibre : il devient donc possible de mesurer l'évolution de ce paramètre le long de la fibre et, non seulement, en un point précis. Les capteurs distribués sont basés sur les phénomènes de diffusion de la lumière dans la fibre optique. Le principe général consiste à envoyer une impulsion lumineuse de courte durée (de l'ordre de 10 nanosecondes) dans une fibre optique déployée le long de la structure à analyser. Lorsqu'elle se propage, l'impulsion subit un

phénomène de rétrodiffusion : en chaque point de la fibre, une petite fraction de lumière est diffusée dans toutes les directions et une partie de cette puissance diffusée est re-capturée par la fibre et revient vers son entrée (voir figure 1) où elle peut être mesurée. La mesure des propriétés optiques de ce signal rétrodiffusé permet de retrouver le paramètre ciblé par le capteur (température, contraintes mécaniques,...). Le temps auquel le signal rétrodiffusé est détecté permet de localiser l'endroit où l'impulsion incidente a été rétrodiffusée à la manière d'un radar, rendant ainsi possible la mesure du paramètre cible en fonction de la distance le long de la fibre optique.

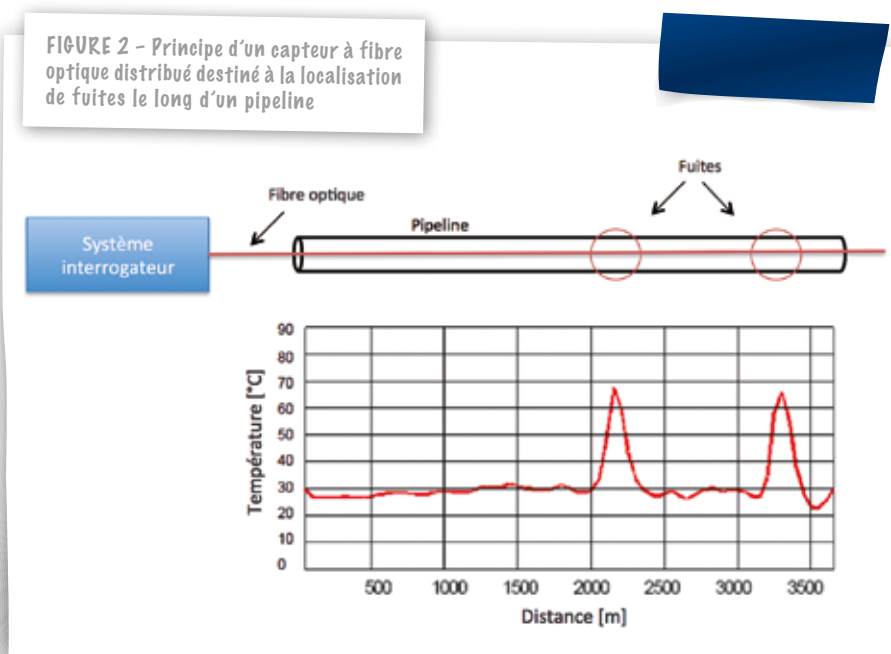
Les capteurs distribués exploitent trois phénomènes de diffusion différents : les diffusions Rayleigh, Brillouin et Raman. La diffusion Rayleigh étudiée par le physicien anglais Lord J.W.



Rayleigh (prix Nobel de physique 1904) trouve son origine physique dans la présence de fluctuations de densité dans le matériau (verre, silice) constituant la fibre. Remarquons au passage que ce type de diffusion est présent dans l'atmosphère terrestre. La diffusion Rayleigh étant plus efficace pour les courtes longueurs d'onde, la couleur bleue est plus diffusée que le rouge, expliquant ainsi la couleur de notre ciel. La diffusion Rayleigh a été utilisée avec succès pour la réalisation de capteurs acoustiques distribués. La présence d'un signal acoustique génère une fluctuation de l'indice de réfraction dans la fibre, ce qui a pour effet de changer l'intensité de la puissance rétrodiffusée par des effets d'interférence. La fibre constitue alors un capteur longitudinal dont chaque point joue le rôle d'un microphone. Cette technique a récemment été utilisée pour localiser la présence de trains le long d'une voie de chemin de fer. Pratiquement, la fibre est enterrée le long de la voie. Lors du passage d'un train, celui-ci génère localement du bruit et des vibrations dans le sol que l'interrogateur optique permet de localiser en temps réel. Notons aussi que la même technologie permet de repérer une intrusion autour d'un périmètre de sécurité : il est possible d'entendre et de localiser les pas d'un intrus marchant à proximité de la fibre enterrée. Notons également qu'en mesurant l'état de polarisation du signal rétrodiffusé Rayleigh, il est possible de réaliser des capteurs distribués de champ magnétique. Une récente application de cette approche est la mesure du courant plasma dans les réacteurs à fusion thermonucléaire. Le principe consiste à placer une boucle de fibre autour du courant à caractériser et à y mesurer le champ magnétique. Des courants plasma allant de 0,6 à 1,5 millions d'Ampère ont ainsi pu être mesurés au sein du réacteur Tore Supra du CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives, France).

La diffusion Brillouin résulte de l'interaction entre l'impulsion optique et les ondes acoustiques présentes dans la fibre. Lorsqu'une onde optique rencontre dans la fibre une onde acoustique, le signal rétrodiffusé est caractérisé par une fréquence optique différente de celle de l'onde incidente. Ce décalage en fréquence, de l'ordre de 10 GHz, dépend de la température du milieu et des contraintes mécaniques appliquées. La mesure du décalage en fréquence en fonction de la position de l'impulsion dans la fibre permet ainsi de mesurer des profils de température et de contraintes mécaniques le long de celle-ci. La diffusion Brillouin est notamment utilisée pour mesurer le profil de température le long de câbles de haute puissance, permettant ainsi de repérer un échauffement excessif et d'effectuer une opération de maintenance avant une dégradation irréversible du câble. Un autre exemple est la localisation de fuite le long de pipelines, une fuite s'accompagnant généralement d'une modification locale de la température (voir figure 2). La sensibilité aux efforts mécaniques du décalage Brillouin a également été exploitée pour prévenir des glissements de terrains dans certaines

FIGURE 2 - Principe d'un capteur à fibre optique distribué destiné à la localisation de fuites le long d'un pipeline



“ **Les capteurs à fibre optique présentent un avantage particulier par rapport aux capteurs traditionnels car ils permettent de mettre en œuvre une technologie rendant possible la réalisation de mesures distribuées.** ”

zones géographiques à risque. Typiquement, les systèmes commerciaux exploitant cette technologie permettent d'obtenir une résolution spatiale de l'ordre du mètre sur une portée de plusieurs dizaines de kilomètres.

La diffusion Raman, quant à elle, provient de l'interaction entre l'impulsion optique et les modes de vibration des molécules constituant la fibre. Elle fut découverte par le physicien indien C. Raman qui reçut le prix Nobel de physique en 1930. L'optique quantique permet d'expliquer que le passage de molécules d'un mode de vibration à un autre suite à l'interaction avec une onde optique incidente s'accompagne d'une émission de photons dont l'énergie est différente de celle des photons incidents. Il en résulte que le passage d'une impulsion optique de puissance relativement importante (une puissance de crête supérieure à 1 Watt est nécessaire pour générer la rétrodiffusion Raman) dans la fibre génère un signal rétrodiffusé dont la fréquence optique est différente de celle de l'onde incidente selon un décalage de l'ordre de 13 THz. Puisque l'efficacité de la diffusion Raman dépend de la température du milieu, des capteurs distribués de température ont pu être développés. Ils se basent sur la mesure de la puissance rétrodiffusée par effet Raman en fonction de la position

de l'impulsion incidente dans la fibre optique. Les capteurs Raman présentent une résolution spatiale et une portée typiques de respectivement un mètre et de quelques kilomètres. Ils ont été utilisés avec succès pour la détection de début d'incendie dans les tunnels et la localisation de problèmes dans les puits de pétrole.

La technologie des fibres optiques est à l'heure actuelle la seule approche permettant d'effectuer des mesures distribuées. Les capteurs à fibre optique distribués constituent un bel exemple d'application de phénomènes physiques complexes (les effets de diffusion de la lumière) pour la réalisation d'instruments de mesure performants et directement utiles à la société puisqu'un grand nombre d'applications ont pour objectif d'améliorer la sécurité des personnes. Notons que des recherches sont actuellement menées dans le but d'améliorer la résolution spatiale. Ainsi, une résolution millimétrique a été obtenue avec la rétrodiffusion Rayleigh pour la mesure distribuée de contraintes mécaniques et de température sur une portée d'une centaine de mètres. Signalons également qu'une résolution centimétrique est dorénavant possible avec les capteurs à effet Brillouin. Aucun dispositif de ce type n'est cependant disponible sur le marché.

LES CAPTEURS CHIMIQUES SUR FIBRE OPTIQUE



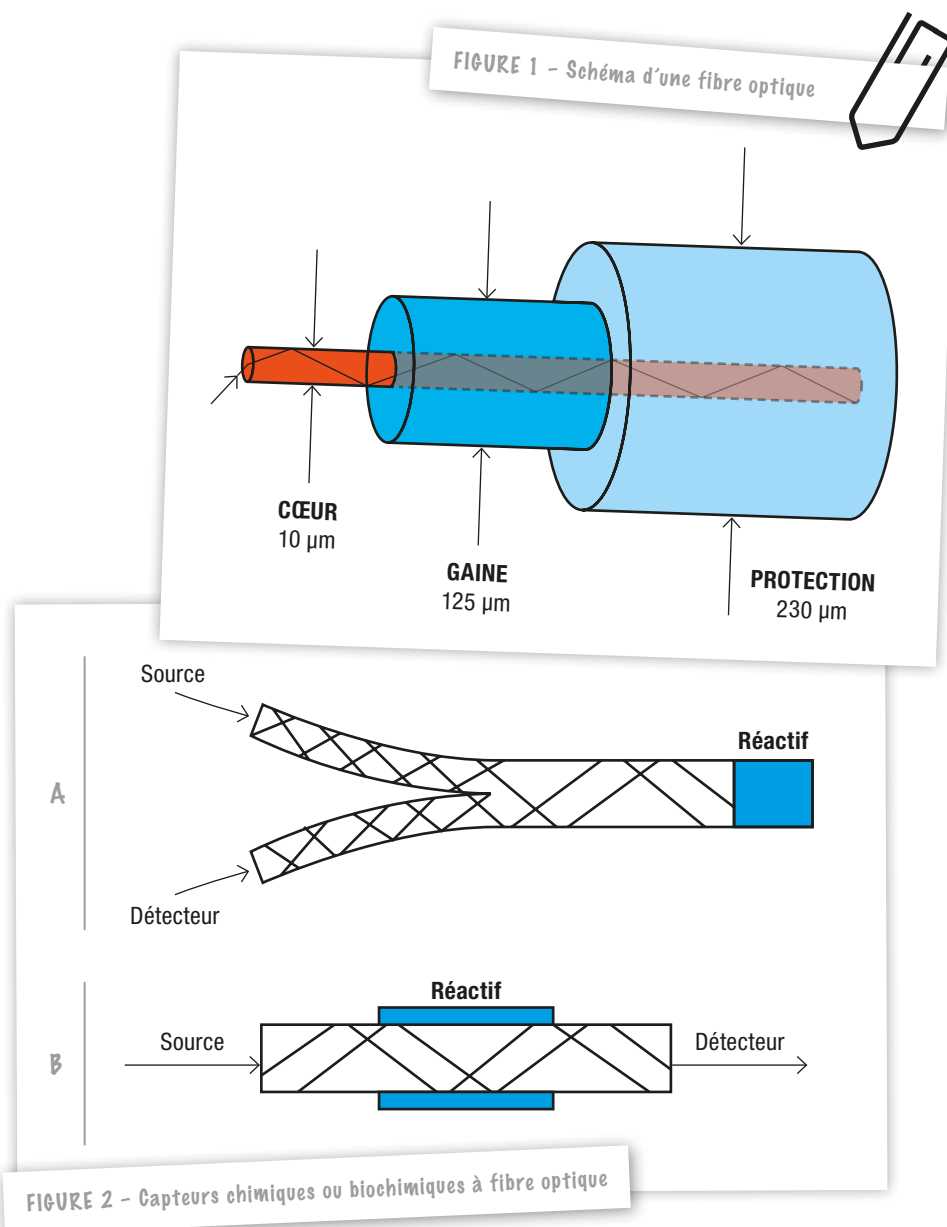
☒ Dr Marc Debliqy, Service de Science des Matériaux

Ces dernières années, la demande en méthodes de détection d'espèces chimiques et de mesure de leur concentration a considérablement augmenté. Cet intérêt est essentiellement dû aux considérations environnementales, de sécurité, de contrôle de procédé ou de diagnostic médical rapide. Les capteurs chimiques ou biochimiques sont généralement des systèmes simples constitués d'une couche sensible permettant la reconnaissance de l'espèce avec laquelle elle interagit et d'un système transducteur transformant l'interaction chimique en un signal électrique ou optique. Ainsi l'ad(b)sorption d'une espèce peut provoquer une modification de la conductivité, de la permittivité, de la densité ou de l'indice de réfraction de la couche sensible.

Les principaux avantages des capteurs chimiques sont : leur faible encombrement, leur faible consommation énergétique, leur faible coût, les temps de réponse relativement courts. Ce sont des instruments idéaux pour les mesures sur site (y compris dans le domaine médical) et le contrôle de procédé en ligne. La principale difficulté dans la mise au point de ces capteurs est le développement de couches sensibles présentant une sensibilité, une sélectivité et une durabilité satisfaisante pour l'application ciblée.

Ce dossier traitera des capteurs utilisant une méthode de détection optique. Une façon simple et élégante d'exploiter le signal optique d'une couche est de la déposer sur une fibre optique et de mesurer les variations de la transmission de la lumière dans cette fibre suite aux interactions avec l'espèce à détecter. Ces capteurs utilisent des fibres optiques conçues initialement pour les réseaux de télécommunications ou des guides optiques intégrés.

Nous ne reviendrons pas sur les principes généraux du fonctionnement des fibres mais retenons que la fibre optique est constituée de cylindres concentriques avec un cœur entouré d'une gaine possédant un indice de réfraction légèrement inférieur à celui du cœur pour assurer le guidage de la lumière par réflexion interne totale. La gaine est elle-même recouverte d'une jaquette pour la protection mécanique (figure 1). Les fibres standards utilisées pour les télécommunications sont réalisées en silice avec un cœur de 8 μm de diamètre et une gaine de 125 μm . Les fibres à base de polymères (de nombreux types existent) qui présentent l'avantage d'être plus souples et moins cassantes sont aussi envisageables. Remarquons que, par principe, la détection est possible aussi bien en phase liquide que gazeuse.



Les fibres optiques sont exploitées classiquement de 2 manières : la couche sensible est déposée soit en bout de fibre, soit le long de la fibre. La figure 2 présente les deux principaux schémas de capteurs chimiques à fibre optique. En configuration « détection en bout de fibre », le matériau spécifique se trouve au bout de la fibre clivée à angle droit (figure 2a). Il s'agit, en général, d'une substance dont l'indice de réfraction (partie réelle ou imaginaire) varie en présence de l'espèce à détecter ou qui présente des propriétés de fluorescence qui sont modifiées en présence de l'espèce à détecter. On analyse alors la lumière réfléchie au bout de la fibre. En gros, une fibre amène la lumière excitatrice,

une seconde fibre transporte le signal émis par le matériau spécifique à une longueur d'onde qui peut être celle de la lumière excitatrice (variation de l'indice qui se manifeste par une variation de la lumière réfléchie) ou qui peut être différente (variation du spectre de fluorescence, phosphorescence). Ce type de capteur est appelé opt(ro)de. Par exemple, une optrode pour la détection de pH peut être constituée d'un indicateur de pH immobilisé dans une matrice poreuse au bout d'une fibre.

Un capteur d'oxygène dissous a été mis au point exploitant les variations de fluorescence d'une couche à base d'un complexe de ruthénium et de

nombreux capteurs enzymatiques utilisant aussi des phénomènes de fluorescence ont été développés. L'intérêt principal de ce type de capteur est que la sonde est très fine, ce qui permet une mesure très locale et, comme la mesure est déportée, la distance peut être assez grande entre le point de mesure et l'électronique d'interrogation. C'est très intéressant quand l'accès est difficile et pour l'insertion dans un endoscope ou un cathéter. Dans la configuration à la figure 2b, le principe est d'enlever la gaine pour mettre le cœur à nu sur une portion de la fibre. On dépose alors sur le cœur, un matériau sensible (par exemple, un polymère) ayant des propriétés d'absorption spécifique pour l'espèce à détecter. L'espèce absorbée modifie l'indice optique du matériau spécifique et, par là-même, la puissance lumineuse transmise par la fibre. On perturbe, en effet, la propagation de l'onde évanescente à l'interface cœur-couche sensible.

Le matériau spécifique servant de gaine optique doit être choisi avec certaines propriétés optiques (transparence, indice optique dans une certaine gamme) et des propriétés de reconnaissance moléculaire (matériaux pour la chromatographie en phase gazeuse). Ces systèmes sont en cours d'étude, en particulier pour la détection des hydrocarbures et pour la détection de biomolécules. Le problème de cette technique est la nécessité de creuser dans la gaine de silice initiale pour mettre le cœur en contact avec la couche sensible, ce qui fragilise fortement la structure.

Plus récemment, un capteur basé sur des fibres pourvues d'un réseau de Bragg a été étudié. Un réseau de Bragg (figure 3) dans une fibre (Fiber Bragg Grating FBG en anglais) consiste en une structure périodique formée par une modulation de l'indice de réfraction du cœur, structure qui se comporte pratiquement comme un miroir pour une bande spectrale très fine autour d'une longueur d'onde caractéristique λ_B (longueur d'onde pour laquelle il y a accord de phase entre les multiples réflexions au sein du réseau) ; les autres longueurs d'onde n'étant pas en phase interfèrent destructivement et sont donc transmises. Cette longueur d'onde caractéristique, appelée longueur d'onde de Bragg, est définie par : $\lambda_B = 2 n_e \Lambda$. Λ est la période du réseau et n_e , l'indice effectif dans le cœur. L'inscription de ces réseaux de Bragg est effectuée à l'aide de diverses techniques faisant appel à des lasers. Les caractéristiques finales d'un réseau de Bragg (longueur d'onde de Bragg λ_B , la réflectivité R_{max} à λ_B et la largeur à mi-hauteur du pic) dépendent des paramètres d'inscription comme le type de laser (longueur d'onde, régime de fonctionnement) et la puissance utilisée, la longueur L sur laquelle il est inscrit, l'indice effectif n_e de la fibre, l'amplitude de la modulation d'indice Δn . Le fait remarquable est que la longueur d'onde de Bragg dépend de la température et des contraintes appliquées à la fibre et, en tant que tel, une fibre munie d'un réseau de Bragg peut être utilisée comme capteur de contrainte ou de température

par le simple suivi d'un décalage de λ_B . De plus, on peut placer en cascade plusieurs réseaux de longueurs d'onde de Bragg différentes sur la même fibre (typiquement jusque 40). On peut ainsi faire du monitoring tout au long d'une fibre et réaliser de la mesure quasi-distribuée sur de longues distances.

Pour en faire un capteur chimique, on dépose sur la fibre une couche qui permet un changement de température (échauffement par réaction avec la couche) ou de contrainte (gonflement suite à l'adsorption). Les principales réalisations concrètes sont des capteurs d'hydrogène exploitant une couche de Palladium ayant une grande affinité pour l'hydrogène et qui gonfle de manière importante en absorbant ce gaz. Le gonflement se traduit par une contrainte sur le réseau de Bragg et donc un décalage de la longueur d'onde de Bragg.

Une autre réalisation se base sur le dégagement de chaleur lors de la combustion catalytique de l'hydrogène sur une couche sensible recouvrant une fibre munie d'un réseau de Bragg. Ce type de capteur est particulièrement intéressant pour le monitoring sur longues distances (pipelines, grands stockage) pour lesquelles l'utilisation de capteurs ponctuels devient prohibitive. En inclinant les réseaux fibrés, on peut coupler la lumière avec le milieu extérieur. On obtient alors un spectre transmis plus riche contenant, outre le pic de Bragg, un ensemble de résonances sensibles aux variations d'indice de réfraction du milieu extérieur (figure 4). Ces réseaux appelés TFBG (Tilted Fiber Bragg Gratings) constituent alors des refractomètres sensibles.

Il existe plusieurs méthodes de traitement du spectre pour extraire l'information utile et, moyennant, une calibration du « déplacement » du spectre, on obtient une mesure de l'indice de réfraction avec une résolution typique de 10^{-5} RIU. En déposant une couche sensible dont l'indice de réfraction est modifié par l'interaction avec une espèce cible, on obtient un réseau dont le spectre est influencé par la présence de cette molécule. Grâce à une calibration, on obtient une mesure quantitative de la concentration. Ce type de capteur jouit des mêmes avantages que les capteurs à base de réseaux de Bragg traditionnels (encodage en longueur d'onde, multicapteur sur une même fibre). On a ainsi pu réaliser un capteur quasi-distribué de pH, de NO_2 (pollution dans les tunnels routiers) ou de Composés Organiques Volatiles (COV).

Les TFBG recouverts d'une mince couche d'or (20-50 nm) permettent l'exploitation des effets plasmoniques qui amplifient la sensibilité aux variations d'indice de réfraction (10^{-6} RIU). Le greffage sur la surface d'or de récepteurs spécifiques permet la détection et la quantification de biomarqueurs à faible concentration grâce à une augmentation locale de l'indice de réfraction. Ces capteurs plasmoniques de très petites dimensions ouvrent de grandes perspectives dans le domaine du diagnostic médical. En effet, on peut espérer pouvoir faire des mesures in situ sans la nécessité d'effectuer des prélèvements parfois invasifs (figure 5).

FIGURE 3 - Schéma d'un réseau de Bragg

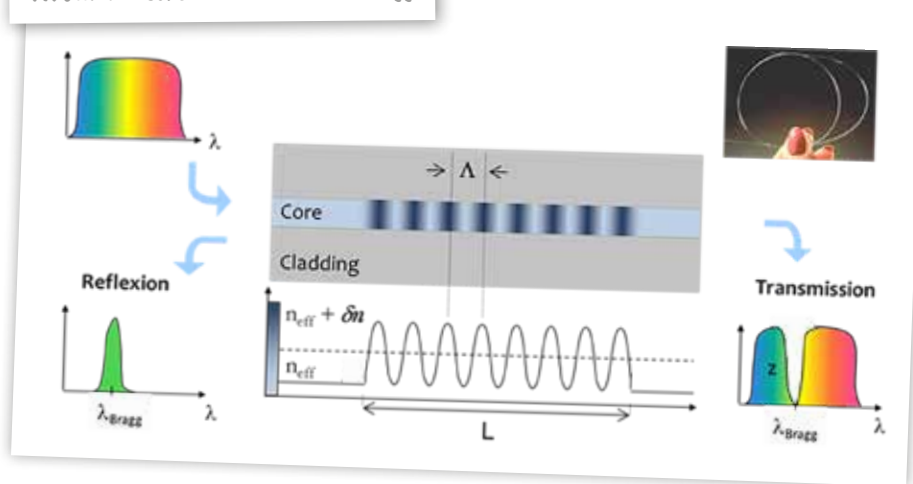
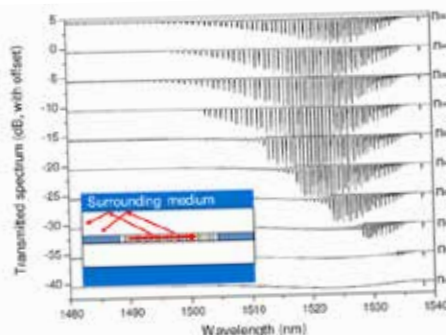


FIGURE 5 - Capteur plasmonique dans un poumon



FIGURE 4 - Schéma d'un réseau de Bragg incliné et influence de l'indice extérieur

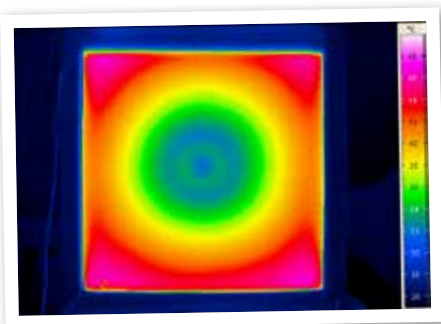


LES TECHNIQUES OPTIQUES DE POINTE AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR

De nombreuses techniques utilisant la lumière sont employées dans le domaine de l'ingénieur, aussi bien en laboratoire pour effectuer des analyses pointues que sur le terrain pour faciliter le travail de l'ingénieur. Polytech News vous présente un florilège des techniques utilisées dans les différents départements de la FPMs.

La thermographie infrarouge ou la mesure non-intrusive de la température de surface des corps

☒ Dr Delphine Lupant, Service de Thermique et Combustion



Tous les corps émettent de l'énergie par rayonnement proportionnellement à leur température. Ce rayonnement est visible à haute température (métal en fusion, soleil, ...) mais se produit dans l'infrarouge lointain (autour de $10\ \mu\text{m}$) à température ambiante. La caméra de thermographie infrarouge mesure l'intensité du rayonnement thermique dans cette gamme de longueur d'onde grâce à la variation de résistance d'éléments sensibles en silicium. Cette intensité est ensuite convertie en température moyennant la connaissance de certains paramètres.

Le plus important est l'émissivité de la surface qui doit être la plus élevée possible afin de minimiser les réflexions parasites du rayonnement des corps environnants sur la surface visée. Cette technique de mesure est largement utilisée dans le domaine du bâtiment en tant, par exemple, qu'outil de détection des ponts thermiques. Dans le cadre de projets menés dans le Service de Thermique et Combustion, elle est notamment utilisée pour mesurer l'efficacité du refroidissement par jet d'une surface plane à partir de la température de cette surface.

Une table à mouvements croisés à capteur laser pour la caractérisation des roches

☒ Dr Fanny Descamps, Service de Génie minier

Le Service de Génie Minier a développé une table à mouvements croisés équipée d'un capteur laser. Cet équipement permet de scanner la surface d'échantillons de roches pour déterminer le volume de roche détruit lors de tests spécifiques (abrasivité,

poinçonnage, coupe). En effet, en destructibilité, un intérêt est porté sur l'énergie spécifique (c'est-à-dire, l'énergie nécessaire par unité de volume), l'objectif étant de détruire un maximum de roche en dépensant un minimum d'énergie. Une autre

application de ce dispositif est la caractérisation de la géométrie de fractures naturelles ou artificielles (rugosité) laquelle joue un rôle important dans l'étude du transport de fluides à travers les fractures.

La caractérisation optique des matériaux métalliques

☒ Prof. Fabienne Delaunois, Dr. Véronique Vitry, Service de Métallurgie

De nombreuses techniques sont actuellement utilisées en métallurgie pour caractériser la composition chimique et la microstructure des alliages métalliques. En effet, que peut-on faire si on soupçonne un problème de validité de la composition chimique d'un alliage métallique suite à une défaillance ? La spectrométrie de fluorescence de rayons X, technique non-destructive, permet très rapidement d'obtenir la composition chimique élémentaire de l'alliage. Les rayons X sont utilisés pour exciter les atomes présents dans l'alliage ; ceux-ci émettent des rayons X à énergie caractéristique de chaque élément présent dont

l'intensité et l'énergie sont ensuite mesurées. Facile et rapide d'utilisation, cette technique ne permet malheureusement pas de détecter les éléments plus légers que l'aluminium tels que, notamment, le carbone. La fluorescence de rayons X permet, par exemple, de prouver que si une armature en acier (alliage fer-carbone) rouille, c'est parce que celle-ci n'est pas réalisée en acier inoxydable et qu'elle ne contient pas de chrome en quantité minimale de 11% pds.

Quand une canalisation d'eau sanitaire en acier galvanisé présente des fuites, comment comprendre

l'origine de la corrosion ? La microscopie optique, et notamment la microscopie numérique, permet d'observer les piqûres qui sont à l'origine des fuites, d'étudier l'état de la surface interne du tuyau et la morphologie de la couche de galvanisation protectrice, de vérifier l'intégrité de la soudure, et finalement d'apporter des éléments permettant de comprendre les mécanismes de la corrosion. Contrairement au microscope optique classique, le microscope numérique ne comporte pas d'oculaires et une caméra numérique fait office de détecteur. Un logiciel informatique permet de reconstruire et d'analyser les images en 3D.

Le théodolite laser : un instrument pour les relevés topographiques ultra-précis

☒ Prof. Edouard Rivière-Lorphèvre, Service de Génie mécanique, Dr. Fanny Descamps, Service de Génie minier

L'utilisation d'appareils optiques est fréquente en métrologie, le théodolite en est un bon exemple. Il est constitué d'une lunette qui permet de viser les différents points d'intérêt sur des bâtiments ou des détails naturels. Deux rapporteurs mesurent les angles orientant la visée dans le plan horizontal et par rapport à celui-ci.

La résolution de triangles quelconques permet ensuite de calculer les positions des points par rapport à l'appareil. Historiquement, seules les mesures angulaires permettaient une précision importante. La minute d'arc était accessible dès le début du 20^e siècle (ce qui implique un écart maximal de 0,5 mm à 100 m) alors que les techniques de mesure de distances étaient à peine précises au centimètre.

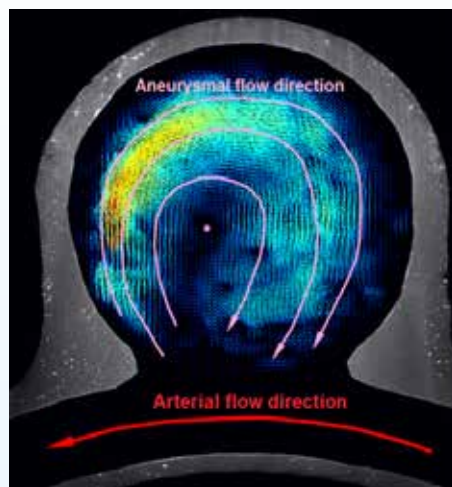
L'évolution technologique a permis l'adjonction d'une mesure de distance laser de telle sorte qu'on parle maintenant de station totale.

À la FPMs, les services de Génie Mécanique et de Génie minier sont équipés d'une station totale. La précision de ces équipements est de quelques secondes d'arc en angulaire et de quelques mm en distance, tout en permettant des visées à plusieurs centaines de mètres. Le matériel est employé à la fois par les étudiants (mines, architecture) pour des travaux pratiques et pour les projets d'architecture mais aussi dans les projets de recherche en collaboration avec les carrières ; par exemple, pour la mise à jour de la topographie pour l'actualisation de modèles tridimensionnels des exploitations.



La vélocimétrie par imagerie particulaire : détermination expérimentale du champ de vitesse d'écoulement de fluides

☒ Prof. Grégory Coussement, Service de Fluides-Machines



En avril 2016, dans le cadre des crédits extraordinaires d'équipement de recherche, la demande conjointe des services de Biologie des organismes marins et Biomimétisme, de Cardiologie, de Thermique et Combustion, et de Fluides-Machines a abouti à la réception et la mise en opération d'un dispositif PIV (Particle Image Velocimetry) stéréoscopique de dernière génération proposé par LaVision.

Un système PIV permet une mesure optique des champs de vitesse d'écoulement de fluides (liquides ou gaz) instantanément dans des configurations géométriques variées. Ce système optique utilise, pour ce faire, un laser illuminant, au travers d'un plan laser, des traceurs ensemençant l'écoulement investigué et qui suivent le mouvement du fluide. Une caméra enregistre les positions des traceurs

et un ordinateur traite les images au moyen d'algorithmes de corrélation pour déterminer le champ de vitesse. On parle de PIV stéréoscopique (2D3C PIV) lorsqu'au sein du plan laser, les trois composantes de la vitesse sont mesurées.

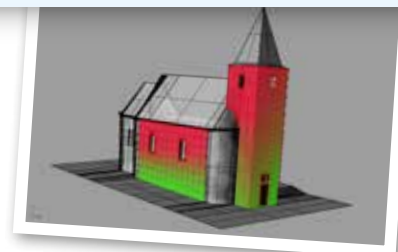
Pour les services associés, l'intérêt de ce dispositif est de permettre une mesure non-intrusive du champ de vitesse au sein d'un milieu fluide transparent tel que l'écoulement autour d'organismes marins benthiques, l'écoulement turbulent au sein de chambres de combustion diluées ou sans flamme, l'hémodynamique pulsatile in vitro dans le réseau artériel en présence de différentes pathologies (anévrismes et sténoses) et dispositifs curatifs tels que des stents dans des conditions de flux variées.

Le LIDAR au service de l'architecture

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

La lasergrammétrie ou LIDAR (Light Detection And Ranging) permet de relever, avec exactitude, la géométrie d'un objet par le balayage de mesures effectuées au laser. Le laser est une source d'émission stimulée de rayonnement électromagnétique tel que décrit dans les recherches d'Albert Einstein sur l'absorption et l'émission de lumière. Il faudra, néanmoins, attendre 1960 pour que le physicien américain Theodore Maiman produise la première émission laser de l'histoire.

Dans le cadre de ses projets de recherche, le Département de Génie Architectural et Urbain a, notamment, appliqué cette technique à l'étude de l'Eglise de Petit-Hallet (Liège). Le scanner dont le service dispose est un scanner par temps de vol : la distance séparant le LIDAR du point de visée est calculée en mesurant le temps nécessaire au faisceau laser, émis par le LIDAR et réfléchi à la surface de l'objet, pour effectuer un aller-retour. La position d'un point particulier de l'objet visé par



le scanner laser, placé à l'origine, est définie par des coordonnées sphériques (r , ϕ , θ).

En conservation du patrimoine, ce type de relevé permet, non seulement, de quantifier la déformation d'une structure mais constitue également un document historique puisqu'il reproduit avec exactitude sa configuration à un moment donné de son histoire.

Les fabrications par faisceaux ou comm au façonnage d'une pièce mécanique

☒ Anthonin Demarbaix, Adrien Dolimont, Dr François Ducobu, Service de Génie Mécanique

À côté des procédés de fabrication traditionnels tels que la fonderie, le forgeage ou encore l'usinage, des techniques plus récentes sont de plus en plus utilisées pour fabriquer une pièce mécanique. Parmi celles-ci, certaines font intervenir un faisceau (d'électrons, laser) et permettent de former la géométrie souhaitée sans outil. Ces techniques peuvent être « soustractives » : on part d'un bloc dans lequel on enlève progressivement de la matière, ou « additives » : on construit, au fur et à mesure, la pièce en partant de rien. Les imprimantes 3D travaillant avec des plastiques constituent l'exemple le plus connu pour les procédés additifs.

LES PROCÉDÉS DE FABRICATION SOUSTRACTIVE

Les procédés de fabrication soustractive sont fortement utilisés dans la fabrication de micro-composants. La demande de ceux-ci est en pleine expansion dans différents domaines : le biomédical, l'aérospatial, l'électronique, ...

Les techniques mises en œuvre pour obtenir ces pièces, en petites et moyennes séries, peuvent être décomposées en deux grandes catégories : l'usinage avec contact ou sans contact. Les avantages de l'absence de contact entre l'outil et le matériau sont une précision plus importante, l'absence de vibrations et d'usure de l'outil, et l'usinage de formes impossibles à obtenir avec un outil. Dans le cas de l'usinage par faisceau laser, la productivité est cependant souvent faible par rapport à l'usinage à l'outil coupant.

Différents phénomènes ont lieu durant l'interaction entre le faisceau laser et le matériau. L'enlèvement de matière se fait par ablation et est basé sur deux mécanismes : l'évaporation et l'éjection de la masse fondue. Un mécanisme domine l'autre en fonction de la durée de pulsation (cf. Figure 1). Les lasers peuvent donc être classés en fonction de leur durée de pulsation : le laser continu, le laser à pulsations courtes et le laser à pulsations ultra-courtes. Le laser continu utilise le mécanisme basé sur l'éjection de la masse fondue au contraire du laser à ultra-courtes pulsations qui utilise l'autre mécanisme. Le choix du laser se fera en fonction du matériau et de ses caractéristiques d'absorption.

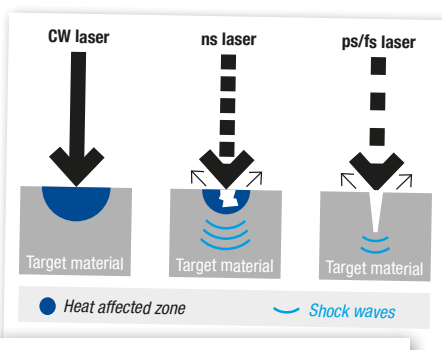


FIGURE 1 - Illustration des zones affectées thermiquement pour différents types de laser (CW : continu, ns : pulsations courtes, pf/fs : pulsations ultra-courtes).

Source : www.industrial-lasers.com/articles/2012/06/femtosecond-laser-micromachining-a-back-to-basics-primer.html

Le service de Génie Mécanique s'intéresse plus particulièrement à l'usinage de pièces complexes en céramique à partir d'une machine hybride développée en collaboration avec la société OPTec. Cette machine est la combinaison de deux procédés distincts : le fraisage et l'usinage laser.

Dans la céramique, cet usinage peut être réalisé à différents stades de la production : l'état « dense », l'état « cru » et l'état « pré-fritté ». En effet, la production de la céramique s'effectue en différentes étapes. D'abord, la poudre est compactée avec des additifs pour former un « cru ». Celui-ci est ensuite fritté à des températures de l'ordre de 1500°C afin que le produit développe sa structure céramique polycristalline et permette ainsi d'obtenir une céramique « dense ». Ce processus peut être interrompu par une étape intermédiaire en frittant le matériau avec un palier de température adéquat (environ 900°C) pour donner des propriétés mécaniques intermédiaires. Cette céramique « pré-frittée » est fortement utilisée dans le milieu dentaire pour la fabrication des bridges et des couronnes. Les prothésistes peuvent ainsi réaliser ces pièces à l'aide de petites fraiseuses ayant des caractéristiques suffisantes. En effet, la puissance de ces machines est modérée grâce aux faibles efforts entre l'outil et le matériau.

L'usinage laser d'une céramique « dense » est un processus très lent à cause de la dureté du matériau et peut entraîner l'apparition de fissures à cause de la fragilité du matériau. La propagation de ces fissures peut, dès lors, entraîner la ruine de la pièce. L'avantage d'usiner dans un état en amont est que les fissures générées peuvent être réduites lors du retrait au frittage.

Les essais d'usinage laser dans une céramique pré-frittée ont permis de mettre en évidence l'importance du choix du laser : un frittage local peut apparaître si la durée de pulsation est trop importante. Ce frittage local aura des conséquences désastreuses sur la pièce finale car celle-ci aura été fragilisée. En effet, la pièce doit subir un gradient température uniforme pour obtenir les propriétés mécaniques recherchées. L'usinage d'une pièce pré-frittée peut-être réalisé avec un laser à pulsation ultra-courte, mais le temps d'usinage sera également impacté.

L'usinage laser dans une céramique crue est également complexe, notamment à cause de la fragilité importante du matériau. Le constat est similaire au cas précédent mais les additifs peuvent jouer un rôle favorable. En effet, les échanges entre ces additifs et la source laser peuvent favoriser l'évaporation malgré l'utilisation d'un laser à pulsation courte et devenir compétitifs par rapport au fraisage à l'outil coupant. Ce constat a pu être mis en avant dans le cadre du projet de recherche collective LAMAC (LAsEr MACHining of Ceramics) en collaboration avec le CRIBC.

Enfin, le déplacement de la source de chaleur (le laser) aura aussi une influence sur un état cru. Le trajet du faisceau peut conduire à une interaction plus ou moins longue entre ce faisceau et le matériau et donc entraîner également un frittage local. Ce déplacement a été modélisé par éléments finis en utilisant l'équation de Rosenthal (cf. Figure 2). Cette première approche permet de modéliser différentes trajectoires et, ainsi, de visualiser l'échange de chaleur à chaque instant entre le matériau et la source. La définition d'un seuil de température permet d'accepter ou de rejeter une stratégie et d'en proposer d'autres, inédites en usinage laser.

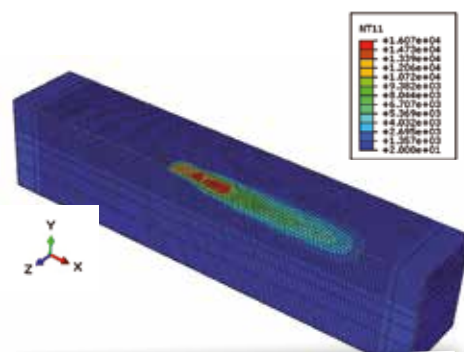


FIGURE 2 - Champs de température à un instant t d'une source de chaleur en déplacement obtenu par calcul aux éléments finis

ent la lumière participe



LES PROCÉDÉS DE FABRICATION ADDITIVE

Les procédés de fabrication additive sont en pleine expansion. Les prémices de la fabrication additive remontent au début des années 80 avec le développement de la stéréolithographie. Ces techniques ont longtemps été utilisées dans un but de visualisation de produits pour validation dans le cycle de fabrication. Les matériaux mis en œuvre étaient limités aux polymères. Le développement de ces techniques et l'élargissement de la gamme de matériaux aux métaux permettent aujourd'hui de fabriquer en « produit fini » des pièces dotées de réelles propriétés mécaniques.

Ce procédé de fabrication devrait ainsi permettre de passer d'une application de prototypage à une production de pièces finales. La fabrication additive est de plus en plus répandue dans des domaines à haute valeur ajoutée : biomédical, aérospatial, ... Cette technologie est également largement utilisée pour le développement de nouveaux produits. Elle présente des avantages indéniables. D'abord, elle n'utilise que la matière nécessaire (ou presque) et produit donc moins de déchets que les procédés par enlèvement de matière. Cette particularité permet de diminuer le coût en matériau. Ensuite, contrairement aux autres procédés, elle libère les contraintes géométriques de fabrication, d'autant plus que la complexité des pièces n'augmente pas leur prix de revient. Enfin, elle permet également de fabriquer des pièces impossibles à réaliser avec d'autres procédés (structures avec une porosité contrôlée, ...). Grâce à cette technologie, il est possible de réduire le temps nécessaire pour lancer un produit sur le marché.

La fabrication additive est basée sur un principe simple, à savoir une construction couche par couche d'un modèle à partir d'un fichier 3D issu de la CAO (conception assistée par ordinateur). La grande avancée réside dans l'utilisation de métal. Les nouvelles techniques utilisent une poudre de métal au lieu d'une résine polymère. La poudre est fondue pour créer chaque couche et, ainsi, construire la pièce en 3D. Ce processus permet donc d'obtenir des pièces denses en métal. Quelques technologies permettent la fusion de la poudre de métal (SLM, SLS, EBM, ...). Ces techniques se différencient par le faisceau d'énergie utilisé (laser ou faisceau d'électrons). Elles permettent la mise en forme d'une large gamme de matériaux tels que des alliages de titane, d'aluminium, de chrome, ...

L'Electron Beam Melting (EBM) est une de ces technologies. Elle permet la fabrication de pièces métalliques denses via une construction couche par couche à partir d'un modèle 3D. Cette technique utilise un canon à électrons qui génère l'énergie nécessaire pour faire fondre la poudre. Le faisceau d'électrons est dirigé par deux bobines magnétiques. Ce procédé est appliqué sous vide et à haute température pour limiter les contraintes internes. La technologie EBM a été développée à l'Université technologique de Chalmers à la fin des années 90 et commercialisée par la compagnie suédoise ARCAM AB au début des années 2000. Elle a été reconnue comme une méthode compétitive pour la fabrication additive sur lit de poudre. Cette technologie fait l'objet d'une thèse de doctorat au sein du service de Génie Mécanique. Cette thèse est menée en étroite collaboration avec Safran Aero

“ **L'Electron Beam Melting (EBM) permet la fabrication de pièces métalliques denses via une construction couche par couche à partir d'un modèle 3D. Cette technique utilise un canon à électrons qui génère l'énergie nécessaire pour faire fondre la poudre.** ”

Booster et le Sirris de manière à directement prendre en compte les besoins industriels.

Le développement de nouveaux produits dans des applications mécaniques telles que les applications de contact (solide-solide (prothèses) et fluide-solide (turbomachines)) nécessite une étude des états de surface obtenus avec la mise en œuvre des procédés de fabrication additive. La technologie EBM présente une faiblesse au niveau des états de surface obtenus (rugosité



Pièce obtenue par EBM, impossible à fabriquer avec un procédé traditionnel

arithmétique $Ra > 25 \mu m$). Elle rend des opérations de finition nécessaires étant donné que pour une application de contact, les rugosités visées sont de l'ordre de $1,6 \mu m$ à $0,1 \mu m$ en Ra. Le service de Génie Mécanique possède une bonne expertise dans l'usinage traditionnel. Il s'agit d'une technique qui est justement utilisée pour effectuer de telles opérations de finition. Mais, ces finitions soulèvent plusieurs interrogations au niveau des trajectoires d'usinage, de l'orientation des outils, de la dimension de la pièce brute, de la caractérisation mécanique de l'usinage, ... En outre, cette technologie est utilisée pour une fabrication en petites séries. Il est donc toujours nécessaire de caractériser le processus EBM avant la finition (capacité de répétabilité, ...). Le comportement mécanique des pièces avant et après l'opération de finition est également étudié. Étant donné les domaines d'application (l'aéronautique par exemple), une attention particulière est accordée aux contraintes internes des pièces qui jouent un rôle prédominant, notamment dans la tenue en fatigue des composants, une caractéristique critique pour ce type d'applications.

VERS UNE MAÎTRISE COLORIMÉTRIQUE DU BÉTON

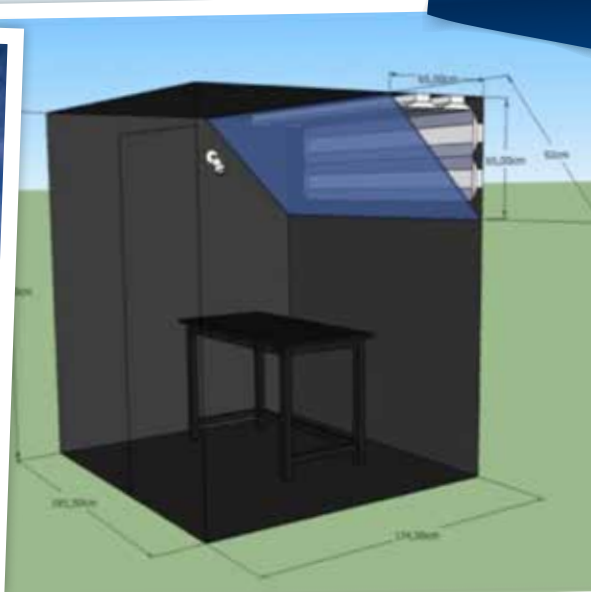


☒ Prof. Laurent Van Parys, Coralie Avez, Service de Génie civil et Mécanique des structures



L'église du Jubilé, architecte Richard Meyer, Rome, 2003

© Scott Frances/Otto



Chambre noire à source lumineuse (équipement situé sur le site du Jonequois)

Bien que connu depuis l'époque romaine, le matériau béton n'est vraiment né qu'au 20^e siècle, bénéficiant alors de la production à coût raisonnable d'un liant minéral aux excellentes propriétés : le ciment Portland. Le béton a depuis conquis ses lettres de noblesses grâce à trois qualités phares : **la possibilité de réaliser toutes les formes souhaitées, sa très bonne résistance à la compression** – qui, alliée à des aciers d'armature et/ou de précontrainte, permet de supporter des charges lourdes sur des portées parfois très grandes – **et son excellente résistance au feu**. En outre, à l'heure des habitats passifs, la massivité du béton apporte en construction légère l'inertie thermique nécessaire pour éviter la surchauffe et ainsi garantir le confort thermique du bâtiment.

Néanmoins, et malgré l'existence d'une filière de recyclage du béton de plus en plus performante (une fois broyé, le béton armé peut être particulièrement bien valorisé), le bilan environnemental du matériau fait encore débat. Le principal responsable de ce bilan mitigé est le ciment, dont le processus de fabrication reste très énergivore. Dès lors, pour réduire les coûts économique et environnemental du béton, il s'agit de minimiser la quantité de ciment introduite dans sa composition, tout en garantissant au produit fini – le béton mis en place – les performances exigées par l'utilisateur.

Historiquement, la maîtrise des performances s'est d'abord, et surtout, focalisée sur le volet mécanique du problème : avec des granulats donnés, quelle recette permet d'atteindre la résistance visée tout en minimisant la quantité de ciment ? Dans ce domaine, les travaux de Sedran et De Larrard au LCPC (France) ont débouché sur la mise au point d'outils informatiques de calcul utilisés quotidiennement par les entreprises actives dans la production du béton. Mais, force est de constater que le volet perceptif (texture et teinte) est resté le parent pauvre de ces études d'optimisation de performances de

bétons. Il n'était dès lors pas rare de voir sur chantier des éléments en béton qui, une fois durcis, étaient mécaniquement conformes et présentaient une texture acceptable (liée au revêtement du coffrage), mais dont la teinte, pas du tout maîtrisée, obligeait à camoufler la surface externe. Ces dispositifs de « masquage » (peintures, faux-plafond, enduits, ...) s'accompagnent de coûts économique et environnemental qui impactent la « durabilité » du béton et ne seraient, en outre, pas nécessaires si le processus de prédiction colorimétrique du produit fini était maîtrisé.

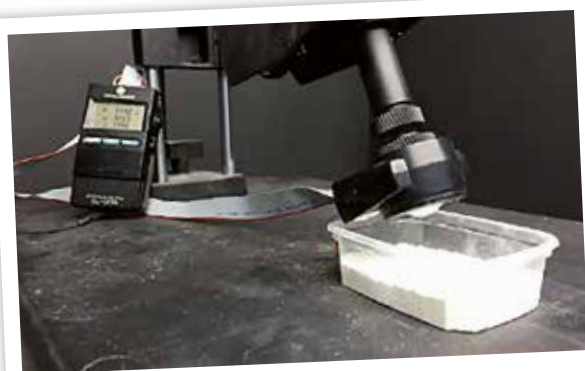
“ **Garantir une teinte-cible à partir des constituants du béton représente donc un défi où l'on pourrait s'inspirer de la fabrication « à la demande » qui se fait aujourd'hui pour les peintures.** ”

Garantir une teinte-cible à partir des constituants du béton représente donc un défi où l'on pourrait s'inspirer de la fabrication « à la demande » qui se fait aujourd'hui pour les peintures. Mais les mélanges de peintures et ceux de granulats n'obéissent pas aux mêmes lois... dès lors, comment mesurer et prédire la teinte du béton sur la seule base de sa composition ? Face à

un problème de couleur qui peut très vite prendre un caractère subjectif, une équipe d'étudiants de la Faculté Polytechnique (O. Astreoud, J. Lepine, I. Ottaviani, L. Leoskool, S. Rouge, Q. Dessoy, A. Isebaert) placée sous la direction des Professeurs Michel Renglet et Laurent Van Parys s'est attachée à développer un moyen efficace d'objectiver les aspects chromatiques du problème. Ce travail repose sur deux axes : le premier réside dans la mesure objective et reproductible de la chromaticité du matériau, le deuxième repose sur la capacité à prédire la couleur d'un béton sur base de sa composition. Ce deuxième axe se caractérise par la compréhension et l'établissement de lois de mélanges spécifiques, lois déjà existantes dans d'autres domaines mais qui ne peuvent être directement transposées au béton et à ses spécificités propres.

La première phase consiste donc à mesurer objectivement la couleur du béton. La couleur d'un matériau est conditionnée par la manière dont sa surface réfléchit le rayonnement lumineux incident. Généralement, on utilise un spectrophotomètre pour enregistrer, pour chaque longueur d'onde du rayonnement visible impactant l'échantillon, la quantité d'énergie réémise vers l'observateur. Cette information, véritable « carte d'identité » chromatique du matériau, est certes très riche mais, le matériel étant coûteux, fragile et encombrant, elle se révèle difficile à mettre en œuvre et quelque peu disproportionnée par rapport aux besoins réels du praticien sur chantier. L'équipe de travail de l'Université de Mons a donc choisi de développer un système alternatif, qui se focalise sur la perception de la couleur par l'observateur. La difficulté d'une telle approche consiste à mettre au point une méthode quantitative/objective (teinte chiffrée dans un référentiel) en lieu et place des démarches qualitatives/subjectives (teinte comparée dans un système relatif) souvent privilégiées jusque-là. La méthode, développée en collaboration avec le Centre Scientifique et Technique de la Construction (Arnaud Deneyer), allie un « œil » électronique avec un « cerveau » informatique afin de caractériser la teinte d'un béton ou d'un mortier de manière rapide, reproductible et objective. Le rôle de l'œil, qui reçoit le signal lumineux à interpréter, est joué par un *luxmètre-chromamètre*, appareil portable bien connu des éclairagistes. Léger, peu onéreux et particulièrement robuste, il se prête particulièrement bien à une utilisation sur terrain. Pour garantir l'uniformité des conditions d'éclairage, l'Université a développé une chambre de mesure, dans laquelle il est possible d'utiliser n'importe quelle source lumineuse, et même de simuler les conditions d'un ciel sans nuage – technologie inspirée par la Mirror Box du Centre Scientifique et Technique de la Construction, gérée par l'équipe d'A. Deneyer. Moyennant l'adjonction de dispositifs spécifiques de visée développés à l'Université, le luxmètre-chromamètre, permet de collecter les données colorimétriques qui seront ensuite analysées par le cerveau informatique. Celui-ci est constitué d'un ensemble d'*algorithmes* développés à l'Université, visant à remplir deux missions distinctes :

- D'une part, traduire l'information délivrée par le luxmètre-chromamètre dans un référentiel universel - en l'occurrence le système 'Lab' de la Commission Internationale de l'Eclairage - en associant à la teinte mesurée un triplet de coordonnées la désignant de manière univoque, permettant ainsi une comparaison objective par rapport à une couleur-cible ;



Capteur Luxmètre - Chromamètre légalement situé sur le site du Jonequois!

« L'équipe de travail de l'Université de Mons a choisi de développer un système alternatif, qui se focalise sur la perception de la couleur par l'observateur. La difficulté d'une telle approche consiste à mettre au point une méthode quantitative/objective en lieu et place des démarches qualitatives/subjectives souvent privilégiées jusque-là. »

- D'autre part, fournir des informations qualitatives, certes moins universelles, mais plus proche des réalités et habitudes de terrain – notamment un rapprochement avec les nuanciers RAL, NCS ou PANTONE chers aux architectes.

Une batterie de tests comparatifs menés avec un spectrophotomètre de laboratoire a permis de valider le couple œil électronique + cerveau informatique proposé, lequel fournit des résultats pertinents et reproductibles aussi bien en éclairage naturel (ciel avec ou sans nuages) qu'en éclairage artificiel (incandescence, décharge). En outre, puisque la méthode est basée sur l'impression colorée perçue par l'observateur, elle tient compte du fait qu'un même échantillon éclairé par deux sources différentes apparaisse de deux couleurs différentes (phénomène de métamérisme).

La seconde phase consiste à développer des lois de mélanges adaptées au béton, lesquelles permettront de prédire sa couleur finale (une fois durci) sur la seule base de sa composition. Le processus de développement des lois de mélange appliqués aux bétons s'articule autour de trois étapes.

- La première étape, d'**expérimentation**, s'attache à collecter un grand nombre d'informations sur le comportement des mélanges entre constituants usuels des bétons à l'aide du dispositif de mesure présenté ci-avant. Pour ce faire, des études préliminaires ont visé à étudier la couleur de mélanges de poudres sèches sous une lumière donnée (naturelle ou artificielle).
- La seconde étape, d'**interprétation**, permet d'établir les lois de mélanges. En théorie, les mélanges de granulats obéissent au modèle général de Kubelka-Munk. Ce modèle est cependant lourd et complexe de par le grand nombre d'entrées nécessaires. Au gré de ses recherches, l'équipe de Mons a pu montrer que les gammes de taille des granulats requis dans le béton permettent de simplifier le problème. Elle a ainsi développé une version dérivée du modèle de Grassman, un « Grassman hybride », qui tient compte de certaines spécificités des bétons, notamment de l'effet de « pollution » colorimétrique des petits grains du mélange sur les plus gros. En l'état actuel des recherches, le système permet de chiffrer la teinte d'un mortier ou d'un béton sur base de sa composition (même si la prédiction de luminance reste parfois problématique) ; il devient alors possible de prescrire la « recette » d'un béton pour obtenir une teinte-cible. Néanmoins, comme maîtriser l'esthétique seule n'est pas suffisant, l'approche adoptée à Mons consiste à développer un outil d'aide à la décision où l'optimisation multi-objectif permet de produire des recettes répondant aux objectifs selon plusieurs critères (résistance, migration d'eau, couleur).
- Ainsi, une dernière étape d'**implémentation** algorithmique permet le développement d'un outil informatique d'aide à la décision basé sur des modèles d'optimisation mathématique : puisant dans la base de données des constituants à disposition, cet outil estime la recette d'un béton qui valide, à la fois, les critères mécaniques nécessaires à la durabilité, mais aussi, les critères perceptifs liés à sa qualité esthétique.

La lumière, matière à révéler



☒ Chiara Fucelli, David Bayle, Service de Génie Architectural et Urbain

La lumière est un tout qui révèle le monde et nous emplit les sens.

Sa présence nous cajole et son absence nous rend triste.

Son corps reste insaisissable et son étreinte brûle la peau.

Sa finesse magnifie les espaces et son omniprésence dévoile les couleurs.

Son ombre dessine les volumes et son éclat affirme les perspectives.

Sa force modifie la matière et son intensité fait jaillir les bruits et les senteurs.

Sa précision marque le temps et sa complexité anime les pensées.



Tadao Ando, Koshino House © Martin Houra

LA LUMIÈRE ET L'ARCHITECTURE LIÉS DANS L'HISTOIRE

La lumière est un instrument au service de l'architecture. Elle a été au centre des compositions architecturales depuis des millénaires, même si l'héliocentrisme a dû attendre les premiers travaux de Copernic pour se faire une place dans le monde des sciences. Ce rapport entre la lumière et l'architecture a cependant évolué au fil de l'histoire de nos civilisations.

Cependant, l'arrivée de l'éclairage à l'électricité au 19^e siècle vient bouleverser la composition architecturale. Il n'est dès lors plus nécessaire

d'imaginer des ouvertures pour laisser entrer la lumière naturelle et améliorer le confort des habitants car l'électricité devient une réponse efficace.

Le 20^e siècle et les mouvements qui l'ont accompagné ne se sont pas exemptés d'une réflexion des liens entre lumière et architecture. Mais ils ont plutôt embrassé l'ensemble des possibilités techniques pour répondre avec plus de justesse aux volontés de l'écriture architecturale. Cela n'est pas sans rappeler les diagrammes de l'architecte Louis Kahn qui n'a pas manqué d'ingéniosité pour concevoir des dispositifs architectoniques permettant de manipuler la lumière naturelle. En cela, l'architecture du 20^e siècle a introduit un caractère esthétique de la lumière et a su jouer avec elle pour définir une ambiance. En 1923, dans son livre plaidoyer « Vers une architecture », Le Corbusier défendait : « L'architecture est le jeu savant, correct et magnifique des volumes assemblés sous la lumière ». Chez certains architectes comme le japonais Tadao Ando ou le suisse Peter Zumthor les projets prennent forme autour de la lumière et de son interaction avec la matière.

Le 21^e siècle a donné naissance à de nouvelles terminologies issues des réglementations énergétiques comme : la performance énergétique, les déperditions, la surchauffe, le facteur solaire... Cette technicité croissante a mené à des exigences réglementaires et des certifications environnementales pour définir des garde-fous qui se substituent aux recommandations locales.

Il est donc primordial de comprendre le phénomène complexe qu'est la lumière pour lui soutenir un besoin énergétique mais aussi des qualités sensorielles intrinsèques. L'introduction de la notion de confort dans la réglementation a permis de placer les usages de l'habitant au cœur des réflexions.

UNE NOTION COMPLEXE

La compréhension de ce phénomène complexe est un élément majeur dans l'enseignement de l'architecture aux étudiants. Dans son livre, « De la forme au lieu », qui ne masque pas son caractère pédagogique, Pierre Von Meiss précise que « la composition architecturale peut être considérée comme l'art de disposer et de doser des sources de lumières primaires et secondaires (réfléchies) dans l'espace ». Mais il reconnaît bien la difficulté que peuvent rencontrer les personnes qui l'appréhendent : « Nos instruments habituels, le plan et la coupe, ne rendent compte de cette réalité que de manière lacunaire ; même la maquette à échelle réduite est trompeuse ».

Toutefois, c'est par touches successives et constantes que l'étudiant parvient à cerner ce phénomène. L'exercice mental et l'expérience réelle permettent à l'étudiant d'entrevoir une pluralité de situations et de processus. Ainsi, un vocabulaire architectural se dessine tout au long de son parcours pour obtenir un savoir-faire lié à la lumière.

L'APPROCHE PÉDAGOGIQUE

La lumière peut être directe ou indirecte, diffusée ou réfléchie, filtrée, colorée ou neutre... Dès les premiers exercices de bachelier, la lumière naturelle est une des composantes essentielles du projet. Dans le but de saisir plus facilement ce phénomène, le programme est utilisé comme un support de l'exercice et la lumière en est l'interrogation. Il est demandé de travailler un volume intérieur et les ouvertures qu'il peut avoir vers l'extérieur et d'en comprendre leurs interconnexions.

Par la suite, les différents exercices incluront une réflexion grandissante afin d'intégrer les questions sur l'implantation d'un bâtiment, le rapport entre lumière extérieure et matière, la prise en compte de l'énergie solaire et du confort, ... pour aboutir sur une définition précise de l'étudiant du facteur « lumière » sur le projet développé.

L'ensemble de son parcours lui permettra de développer des réponses architectoniques qui prennent en compte la lumière : pour son caractère naturel qui relie à une temporalité, pour sa justesse qui induit un usage, pour son apport énergétique qui précède la technique, pour sa qualité intrinsèque qui définit une ambiance spécifique.

LE PROJET DE MAB2

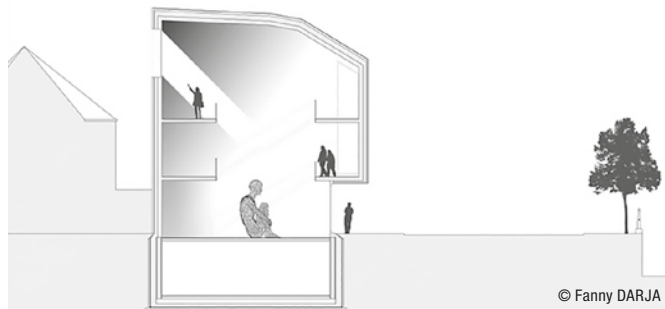
Plus précisément, l'exercice de second master est la synthèse entre l'architecture et l'ingénierie qui fonde le sens des études et du métier d'ingénieur architecte. Pour cela, la mise en relation des considérations structurelles est au cœur du projet architectural. Cette année, les étudiants étaient confrontés à un programme public : un centre culturel/outil culturel pour la ville de Tournai. Il leur a été demandé de développer une réflexion cohérente et une proposition intégrée, mêlant l'espace, la lumière, la structure et les aspects liés aux problématiques énergétiques.

La composition architecturale – lumière, espace, cheminement – a été à la fois le moteur et le résultat des contraintes techniques qui ont permis le développement du projet.

Les étudiants nous expliquent...

Fanny Darja

Le site du projet se situe dans le centre historique de la ville de Tournai, dans un endroit remarquable, au bord de l'Escaut. Les points de vue vers la cathédrale, le fleuve, ou l'œuvre d'art incontournable qu'est « la naïade », réalisée par l'artiste tournaisien George Grard, ont été les éléments moteurs dans la réflexion de mon projet. Ainsi, ces points de vue, à travers diverses ouvertures, permettront de travailler la lumière sous différentes formes et, de ce fait, de créer plusieurs ambiances dans l'espace d'exposition. En effet, la lumière, partant du soleil, n'a ni couleur, ni forme, ni intensité particulière. C'est lorsqu'elle traverse une surface, touche un objet, qu'elle se révèle et, au-delà, révèle l'espace auquel elle se mêle (et l'ambiance qu'elle crée) influençant notre perception de l'espace. C'est le rôle de l'architecte (grâce à ce que nous apprenons en tant qu'étudiant) que de diriger et de sculpter cette lumière en fonction de l'environnement que nous souhaitons créer. Offrir un espace muséal tourné vers la ville, articuler un parcours autour de différentes ouvertures ponctuelles, et faire entrer cette ville au cœur de l'exposition sous forme de tableaux sur les différents points de vue, furent l'ambition du projet. Ces ouvertures ont



© Fanny DARJA

été choisies en fonction de la vue qu'elles proposaient et de la lumière qu'elles apportaient à l'espace muséal. La lumière du sud, par exemple, est directe et éclatante et on peut, à travers elle et l'ombre qu'elle crée par contraste, mettre en valeur des endroits bien particuliers, tandis que la lumière du nord favorise une ambiance uniforme. Dès lors, l'espace, à travers le parcours des différents points-de-vue et le jeu de lumière, peut faire découvrir l'art et Tournai sous d'autres perspectives.

Germain Guillaume



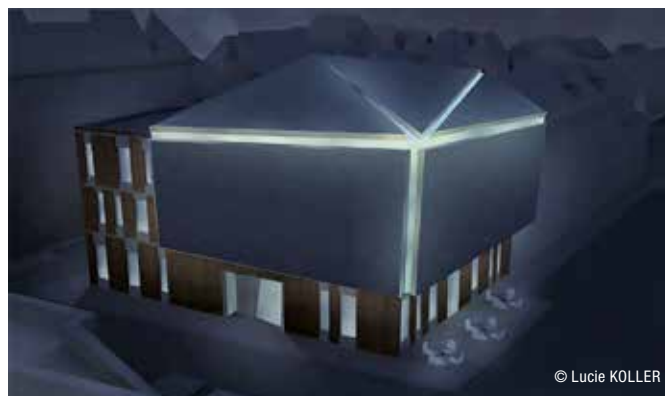
© Germain GUILLAUME

Pour ce projet de centre culturel, j'ai choisi de faire ressortir un grand volume ouvert, qui accueille la lumière pour donner vie à la dynamique du centre culturel. L'intérieur est défini par un ensemble de cadres en béton armé qui

soutiennent des plateaux à différentes hauteurs. L'enveloppe extérieure se détache de la structure, pour faire naître une ouverture zénithale à tous les niveaux. Ces détails permettent de créer l'expression d'un grand volume unique baigné dans la lumière. La lumière devient un élément intégré au projet, qui se diffuse jusqu'aux espaces d'expositions situés aux étages inférieurs. L'ambiance lumineuse générée varie selon l'étage, ce qui permet d'offrir aux œuvres plus sensibles une exposition adaptée. De l'extérieur, ce volume se détache du bâti voisin pour s'élever comme repère urbain. Dans l'intention de s'inscrire dans son contexte urbain, le centre culturel s'exprime aussi du crépuscule à l'aurore. En effet, des tuiles vernissées disposées sur les façades créent un scintillement de celles-ci au contact de la lumière des phares ou des luminaires. Ce n'est plus une simple source de lumière. Une interaction s'opère entre le centre et l'activité urbaine tant de nuit que de jour. De plus, la façade principale étant totalement vitrée en direction de l'Escaut, l'éclairage intérieur démarque l'échelle du centre vis-à-vis de ses voisins. Le centre culturel s'installe alors comme l'image de l'accès à la culture, tant pour le passant que pour le visiteur.

Lucie Koller

Un écrin « désolidarisé », volume destiné à accueillir les œuvres culturelles, vient se poser sur le reste du bâtiment et devient un point signifiant dans la ville. Cet écrin présente une première apparence fermée et mystérieuse, tout en laissant échapper quelques aperçus « furtifs » vers l'intérieur. Des failles sont créées au niveau des arêtes, de façon à susciter l'intrigue et la curiosité du passant. C'est seulement en arrivant à l'intérieur que l'on découvre une grande ouverture orientée vers la cathédrale de Tournai, que l'on ne soupçonne pas de la rue, et qui fait rentrer lumière et culture dans cet espace. Les arêtes évidées permettent de consacrer toute la surface des murs aux diverses expositions, et laissent entrer des traits de lumière localisés, créant un dessin géométrique sur les surfaces intérieures, évoluant avec la course du soleil. La nuit, cette lumière s'inverse, et vient redessiner le volume extérieur en éclairant les arêtes, affirmant ainsi l'image de l'outil culturel dans la ville.



© Lucie KOLLER

L'Internet des Objets met la lumière dans tous ses états

✉ Prof. Saïd Mahmoudi, Olivier Debauche, Mohammed el Adoui, Mohammed Amin Belarbi, Service d'Informatique

De nombreux objets connectés commencent à faire leur apparition autour de nous à tel point que l'on en vient à se demander s'il est possible de rendre la lumière connectée et intelligente.

Nous connaissons tous la domotique et le contrôle de la lumière à partir de dispositifs télécommandés. Avec les technologies émergentes de l'internet des objets, il est aujourd'hui possible d'envisager de nouvelles applications liées à la lumière et à son utilisation dans l'habitat. Grâce à la collaboration entre les objets connectés, des cas d'utilisation comme l'adaptation de la couleur et de l'intensité de la lumière en fonction des émotions des habitants identifiées à l'aide d'une caméra vidéo sont devenus facilement réalisables.

On peut également imaginer des applications qui régulent l'intensité de l'éclairage ambiant en fonction de l'apport extérieur de la lumière ou de l'usage qui est fait du local. A titre d'exemple, un système intelligent peut automatiquement baisser partiellement les stores pour obtenir un niveau d'éclairage déterminé durant une projection dans un auditoire de cours.

Ces applications font, d'ailleurs, maintenant partie du programme de cours de nos étudiants de Master 1 Ingénieur civil en architecture. Dans le cadre des travaux pratiques, les différents concepts de l'Internet des objets et leur lien avec la lumière sont progressivement illustrés. Les étudiants sont ainsi mis en contact avec la technologie en partant de la commande d'une simple lampe Led connectée à un Arduino UNO. Ils sont ensuite invités à manipuler la polychromie en basse tension par l'intermédiaire d'une shield (carte d'extension) pour Arduino UNO (Figure 1). Les manipulations se poursuivent par l'utilisation (par la commande) d'un dimmer (Figure 2), c'est-à-dire d'un variateur d'intensité lumineuse pour le secteur commandé par l'intermédiaire d'un Arduino UNO. Le câble de connexion qui relie l'Arduino au PC est ensuite remplacé par une connexion réseau. La commande de la lumière ne se fait alors plus directement à partir de l'ordinateur mais on remplace ce dernier par une page web. Cette dernière, hébergée sur un serveur, sert à envoyer les commandes nécessaires à l'activation d'ampoules à filaments reliées aux relais d'une variante industrielle de l'Arduino : le M-Duino. Ce dernier est spécifiquement conçu pour manipuler le secteur et est pourvu d'un ensemble de relais. En pratique, la communication entre le serveur Web et le M-Duino utilise le protocole Ethernet.

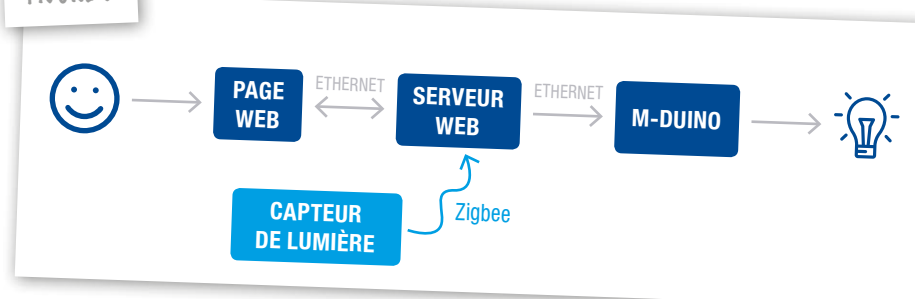


FIGURE 1



FIGURE 2

FIGURE 3



“ De cette manière, les premiers jalons vers une gestion automatisée et intelligente de la lumière au sein, par exemple, d'un auditoire de cours sont lancés... ”

Il est également possible de contrôler la lumière à l'aide d'un capteur qui transmet périodiquement le niveau de luminosité au serveur Web via le protocole Zigbee. Le programme hébergé sur le serveur web transmet alors au M-Duino l'ordre d'allumage ou d'extinction de l'ampoule en fonction du niveau de luminosité mesuré.

De cette manière, les premiers jalons vers une gestion automatisée et intelligente de la lumière au sein, par exemple, d'un auditoire de cours sont lancés... Il nous reste maintenant à en mesurer les résultats sur le taux d'activité de nos étudiants par un vendredi après-midi d'hiver !

LI-FI (LIGHT FIDELITY) : un système de communication sans fil... « lumineux » !



☒ Prof. Sébastien Bette, Prof. Véronique Moeyaert, Service d'Électromagnétisme et Télécommunications

La toute récente technique Li-Fi de transmission de données utilise la lumière visible des LEDs comme support de transmission et se positionne en complément des techniques de transmission sans fil radio classiques. Le service d'Électromagnétisme et de Télécommunications s'investit à plusieurs niveaux dans ce domaine novateur des télécommunications, en participant à un projet de recherche industrielle relatif à la communication entre éléments de mobilier urbain, mais aussi en encadrant des projets d'étudiants de troisième bachelier visant la réalisation de démonstrateurs pédagogiques.

La première réalisation de transmissions optiques en 1880 est due à Alexander Graham Bell, lors de sa démonstration du téléphone optique (photonophone) capable de transmettre sur plusieurs centaines de mètres le son de sa voix en utilisant la lumière du soleil. Cette invention, bien qu'ayant été directement supplantée par le téléphone et les liaisons radio, est considérée comme le précurseur des communications utilisant la lumière visible (VLC – *Visible Light Communications*), technique de transmission sur laquelle se base le récent système de communication Li-Fi (Light Fidelity). Ce sont les développements dans le domaine des diodes électroluminescentes (LED – *Light Emitting Diode*), et notamment leur coût réduit et leur capacité de commutation extrêmement rapide (de l'ordre du GHz) qui ont été le moteur de son émergence.

En utilisant la même onde électromagnétique (480 nm à 650 nm) à la fois pour la fonction d'éclairage et pour celle de transmission de données, cette technologie simple à mettre en œuvre offre de nombreux atouts : grande bande passante disponible pour les données, insensibilité aux perturbations électromagnétiques dans le canal, possibilités de géolocalisation en intérieur et de l'utilisation d'une gamme de longueurs d'onde non sujette à polémique concernant une potentielle toxicité.

Le principe du Li-Fi repose sur le codage et l'envoi de données via la modulation d'intensité de la source lumineuse. Une scintillation imperceptible par l'œil, car au-delà de la limite de la persistance rétinienne (et du seuil de dangerosité de 100 Hz pour les personnes épileptiques), porte donc l'information sur le canal de transmission. Un photorécepteur

est utilisé à la réception pour démoduler l'information. L'interface VLC de communication dans le visible est spécifiée dans le standard IEEE 802.15.7. Le Li-Fi comporte, quant à lui, une définition de couches protocolaires PHY, MAC et supérieures lui permettant de faire face à des communications multiutilisateurs bidirectionnelles point-à-point ou point-à-multipoint, en ce compris la fonction de gestion de la mobilité des transceivers.

Malgré l'apparition sur le marché de solutions commerciales autant issues de grands groupes que de startups, de nombreux problèmes techniques restent à résoudre et de nouveaux champs applicatifs à ouvrir. Dans ce contexte, le Service d'Électromagnétisme et de Télécommunications (SET) participe, depuis 2016, à un projet multipartenaire et multi-objectifs dénommé Wal-e-Cities, subsidié par le FEDER et piloté par MULTITEL a.s.b.l. L'objectif qui concerne le SET est d'augmenter la valeur opérationnelle des lampadaires à LED en leur adjoignant des services de connectivité dans le cadre du développement des Smart Cities. Son rôle précis est de développer une expertise dans l'intégration de solutions d'interconnexion

dans le domaine des communications VLC mais également dans toute technique de transmission redondante fiabilisant les communications entre lampadaires, telles que : PLC (*Power Line Communications*), transmissions radio haut débit (Wi-Fi, WiMAX, ...) ou bas débit (LoRa, Sigfox, ZigBee, ...), ... Un chercheur expérimenté sera financé sur ces fonds jusqu'en 2020.

En parallèle de cette recherche industrielle, la technologie Li-Fi est abordée par les étudiants électriciens de la Faculté Polytechnique (FPMs) de l'UMONS dans le cadre des projets de troisième bachelier. En 2015-2016, un projet a visé la création d'un démonstrateur Li-Fi transmettant de la musique d'un PC émetteur à un PC récepteur (<https://www.youtube.com/watch?v=MFw4RHjyjmTg> – promoteurs : Prof. S. Bette, Ir A. Van Laere et Ir G. Bayot). Les blocs fonctionnels mis en place dans ce projet, mené avec succès par les étudiantes Mlles Bostyn, Georlette et Botman. Cette année académique, un autre projet dans le domaine des VLC est en cours, porté par M. Delvigne et Mlle Ponsart. Il a pour objectif de réaliser une application smartphone, ludique et didactique, illustrant le fonctionnement des communications sans fil entre deux smartphones par l'utilisation des ondes visibles (par exemple, le flash de l'appareil photo du smartphone).

Grâce à cette récente diversification de ses activités vers les technologies VLC et Li-Fi, le Service d'Électromagnétisme et de Télécommunications complète ainsi sa palette de connaissances en techniques de transmission filaires et non-filaires afin, d'une part, d'offrir une expertise transversale à des industriels intéressés par un soutien dans ces domaines des télécommunications et, d'autre part, de proposer des sujets d'études très actuels à nos ingénieurs en formation.



L'unité de croissance végétale automatisée

☒ Olivier Debauche, Service d'Informatique, Ibtissam Bouazzati, étudiante MA2 IG



La démocratisation de la technologie de l'Internet des Objets permet aujourd'hui d'envisager des applications pour faciliter la vie quotidienne. Parmi ces applications, nous avons réalisé, dans le cadre du printemps des sciences 2017, une chambre de culture automatisée de plantes aromatiques également appelée phytotron. Dans cette enceinte, les facteurs de croissance sont régulés de manière optimale pour améliorer la production de matière végétale. Les paramètres environnementaux de l'enceinte sont transmis par Internet à un cloud distant depuis lequel les paramètres peuvent être consultés sous la forme de graphiques en ligne. La lumière est un des paramètres les plus importants dans la croissance des plantes avec la température et l'humidité du sol.

L'objectif est de développer une solution Internet des objets à bas coût, généralisable, pour l'agriculture urbaine. Cette solution permet de contrôler finement les différentes phases de développement de plantes dans une enceinte fermée.

Le système de contrôle se compose d'un microcontrôleur de la société PyCom auquel est associé un ensemble de capteurs et d'effecteurs. Ces microcontrôleurs sont programmables en micro python et offrent un large panel d'interfaces : I2C, SPI, I2S, UART, ADC 12 bits, jusqu'à 22 GPIO à un coût raisonnable. Différentes variantes de microcontrôleurs sont disponibles en fonction du type de réseau que l'on souhaite utiliser pour connecter la chambre de culture à Internet. Nous avons opté pour le LoPy qui permet de se connecter aux réseaux Wi-Fi, LoRaWan ou encore en Bluetooth Low Energy (BLE). Le microcontrôleur est implanté sur une carte d'extension (Expansion Board 2.1) qui permet de le relier aux capteurs et effecteurs.

L'humidité du sol est mesurée de manière continue à l'aide d'un capteur résistif qui doit être calibré en fonction du type de substrat dans lequel se développent les plantes. La température et l'humidité de l'air sont mesurés à l'aide d'un capteur AM2308 qui offre une précision de la mesure de l'humidité relative de ± 2 à 5% et de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ pour la température. La température du sol est mesurée à l'aide d'un capteur DS18B20 dont la précision est de $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Cette donnée est importante pour évaluer l'activité de la pédofaune qui minéralise la matière organique.

L'éclairage est relié à une carte à relais qui allume ou éteint la lumière. Deux pompes péristaltiques sont utilisées pour l'arrosage. Une pompe distribue de l'eau claire tandis que la deuxième injecte de l'eau additionnée d'engrais.

Un éclairage LED particulier mélangeant dans des proportions déterminées la couleur rouge et bleue dans une proportion 4 pour 1 permet d'augmenter jusqu'à 8 fois la vitesse de croissance naturelle de la laitue (*Lactuca perennis L.*) et deux fois la menthe marocaine (*Mentha spicata L.*), toutes autres conditions restant égales. La lumière pulsée à 501 μs améliore également la croissance des végétaux verts par rapport à l'éclairage en continu. Les expérimentations ont été réalisées sur du terreau universel. Des lombrics ont également été incorporés au substrat pour l'aérer. Les données sont transmises sous forme de requêtes http à un serveur qui collecte les données des capteurs. Les données stockées peuvent ensuite être consultées en ligne dans un tableau de bord.

D'autres types de substrat peuvent être envisagés ainsi que la culture en hydroponie ou en aquaponie. Dans ce cas, le substrat est remplacé respectivement par une solution nutritive ou l'eau des poissons. La mesure du taux d'humidité du sol est substituée par une mesure de conductivité électrique. Le stockage des mesures effectuées dans les enceintes permettront à terme d'élaborer des recettes en vue de programmer et d'optimiser les intrants, les durées des alternances allumage-extinction de l'éclairage.



FAIRE LA LUMIÈRE SUR LES MYSTÈRES DU SOUS-SOL AVEC... DE LA LUMIÈRE !

☒ Prof. Jean-Marc Baele, Service de Géologie fondamentale et appliquée



La lumière ne sert pas uniquement à éclairer le mineur dans l'obscurité des galeries. Les sciences de la Terre l'emploient de diverses manières afin de percer les secrets du sous-sol. Une des plus anciennes techniques est la microscopie par polarisation laquelle permet d'analyser la constitution des roches en se basant sur la biréfringence des espèces minérales. L'approche la plus moderne est certainement la spectroscopie de plasma induit par laser (LIBS), qui a beaucoup progressé ces dernières années grâce à son utilisation dans les missions d'exploration de la surface de Mars.

TRADUIRE LA BIRÉFRINGENCE EN COULEURS

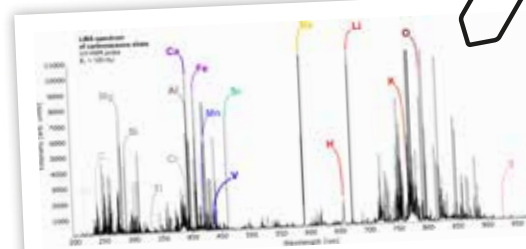
Très tôt, les géologues ont taillé les roches en lames très fines de manière à les rendre transparentes et observables avec un microscope optique. Malheureusement, un grand nombre d'espèces minérales sont incolores et l'observateur les différencie mal. L'idée est alors venue d'exploiter une propriété optique des milieux anisotropes : la biréfringence. Cette propriété se manifeste avec une intensité variable en fonction de l'espèce minérale. La biréfringence peut donc servir à identifier les différentes phases minérales constituant les roches mais aussi à analyser la texture de celles-ci, leur porosité, etc. Ces informations sont cruciales dans un grand nombre d'applications, notamment en exploration minière et pétrolière.

Le problème est que l'œil humain n'est pas sensible à la biréfringence, sauf dans des cas extrêmes comme dans l'exemple célèbre du dédoublement de l'image observée au travers d'un cristal de calcite. Les autres manifestations de la biréfringence, à savoir que les rayons lumineux dédoublés sont polarisés dans des plans perpendiculaires et que l'un des rayons se propage plus vite que l'autre, échappent complètement à notre perception. L'astuce est de traduire la biréfringence en « fausses couleurs » en forçant les rayons

dédoublés à interférer entre eux. Et, pour que deux ondes lumineuses puissent interférer, il faut qu'elles soient polarisées dans le même plan. C'est pourquoi les microscopes de géologie sont équipés de polariseurs placés dans le trajet optique en amont et en aval de la préparation à analyser. Ainsi, la résultante des interférences sera plus ou moins constructive ou destructive selon la valeur du retard qu'un des rayons aura pris par rapport à l'autre lors du passage au travers de la lame cristalline. A retard égal, cette résultante ne sera pas la même pour les différentes longueurs d'onde qui composent la lumière blanche utilisée dans l'illuminateur du microscope. Une teinte, dite de polarisation ou interférentielle, résulte donc du renforcement de certaines longueurs d'onde et de l'atténuation des autres. Les espèces minérales peu biréfringentes comme le quartz montrent des teintes de polarisation grises. Les espèces plus biréfringentes seront rapidement identifiées par tout un spectre de teintes plus ou moins vives.

FEU D'ARTIFICE ATOMIQUE

La technique LIBS (*Laser-Induced Breakdown Spectroscopy*) est bien différente de la microscopie par polarisation puisqu'elle permet de déterminer la composition chimique élémentaire de tout échantillon solide, liquide ou même gazeux. Son principe est le suivant : la matière peut être instantanément vaporisée en focalisant une impulsion laser puissante à sa surface, un peu à la manière d'une loupe qui concentre les rayons du soleil. Après ce processus de photo-ablation, la matière est transformée en un gaz très chaud, le plasma, qui est constitué de particules excitées : électrons, ions, atomes et radicaux moléculaires. A mesure que le plasma refroidit, ces particules se désexcitent et émettent un spectre lumineux caractéristique qu'il « suffit » de capturer afin de déterminer la composition de l'échantillon analysé. Les spectres LIBS s'étendent de l'ultra-violet au proche-infrarouge et sont extrêmement riches en raies

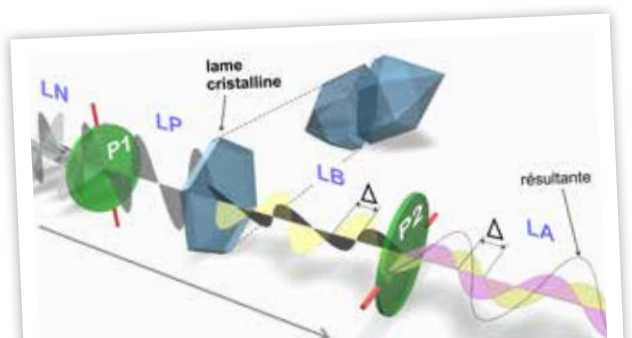


Spectre d'émission LIBS d'un échantillon de roche argileuse riche en matière organique (roche-mère schisteuse). Le spectre a été enregistré 1 μ s après le tir d'une seule impulsion laser d'une durée de 5 ns. La plupart des raies non précisées appartiennent au fer et au calcium.

d'émission, un véritable feu d'artifice atomique ! Si on devait comparer le LIBS à une technique connue, il s'agirait de la spectroscopie d'émission atomique, mais où le plasma est créé directement à la surface de l'échantillon, et non pas dans une torche à plasma qu'il faut alimenter avec une solution nébulisée.

La technique LIBS est très attractive car elle est beaucoup plus rapide, plus simple, moins encombrante et meilleur marché que la plupart des autres techniques d'analyse chimique. L'embarquement d'un analyseur LIBS sur le rover Curiosity, qui explore actuellement la surface de Mars, a été rendu possible grâce au format compact des sources laser et des spectromètres modernes. Cependant, il reste à faire des progrès pour que le LIBS concurrence vraiment les techniques conventionnelles d'analyse chimique au niveau de la reproductibilité, de la précision et de la sensibilité. Un autre avantage, qu'aucune autre technique ne peut revendiquer, est la possibilité d'effectuer des analyses à distance, jusqu'à plusieurs dizaines de mètres dans des endroits inaccessibles ou dangereux, par exemple radioactifs ou potentiellement explosifs !

Les analyseurs LIBS intéressent beaucoup le domaine de la classification automatique des déchets et de l'analyse des flux industriels de matière en général. D'ailleurs, dans le domaine minier, ces analyseurs commencent à remplacer avantageusement les systèmes de tri et de mesure en temps réel de la concentration des minerais. Les systèmes traditionnels utilisent des rayons X, gamma ou des neutrons et sont donc plus complexes, coûteux et dangereux. De plus, ces systèmes détectent, en général, très mal les éléments légers (Na, Mg, Al, Si, Be, B, C), voire pas du tout, comme le lithium, qui est justement l'élément que le LIBS détecte le mieux avec le sodium. Une aubaine pour l'industrie minière du lithium...



Comment convertir la biréfringence en teintes visibles ? Un premier polariseur (P1) polarise la lumière « naturelle » de la source (LN) dans un plan vertical. Chaque rayon de lumière polarisée (LP) est ensuite décomposé en deux par le passage dans le milieu anisotrope que constitue une lame cristalline (phénomène de biréfringence). Ces deux rayons sont polarisés dans des plans perpendiculaires et retardés de Δ l'un par rapport à l'autre (LB). Δ est fonction de la valeur de la biréfringence, qui est caractéristique de l'espèce minérale dont est composée la lame cristalline. Un second polariseur (P2) transmet les composantes horizontales de ces deux rayons, qui sont alors forcés d'interférer (LA). La résultante des interférences dépend du retard et, donc, produisant ainsi une teinte caractéristique.

Lumière sur les enjeux technologiques liés au photovoltaïque



✉ Prof. André Decroly, Service de Science des Matériaux, Prof. François Vallée, Service de Génie électrique

Quand la production d'électricité d'origine photovoltaïque passe de l'ombre à la lumière, les enjeux, qu'ils soient structurels ou liés à l'interaction avec le réseau, sont nombreux. Eclairage sur une source d'énergie qui a le vent en poupe...

DES MATÉRIAUX NANOSTRUCTURÉS POUR MOISSONNER LA LUMIÈRE

Les enjeux économiques et stratégiques associés à la demande en énergie occupent une place prépondérante dans les médias et ne sont plus à rappeler. Les considérations écologiques et climatiques exercent, par ailleurs, une pression croissante dans les choix que sont amenés à faire tant les gouvernements que les investisseurs ou les producteurs d'énergie et incitent à l'exploitation de sources d'énergie renouvelable.

Les technologies de conversion photovoltaïque sont aujourd'hui très diversifiées et sont classées en trois générations. Aucune d'elles ne se substitue à la précédente ; il s'agit simplement de technologies qui se sont développées successivement, présentant donc des degrés de maturité différents mais visant aussi des applications différentes en fonction de leurs coûts et de leurs caractéristiques.

Un des thèmes de recherche du Service de *Science des Matériaux* porte sur la création de nouvelles cellules photovoltaïques à pigment photosensible, connue sous l'acronyme DSSC (3^e génération). Les DSSCs présentent, il est vrai, un rendement de conversion qui peut paraître relativement peu élevé (11,9% homologué pour les DSSCs liquides, 7-8% (non encore homologué) pour les DSSCs solides) et nettement inférieur, par exemple, aux cellules en silicium massif monocristallin (1^e génération, 25,3% homologué), mais elles présentent aussi divers avantages. Parmi ceux-ci, un coût de production nettement inférieur, la possibilité d'intégration dans des systèmes flexibles et une moindre altération de leurs performances sous lumière diffuse ou suite à l'élévation de température.

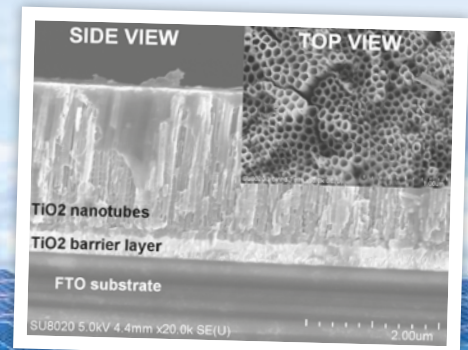
L'objectif est aujourd'hui d'évoluer vers des cellules DSSCs hybrides (inorganique/organique) « tout solide », c'est-à-dire sans électrolyte liquide. Le projet *MADSSCELLS* porte notamment sur la création de couches micrométriques de TiO₂ nanotubulaire à haute conductivité sur substrat conducteur transparent (TCO) compatible avec un matériau porteur de « trous » (HTM) organique, tel le poly(3-hexylthiophène) (P3HT). Cette même couche de TiO₂ doit, en outre, présenter une haute surface spécifique pour permettre la chimisorption d'un maximum de molécules du colorant qui sera à l'origine de la captation des photons (*light harvesting*).

LA CONNEXION AU RÉSEAU ÉLECTRIQUE D'UNITÉS DE PRODUCTION D'ORIGINE PHOTOVOLTAÏQUE... OU QUAND LE SYSTÈME EST MIS SOUS TENSION !

A la suite des accords de Kyoto et, dans un contexte de marché libéralisé de l'électricité, des unités de production dite décentralisée (principalement, basée sur l'utilisation de ressources renouvelables à caractère fluctuant) ont proliféré, au cours de la dernière décennie, dans les réseaux de distribution Moyenne (MT) et Basse (BT) Tension. Ces réseaux deviennent donc de plus en plus des systèmes actifs dont les flux de puissance et les profils de tension sont maintenant influencés par **consommation et production**. A l'avenir, étant donné les objectifs ambitieux de l'Union Européenne en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de promotion des énergies propres, la pénétration d'unités de production à caractère aléatoire pourrait conduire à un comportement critique d'un système qui n'a pas été initialement dimensionné pour faire face à des injections de puissance.

Dans les réseaux de distribution BT, la production la plus installée actuellement (environ 2 GW en Belgique) est d'origine photovoltaïque et l'un des problèmes majeurs rencontré par les gestionnaires de réseau de distribution provient de surtensions au voisinage de ces unités. Typiquement, pareilles situations surviennent pendant des périodes de faible consommation et de production importante. On assiste alors à une injection de l'excédent de puissance sur le réseau électrique et des flux inverses remontant vers la sous-station MT/BT sont observés. Le gestionnaire de réseau étant responsable de l'intégrité de l'infrastructure et de la qualité de service fournie, il lui convient de pouvoir estimer de manière adéquate les taux de pénétration critiques en production photovoltaïque sur les réseaux BT (cette étape passant par la définition d'une liste de contingences avec calcul d'un risque associé) et de définir une cartographie du système en termes de points de connexion critiques.

Dans ce contexte, dans le cadre de la Chaire liant la Faculté Polytechnique au gestionnaire de réseau de distribution ORES, le service de Génie Electrique développe un outil d'analyse technico-économique dédié à l'évaluation de la pertinence de solutions techniques (investissement dans des dispositifs de stockage, mise au point de stratégies de délestage de production via le contrôle d'onduleurs...) en vue de maximiser la pénétration de production d'électricité d'origine photovoltaïque dans les réseaux BT tout en garantissant un fonctionnement sain de ceux-ci. Une thèse de doctorat a, d'ailleurs, été défendue, fin d'année 2016, dans ce contexte. Du point de vue méthodologique, l'outil a été basé, dans un premier temps, sur l'utilisation d'une approche Monte Carlo dite pseudo-séquentielle laquelle est actuellement revue et adaptée afin, non seulement, d'accélérer les temps de calcul mais également de mieux capturer la séquentialité inhérente aux grandeurs modélisées.



L'IMAGERIE HYPERSPECTRALE, OU COMMENT VOIR L'INVISIBLE

☒ Prof. Nicolas Gillis, Service de Mathématique et Recherche opérationnelle

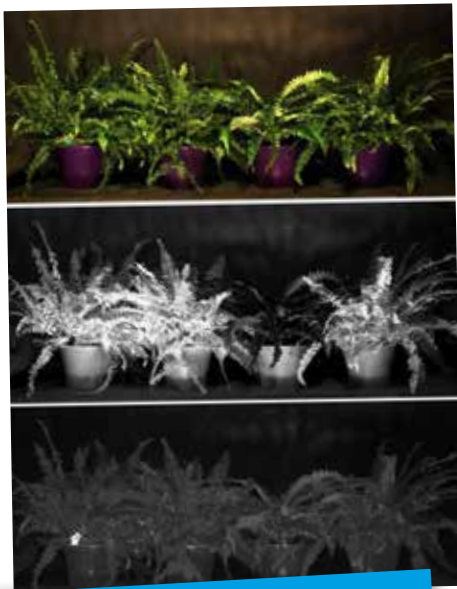


Figure 1 – De haut en bas : (1) Une image couleur de quatre plantes : pouvez-vous identifier quelle plante est synthétique ? (2) Image à niveau de gris à la longueur d'onde de 770nm invisible à l'œil nu (infra-rouge) et qui permet de directement identifier la plante synthétique (la raison est que l'intensité de lumière réfléchiée par les plantes à cette longueur d'onde est très élevée, contrairement au matériau synthétique). (3) Analyse de l'image qui permet d'identifier une petite cible, un lego cache dans les plates. Source : sciencenordic.com, Photo : Torbjörn Skault, FFI.

Une image à niveau de gris est une image pour laquelle chaque pixel prend une valeur unique (un entier entre 0 et 255 indiquant l'intensité de lumière, 0 étant le noir et 255 le blanc). Une image couleur possède trois canaux : le bleu à 450 nm, le vert à 550 nm et le rouge à 650 nm. Chaque canal mesure l'intensité de la lumière réfléchiée à chacune de ces longueurs d'onde du spectre visible. Cela permet de reconstruire l'image couleur que notre œil perçoit. Une image *hyperspectrale* va mesurer l'intensité de la lumière à un beaucoup plus grand nombre de longueurs d'onde, typiquement entre 400 nm et 2400 nm. Les longueurs d'onde mesurées dépendent de la caméra utilisée et de l'utilisation que l'on va faire de cette image. L'avantage des images hyperspectrales est qu'elles contiennent beaucoup plus d'information, notamment à des longueurs d'onde invisibles à l'œil nu, et permettent d'identifier beaucoup plus précisément des matériaux présents dans l'image ; voir, par exemple, la Figure 1 pour une illustration.

La technologie de caméras hyperspectrales est en plein développement, et il existe de nombreuses applications (cf. figures ci-dessus, mais également,

https://en.wikipedia.org/wiki/Hyperspectral_imaging ou <http://sciencenordic.com/lengthy-can-do-list-colour-camera>). Une mise en application de ces techniques a très récemment permis de cartographier la forêt amazonienne au Pérou, en différenciant notamment les différents types d'arbres (https://www.theatlantic.com/science/archive/2017/01/how-a-scientist-mapped-the-chemistry-of-the-entire-peruvian-amazon-by-plane/514478/?utm_source=fbf)

Étant donné une image hyperspectrale, un problème majeur est d'identifier les matériaux présents dans l'image et de classer les pixels en fonction des matériaux qu'ils contiennent (c'est-à-dire, répondre à la question : quels matériaux contient chaque pixel et en quelles proportions ?). En effet, en général, les images hyperspectrales ont une faible résolution et beaucoup de pixels contiennent plus d'un seul matériau (il se peut aussi que des matériaux soient mélangés). Pour ce faire, nous avons besoin d'un modèle mathématique, et nous présentons ici le modèle linéaire le plus utilisé en pratique, dénommé le modèle de mixage linéaire (MML).

Supposons que l'on mesure l'intensité de N pixels pour L longueurs d'onde et que l'on note $M(\ell, p)$ l'intensité du pixel p ($1 \leq p \leq P$) à la longueur d'onde ℓ ($1 \leq \ell \leq L$). On obtient ainsi une matrice M avec L lignes et P colonnes. Chaque colonne de la matrice M contient les intensités d'un pixel aux différentes longueurs d'onde : on appelle cela la signature spectrale d'un pixel (voir Figure 2 pour des exemples). Le MML suppose que la signature spectrale de chaque pixel est égale à la combinaison linéaire des signatures spectrales des matériaux qu'il contient, et les poids dans la combinaison linéaire correspondent à la proportion de chaque matériau dans ce pixel. Physiquement, l'intensité de la lumière réfléchiée par un pixel va être proportionnelle aux matériaux qu'il contient. Par exemple, si un pixel contient 30% d'aluminium et 70% de

cuivre, sa signature spectrale sera égale à 0.3 fois celle de l'aluminium plus 0.7 fois celle du cuivre. Ceci est logique puisque 30% de la lumière réfléchiée par ce pixel est réfléchiée par l'aluminium et 70% par le cuivre. Le fait que ce modèle ne soit pas exact résulte du fait que les conditions de mesures sont, en général, imparfaites (bruit, réflexions multiples avant mesure, interaction avec l'atmosphère, etc.).

Dénotons :

- $M(:, \ell)$ la ℓ -ième colonne de M qui représente la signature spectrale du pixel ℓ ,
- $U(:, k)$ la signature spectrale du matériau k , $1 \leq k \leq K$ où K est le nombre de matériaux présents dans l'image, et
- $V(k, \ell)$ la proportion du matériau k dans le pixel ℓ (auss appelé abondance).

On a alors pour tout pixel ℓ que

$$M(:, \ell) = \sum_{k=1}^K U(:, k) V(k, \ell) \Leftrightarrow M = UV.$$

Cette décomposition est illustrée à la Figure 2 sur une image d'un Walmart situé au Texas (vous pouvez le retrouver sur Google maps avec le mot-clé « copperas cove texas walmart »).

Finalement, étant donné la matrice M , le challenge mathématique est de retrouver la matrice U (les signatures spectrales des matériaux que l'on peut ensuite identifier grâce à des librairies) et la matrice V (contenant les proportions de ces matériaux dans tous les pixels) de manière à ce que le produit UV soit le plus proche possible de M . Il s'agit d'un problème non-linéaire (appelé 'nonnegative matrix factorization') assez difficile à résoudre mais pour lequel il existe des techniques efficaces. Si vous voulez en savoir plus, je vous invite à lire les articles *Introduction to hyperspectral imaging* par R.B. Smith (Microimages), 2006, et *The Why and How of Nonnegative Matrix Factorization*, 2014 (<http://arxiv.org/abs/1401.5226>).

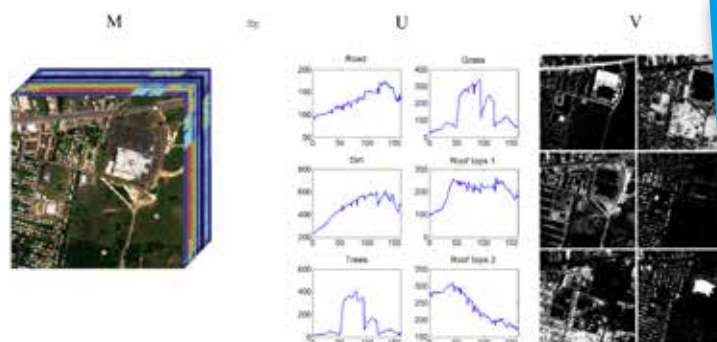


Figure 2 – À gauche, l'image hyperspectrale représentée comme une image couleur. Au milieu, les signatures spectrales des six matériaux principaux présents dans l'image : routes, herbe, poussière, toit 1, arbres, toit 2. À droite, les abondances des pixels dans chacun des matériaux (chaque image correspond à une ligne de V) : on voit par exemple sur la première image la proportion de route dans tous les pixels.

LA RÉALITÉ AUGMENTÉE SANS LUNETTES : ANAMORPHOSE, PARALLAXE, HOLOGRAPHIE ET

☒ Prof. Thierry Dutoit, Service de Théorie des circuits et Traitement du signal

J'ai eu l'occasion de donner récemment à Liège un exposé sur la réalité augmentée sans lunettes, dans le cadre d'une journée « réalité virtuelle et augmentée » organisée par l'ASBL Promoptica. Cet exposé, dont je donne ici un résumé, a été, pour moi, l'occasion de faire le point sur les diverses techniques qui permettent aujourd'hui d'augmenter notre réel tout en s'adressant à un public large sans qu'il doive porter d'équipement particulier. Il m'a également permis de dresser une liste (non-exhaustive) de sociétés belges actives dans ce domaine.

Lorsqu'on parle de réalité augmentée aujourd'hui, on pense inévitablement, et de façon assez réductrice, à l'application Pokemon Go. Peu de lieux publics ont gardé leur virginité électronique face à cette déferlante qui les a sans doute fait découvrir (ou redécouvrir) à des dizaines de milliers d'afficionados armés de leurs smartphones et tablettes. Aux plus technophiles, la réalité augmentée évoque les horizons électroniques offerts par les lunettes HOLOLENS de Microsoft, disponibles depuis peu, et dont la caractéristique la plus étonnante est leur capacité à reconstruire rapidement la 3D de l'espace qu'elles observent ce qui permet alors à l'utilisateur de placer sur une table un objet virtuel, lequel y restera tant qu'on ne l'aura pas virtuellement déplacé ou supprimé. Leur prix (3000€) et la relative étroitesse de leur champ de vision actuel en font surtout pour l'instant une plateforme de développement d'applications, en vue d'une version future plus accessible. Il n'empêche : la réalité augmentée est désormais occupée à entrer de plein pied en phase de production après les classiques phases d'attente démesurée et de désillusion excessive.

Il n'en reste pas moins que d'autres voies sont possibles, qui permettent à un public large de profiter d'une augmentation électronique de la réalité du monde, sans nécessiter l'utilisation d'appareils ou portables. Dans cet article, je m'intéresse donc aux technologies de réalité augmentée sans lunettes, qu'on pourrait définir comme les technologies qui augmentent notre perception du monde réel en y superposant de l'information virtuelle d'une manière accessible à un large public.

L'anamorphose en est une et est, sans doute, la plus « low tech ». On l'a vue apparaître dans les rues, (et je suis heureux de pouvoir enfin publier un article où figure l'activité artistique de mon beau-frère Julian Beever, qui a été un des précurseurs de cet art dans les années 90 : <http://www.julianbeever.net/>) et dans certains bâtiments où la 3D suggérée contraste souvent avec les 3D du lieu (voir Figure 1). On la retrouve aussi aujourd'hui dans les constructions 3D complexes du mathématicien Francesco De Comite (Université de Lille : <http://www.lifl.fr/~decomite/anamorphoses>). Plus pragmatiquement, les STOP et autres BUS ou TAXIS peints sur le macadam de nos routes en sont une illustration très fonctionnelle : il s'agit bien là, au sens strict, de réalité augmentée sans lunettes...



FIGURE 1 - Giant Slug (Julian Beever, 2013, street art, NYC)

Le cinéma n'apparaît plus aujourd'hui comme un vecteur de réalité augmentée, bien qu'on se souvienne de la panique qui a saisi les spectateurs du premier film des frères Lumière, *L'Entrée du train en gare* de La Ciotat, persuadés qu'ils étaient qu'une locomotive était réellement occupée à pénétrer dans la salle de projection. On pourrait plutôt l'assimiler à l'ancêtre de la réalité virtuelle, avec sa capacité à plonger un spectateur dans un univers déconnecté du réel. En ce sens, le cinéma 3D (avec... ou sans lunettes comme dans le cas des écrans auto-stéréoscopiques qui fournissent des images différentes en fonction de l'angle sous lequel on regarde l'écran) est un mécanisme de virtualité augmentée (cousin germain de la réalité augmentée). C'est, d'ailleurs, au cinéma d'animation que l'on doit l'utilisation d'une technologie simple et très efficace pour augmenter l'illusion du réel : l'effet de parallaxe. Walt Disney l'avait compris dès 1933 avec l'invention de sa caméra multi-plans, utilisée pour la première fois dans *Blanche neige et les sept nains*. En effet, même lorsque nous regardons des objets lointains (et même d'un seul œil !), un léger mouvement de la tête (ou de la caméra) nous permet de percevoir très subtilement quels plans se trouvent à l'avant ou à l'arrière des autres. Parmi les nombreux projets réalisés depuis 10 ans par les chercheurs de l'institut NUMEDIART, nous avons eu l'occasion d'exploiter cet effet dans l'installation « Parallaxe » réalisée pour l'artiste numérique Patrick Jean dans le cadre de l'œuvre chorégraphique « Hors-Champ » (<https://vimeo.com/70192832>).

“ **La réalité augmentée est désormais occupée à entrer de plein pied en phase de production après les classiques phases d'attente démesurée et de désillusion excessive.** ”

On peut également parler de virtualité augmentée lorsque, sur les écrans de nos télévisions, des animations se superposent, par exemple, à la vue d'un stade de football pour marquer la ligne de hors-jeu, ou restituer le parcours d'un joueur. La société liégeoise DeltaCast SA est un des leaders mondiaux dans ce domaine (https://www.rtc.be/video/sport/euro-realite-augmentee-avec-deltacast_1471577_343.html).

On retrouve également, dans cette catégorie, les expériences « holographiques » basées sur l'effet « Pepper ghost » (du nom de leur inventeur), qui font apparaître sur une vitre inclinée à 45° la projection d'une image (ou la réflexion d'un objet fortement illuminé). Au Japon, Hatsune Miku est une chanteuse virtuelle créée de toute pièce grâce à la synthèse vocale de Yamaha qui performe dans des concerts « holographiques » faisant apparaître... un avatar (et les japonais paient pour ça <https://www.youtube.com/watch?v=YSyWtESoeOc>). On a, d'ailleurs, vu récemment un candidat à la présidence française donner deux meetings politiques en même temps, dont l'un sous forme d'un hologramme (Figure 2, <https://www.youtube.com/watch?v=EyB-NHspN-E>). La réalité augmentée est, ici aussi, principalement de créer par l'effet de parallaxe : le spectateur distingue clairement que l'hologramme se trouve placé sur un plan entre lui et le fond de la scène, et son cerveau ne l'assimile donc pas à un écran mais bien à un contenu en 3D.

MAPPING 3D



FIGURE 2 - Meeting politique holographique

Mais ce sont surtout les projections monumentales (le « mapping 3D ») qui ont attiré l'attention depuis quelques années, notamment dans les grands festivals des lumières (comme à Gand ou à Lyon, ou récemment chez nous lors du mapping 360° réalisé par la société belge Dirty Monitor <https://www.youtube.com/watch?v=5bMX6jVMGAM>, un des leaders mondiaux dans le domaine). Passé l'effet « waouw » bien connu, cette technologie permet aujourd'hui des avancées industrielles importantes, comme chez la jeune société BattleKart (dont le fondateur, S. Millecam, est issu de notre faculté <https://www.youtube.com/watch?v=HylzmCxLR3Q>), spécialiste du karting en réalité augmentée (Figure 3). Dans un registre un peu différent, nous avons développé à l'UMONS un projet original, CityLight (<http://telemb.be/les-reportages-mons-la-polytechnique-lance-dans-le-video-mapping-d-15457.html>), basé sur un principe de projection intérieure. Les 14 fenêtres centrales des premier et second étages de la façade du bâtiment de l'UMONS/rue de Houdain sont éclairées par 14 projecteurs (reliés à 14 ordinateurs en réseau) placés derrière les fenêtres (Figure 4). Le logiciel de mapping 3D mis au point par l'Institut NUMEDIART permet la synchronisation des images envoyées par ces projecteurs, la pré-distorsion (rendue nécessaire par le fait que les projecteurs ne se trouvent que rarement face aux fenêtres !), et la fusion de ces images. Plusieurs haut-parleurs viennent compléter l'installation. L'intérêt de ce type d'installation est de permettre un mapping de qualité sans nécessiter l'utilisation de projecteurs très coûteux. La solution adoptée a permis, par ailleurs, de maintenir l'installation en place depuis 2014. Quant aux écrans, la société AGC, qui a son centre de recherche à Gosselies, vient de produire du verre transparent (de face) et réfléchissant (de côté), ce qui permet de créer des écrans de projection vitrés (https://www.youtube.com/watch?v=pbfi_lotZCw). Une spin-off (Map-In) est en préparation pour développer un modèle d'affaires autour de ce concept.



FIGURE 3 - BattleKart

“ Que nous réserve l'avenir ? Une partie de la réponse à cette question tient en deux mots : l'intelligence artificielle. ”

Que nous réserve l'avenir ? Une partie de la réponse à cette question tient en deux mots : l'intelligence artificielle. Les réseaux de neurones profonds (*Deep Neural Nets*) ont littéralement fait exploser, depuis 2016, les taux de reconnaissance d'images et de sons par la machine. Ainsi, l'ordinateur est aujourd'hui capable de décrire le contenu d'images vidéo avec une précision supérieure à l'homme. On imagine encore difficilement à ce jour la portée de ces technologies dans notre quotidien. Un premier effet a commencé à toucher le grand public : l'émergence annoncée de voitures autonomes (puisqu'elles comprennent ce qu'elles voient et ont été entraînées à réagir en conséquence). Ces bouleversements auront également des implications en réalité augmentée. De nombreux groupes de recherche (dont ceux de l'UMONS) planchent ainsi aujourd'hui sur la compréhension située du langage (*grounded language understanding*), qui permettront prochainement, par exemple, de recevoir en temps réel sur ses lunettes de réalité augmentée des informations sur les objets et les personnes dans le champ de vision. On imagine bien un système qui fournirait instantanément le nom des objets dans une langue étrangère : une forme ... d'apprentissage augmenté. D'autant que la réalité augmentée est également occupée à investir le champ des oreillettes intelligentes (on parle alors de *hearables*), sous l'impulsion de quelques constructeurs, tels l'allemand Bragi (<https://www.bragi.com/thedash/>). De simples amplificateurs sélectifs en fréquence, on passe alors à de véritables outils de réalité augmentée, capables de réagir intelligemment aux bruits extérieurs, et sans doute, dans un avenir pas si lointain, de fournir des services d'interprétation multilingue.

Enfin, quelques pionniers travaillent sur la projection à haute vitesse (plusieurs centaines d'images par seconde), indispensable si l'on cherche à projeter du contenu vidéo sur des cibles en mouvement (<http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/vision/DPM/>). Cette technologie implique l'utilisation simultanée de caméras à haute vitesse (pour la captation du support de projection) et de projecteurs à haute vitesse. Ce dernier marché reste encore vierge à l'heure actuelle car il faut encore développer les machines pour pouvoir réaliser les recherches dans ce domaine... Le challenge est ouvert !

FIGURE 4 - Projection CityLight, vue de la rue de Houdain



LES MICRO-ALGUES : CONVERTISSEURS DE LUMIÈRE PHOTOSYNTHÉTIQUES

☒ Prof. Anne-Lise Hantson, Aldo Mirisola, Service de Génie des Procédés Chimiques et Biochimiques,
Prof. Alain Vandewouwer, Christian Feudjio Letchindjio, Service d'Automatique



Si actuellement nous vivons dans une société où les ressources fossiles sont toujours nos matières premières de base, tant pour nos besoins énergétiques que pour la production de biens de consommation comme les polymères, les colorants, les solvants, les peintures, ... la diminution de leur réserve et l'accumulation dans l'atmosphère du CO₂ liée à leur exploitation massive font évoluer la réflexion sur ces matières premières non durables et leur remplacement à terme.

Carburants, polymères, solvants, colorants, ... pourraient à l'avenir être produits sur base de ressources renouvelables dénommées globalement biomasse. Parmi les candidats potentiels pour ces nouvelles réserves, les micro-algues se présentent comme des micro-organismes d'intérêt qui se développent en utilisant la lumière solaire, du carbone, de l'azote, du phosphore, ...

Exploiter l'énergie lumineuse peut revêtir nombre de facettes mais l'une des plus anciennes reste la transformation de cette énergie en énergie électrique, puis chimique et enfin biologique. Cet ensemble de transformations plus ou moins complexes porte le nom commun de photosynthèse (Figure 1). Elle se déroule dans les chloroplastes qui sont des organites importants et spécifiques des cellules végétales. Ces derniers sont aussi présents dans les cyanobactéries, qui peuplent les océans depuis plus de 3 milliards d'années, et les micro-algues eucaryotes. Leur couleur verte est liée à la présence des pigments chlorophylliens qui sont responsables de notre « atmosphère » moderne contenant suffisamment d'oxygène et d'ozone pour constituer un bouclier nous protégeant des rayonnements solaires néfastes, les UV.

Le système chlorophyllien, caractérisé par cette couleur verte dominante, n'est pas « indestructible ». En effet, une surexposition lumineuse ralentit, inhibe la croissance des micro-algues et peut conduire, à terme, à la destruction des photosystèmes entraînant la mort cellulaire. Ces organismes vivants photosynthétiques ont, au cours de l'histoire, développé des filtres colorés pour les protéger : des pigments huileux jaunes, oranges et rouges, les caroténoïdes dont le nom associé à la carotte ne reflète en rien leur origine micro-algale. Si ces organismes aquatiques utilisent bien la lumière pour leur survie, la pénétration des

différentes longueurs d'onde de la lumière blanche varie avec la profondeur dans l'océan : l'ultraviolet, le violet et le rouge sont arrêtés en surface tandis que le jaune, le bleu et, plus particulièrement, le vert se propagent plus profondément.

“ Si ces organismes aquatiques utilisent bien la lumière pour leur survie, la pénétration des différentes longueurs d'onde de la lumière blanche varie avec la profondeur dans l'océan. ”

Cette énergie lumineuse ne peut être utilisée directement par les chlorophylles. Les cyanobactéries et les micro-algues disposent d'un système adaptatif qui leur permet en sa présence de déclencher la synthèse de pigments rouges : la Phycoérythrine qui capte les photons verts. La molécule excitée émet à son tour une fluorescence captée par un pigment constitutif bleu (allophycocyanine) émetteur d'une nouvelle fluorescence rouge qui, elle, sera absorbée par la chlorophylle verte, et permettra le déroulement de la photosynthèse. Cette cascade moléculaire permet ainsi la transformation de la lumière verte non-assimilable en lumière rouge efficace sur la chlorophylle.

Associée à ces capacités d'adaptation pour exploiter l'énergie solaire au mieux tout en gardant un rendement de conversion photosynthétique limité, ces micro-organismes présentent nombre d'avantages si on les compare aux végétaux supérieurs : elles ne demandent aucun sol fertile, se multiplient rapidement (le temps de dédoublement varie de quelques heures à quelques jours), sont cultivables dans des systèmes ouverts peu onéreux, tels que les lagunes pour des applications à faible valeur ajoutée, ou dans des photo-bioréacteurs fermés contrôlés pour

l'obtention de molécules bioactives à haute valeur ajoutée. Elles limitent, voire éliminent, les risques de pollution des eaux telles que l'eutrophisation en maîtrisant au mieux le cycle de l'azote et du phosphore qui sont les principaux nutriments dont elles ont besoin pour leur croissance, et qui font partie des polluants de nos eaux urbaines. Elles participent, pour nombre d'entre elles, par leur métabolisme photosynthétique autotrophe, à la séquestration du CO₂ sous forme de carbone organique (saccharides, lipides et protéines). D'autres micro-algues, associant l'utilisation de la lumière et des capacités de métabolisation de composés organiques, sont utilisées pour la dépollution des eaux industrielles.

Cette biomasse présente un potentiel important de développements industriels dans les domaines de l'énergie en transformant le CO₂ atmosphérique (plus particulièrement), suivant les conditions de culture (stress en nutriment azoté par exemple), en lipides qui seront convertis en biodiesel, ou en saccharides qui, après fermentation en présence de levures ou bactéries, produiront du bioéthanol. Certains polysaccharides micro-algaux pourraient être transformés en building-blocks comme l'acide succinique pour la production de polymères biosourcés.

Leur plasticité environnementale les ayant conduites à développer des stratégies de protection contre les agressions du milieu, certaines bactéries produisent, lors de modifications de leurs conditions de croissance, des pigments colorés aux vertus antioxydantes exploitables dans les domaines de l'agro-alimentaire et des cosmétiques en tant que colorants, conservateurs ou antioxydants. Elles peuvent également être riches en acides gras polyinsaturés qui sont des composés importants pour la santé humaine.

L'exploitation de l'ensemble des composés produits par la biomasse micro-algale implique de maîtriser nombre de paramètres, d'optimiser les conditions de production afin d'obtenir des concentrations en micro-organisme les plus élevées possibles dans les systèmes de culture spécifiques et de contrôler les conditions de production et de récolte. Les besoins en carbone, en nutriments, en lumière, doivent être quantifiés, modélisés, contrôlés, et les interactions entre tous ces paramètres gérées au mieux.

L'augmentation de la densité cellulaire, actuellement limitée à quelques 10 voire 20 g/l, est, en elle-même, un challenge pour rendre la filière exploitable industriellement. En effet, l'accumulation de biomasse dans le réacteur diminue d'autant la quantité de lumière disponible pour les micro-algues qui doivent y avoir accès pour se multiplier et produire les éléments d'intérêt. Une conception géométrique particulière du photo-bioréacteur combinée à une agitation adéquate (Figure 2), voire l'ajout de sources de lumière internes au réacteur, ou la sélection de longueurs d'onde spécifiques (dans le rouge et le bleu) sont des pistes à développer pour atteindre ces objectifs.

L'emploi des effluents industriels (liquides ou gazeux) comme matières premières est aussi une voie d'amélioration de la rentabilité économique. Qu'il s'agisse d'eaux résiduaires urbaines ou issues des activités agroalimentaires, de gaz de combustion dans la production énergétique ou du ciment et de la chaux, les besoins de base des micro-algues y sont représentés.

Dans cette optique, des recherches au sein des Instituts des Biosciences et de l'Énergie de l'UMONS, subsidiées par la Région Wallonne et l'Europe (Feder et Interreg), se focalisent sur l'utilisation de CO_2 et de nutriments (NO_x et SO_x) issus des fumées de cimenteries pour la production de biomasses micro-algales à vocation énergétique et non-énergétique, pour le fractionnement des saccharides et lipides en vue de développer de polymères biosourcés (ou dans le cadre des transformations chimiques ou biochimiques en biocarburants de troisième génération), pour le développement de photo-bioréacteurs contrôlés dans le but d'une utilisation optimale de la lumière (via lampes LED) et de la gestion des stress spécifiques en nutriments.

Au niveau du laboratoire, les micro-algues sont cultivées dans un photo-bioréacteur (Figure 3) et baignées dans un milieu de culture à base de nutriments simples (de l'azote notamment). Un panneau de LED d'intensité et de longueurs d'onde réglables est utilisé comme source lumineuse pour l'activation de la photosynthèse. Au cours de celle-ci, les nutriments sont assimilés par les micro-algues pour leur croissance en produisant des produits d'intérêt qui pourront être extraits par la suite. L'injection de dioxyde de carbone (CO_2), quant à elle, s'effectue via une vanne contrôlée afin de maintenir le pH du milieu constant. L'installation actuelle permet d'étudier à la fois quantitativement (réglage de l'intensité lumineuse) et qualitativement (réglage de la longueur d'onde) l'influence de la lumière sur la croissance de ces micro-organismes.

Des modèles dynamiques permettent de représenter les différents phénomènes survenant au cours de la photosynthèse (croissance micro-algale, production lipidique, ...). En l'occurrence, le modèle de Droop découple la croissance micro-algale et la consommation d'azote via l'introduction d'une variable intermédiaire : le quota interne. Ce quota représente la quantité d'azote stockée à l'intérieur

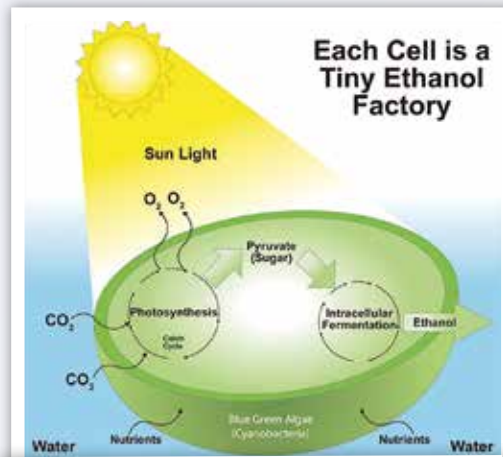


FIGURE 1 - Schéma de principe de la photosynthèse micro-algale. Source : <https://mrtwohig.wikispaces.com/WarsingM>

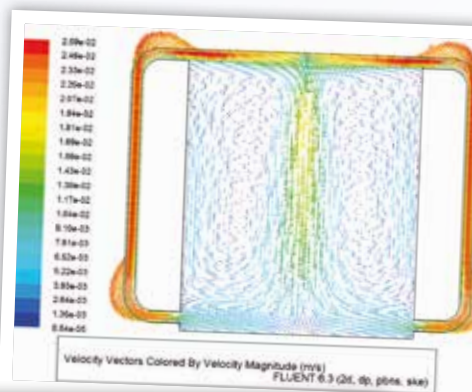


FIGURE 2 - Étude des géométries des photobioréacteurs en vue d'optimiser la densité cellulaire et les vitesses de circulation.

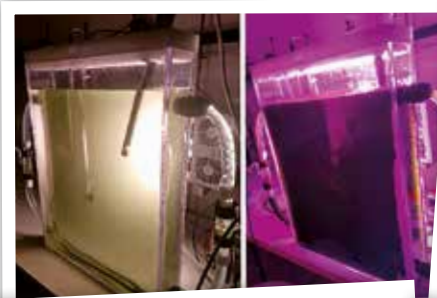


FIGURE 3 - Illustration de la croissance des micro-algues 5 jours après inoculation (gauche : jour 0, droite : 5 jours).

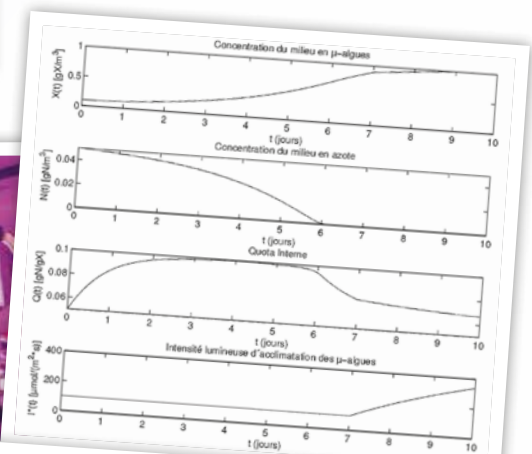


FIGURE 4 - Simulation du modèle de Droop pendant 10 jours. Variation de l'intensité lumineuse incidente de 100 à $1000 \mu\text{mol}/(\text{m}^2.\text{s})$ après 7 jours (Source : Isoehrisys Galbana)

de la cellule. En effet, les micro-algues n'utilisent pas directement l'azote contenu dans le milieu pour leur croissance mais plutôt ce quota interne. Ce modèle a été étendu afin de représenter des phénomènes associés à la lumière, notamment la photo-acclimatation (adaptation des micro-algues à une intensité lumineuse différente) et la photo-inhibition (limitation de la croissance pour des intensités lumineuses trop importantes). La figure 4 présente une simulation de ce modèle au cours de laquelle l'intensité lumineuse incidente est

maintenue constante pendant les 7 premiers jours à $100 \mu\text{mol}/(\text{m}^2.\text{s})$ avant de passer à $1000 \mu\text{mol}/(\text{m}^2.\text{s})$. On constate que, lors des 6 premiers jours, les micro-algues stockent l'azote en leur sein via le quota interne et, une fois qu'il n'y a plus d'azote dans le milieu, la croissance se poursuit via la consommation du quota. Suite à la modification de l'intensité lumineuse au septième jour, la photo-acclimatation s'enclenche. Cette modification a également pour effet de réduire la croissance micro-algale (photo-inhibition).

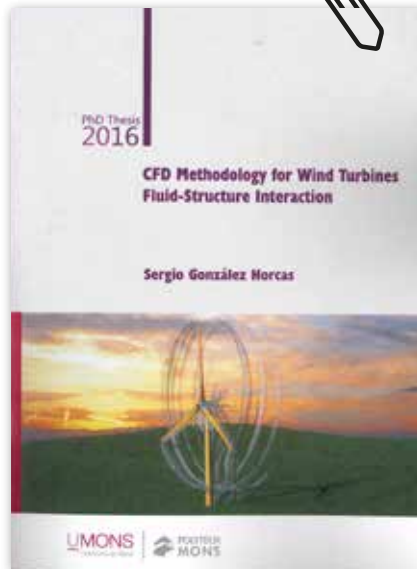
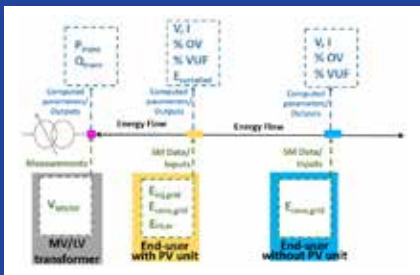
Modèles probabilistes pour un réseau de distribution à pénétration élevée de photovoltaïque



☒ NOM : Dr Vasiliki Klonari
 SERVICE : Génie électrique
 PROMOTEUR : Prof. François Vallée

À quoi ressemblera le réseau de distribution de demain où toutes les maisons auront une installation photovoltaïque et des voitures électriques ? Cette thèse de doctorat, effectuée dans le cadre de la Chaire ORES, a investigué cette question en développant des modèles probabilistes de production et de charge dans le cadre de la mise en œuvre d'une simulation de type Monte Carlo. Ces modèles ont été développés sur base des données de consommation et de production photovoltaïque enregistrées par des compteurs intelligents installés dans un échantillon de maisons en Wallonie. L'analyse probabiliste et l'utilisation de données réelles ont permis de simuler, d'une manière réaliste, la variabilité des paramètres qui affectent l'opération du réseau électrique.

Les modèles développés peuvent être utilisés pour la planification long-terme du réseau de distribution et pour l'évaluation techno-économique des solutions qui visent à augmenter la pénétration du renouvelable sans affecter l'opération du réseau.



CFD Methodology for Wind Turbines Fluid-Structure Interaction

☒ NOM : Dr Sergio Gonzalez-Horcas
 SERVICE : Fluides-Machines
 PROMOTEUR : Prof. Grégory Coussement

Horizontal axis wind turbines are one of the most efficient renewable energy sources. In order to extract the maximum power per machine and reduce the overall energy extraction cost, there is a clear design trend consisting in the up-scaling of the rotor diameter. This implies the consideration of more flexible blades, that significantly deform during operation due to the aerodynamic loading. This thesis proposes an innovative computational approach for the study of this aeroelastic problem that accounts for the interaction of both the fluid and the structure physics. The PhD work tackles two major issues concerning efficient fluid-structure interaction simulations of large horizontal axis wind turbines. One concerning the development of a mesh deformation technology achieving a good trade-off between mesh quality, scalability, robustness and computational cost for 3D flow meshes accounting multi-million points. Another concerning the extension of a frequency domain methodology, namely the nonlinear harmonic method, to handle the 2-way coupling between a fluid in motion and a deformable elastic structure for steady and periodic unsteady aeroelastic interaction. The resulting methodology allows the assessment of the rotor performance with progressive degrees of model complexity. Both isolated rotor and full machine (i.e. including the tower) calculations can be performed. Fluid modeling relies in a steady or unsteady formulation respectively. For both configurations, a structural model of the blades can be considered in order to assess the influence of aeroelasticity in the rotor performance. The suggested approach was implemented and tested within the FINE™/Turbo software, edited by NUMECA International. It offers a higher fidelity multiphysics flow modeling than current industry standards, and its reduced computational cost enables its direct introduction into the wind energy market.



Evolution géodynamique d'un arc insulaire néoprotézoïque (Anti-Atlas marocain) : Caractérisation des processus de croissance intra-océanique et d'accrétion

☒ NOM : Dr Antoine Triantafyllou
 SERVICE : Génie minier
 PROMOTEURS : Prof. Sara Vanduycke, Prof. Hervé Diot (Université de Nantes)
 THÈSE EN COTUTELLE AVEC L'UNIVERSITÉ DE NANTES



Innovative solutions to realize stable and reliable ultra-short pulsed lasers for industrial applications

☒ NOM : Dr Simon Boivinet
 SERVICE : Électromagnétisme et Télécommunications
 PROMOTEUR : Prof. Patrice Mégret

Herstelmortels voor natuursteen: een betere compatibiliteit dankzij een geoptimaliseerde ontwikkeling

Repair mortars for stone:
Increased compatibility
through optimised development

☒ NOM : Dr Aurélie Isebaert
SERVICE : Génie civil et Mécanique des structures, Vakgroep Geologie en Bodemkunde (Universiteit Gent)
PROMOTEURS : Prof. Laurent Van Parys, Prof. Veerle Cnudde

Mijn doctoraat onderzocht de mogelijkheden om het ontwikkelingsproces voor mortels te optimaliseren. Dit onderzoek concentreerde zich op mortels die in de restauratie gebruikt worden om natuursteen te herstellen. Deze specifieke herstelmortels moeten aan hoge eisen voldoen om een duurzame restauratie mogelijk te maken. In mijn onderzoek heb ik daarom de ingrediënten van een mortel onderzocht en een manier gevonden om drie eigenschappen van de (verharde) mortel in te schatten enkel op basis van de samenstelling van de ingrediënten. De tweede stap was het combineren van deze kennis met een genetisch algoritme: het algoritme kan op die manier mortelrecepten zoeken die na uitharding specifieke eigenschappen bezitten. Dit vermijdt het trial-and-errorproces dat gewoonlijk wordt uitgevoerd en het geeft onmiddellijk een indicatie welke mortelrecepten waarschijnlijk succesvol zullen zijn en welke niet.

De drie eigenschappen die hier onderzocht werden zijn kleur, permeabiliteit en elasticiteit. In deze thesis lag voornamelijk de nadruk op de permeabiliteit, gezien het belang van deze eigenschap voor de kwaliteit van de interventie.

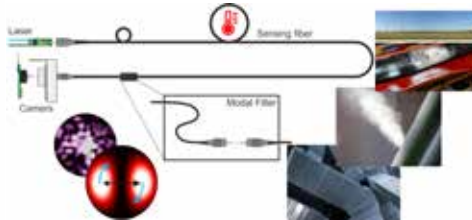
Als eindresultaat in deze studie werd het systeem met genetisch algoritme voorgesteld, waarbij de eerste validatietesten veelbelovende resultaten opleverden. Verder onderzoek met uitbreiding van de databank en verbetering van de inschattingmethode voor kleur zijn echter aangewezen om het systeem verder op punt te stellen.



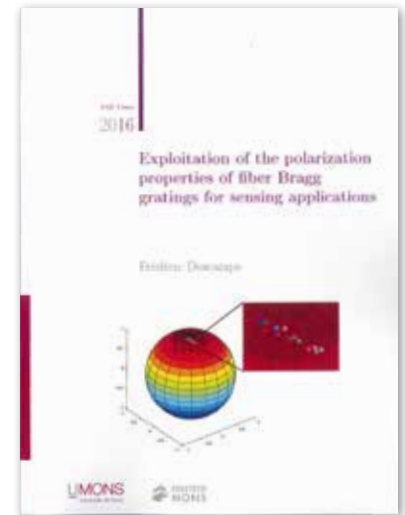
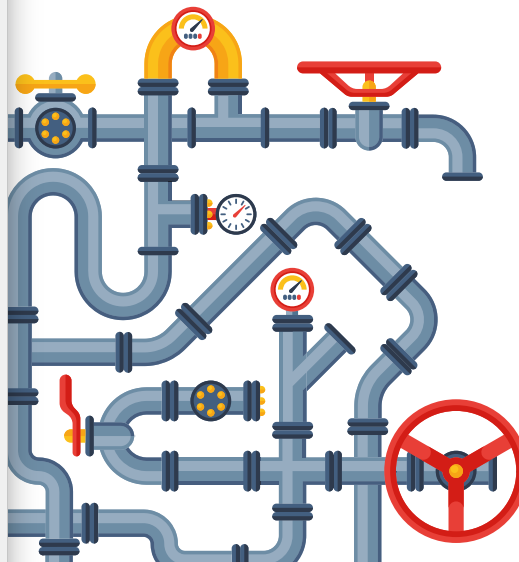
Few-Mode Interferometric Fiber Optic Sensor



☒ NOM : Dr Frédéric Musin
SERVICE : Electromagnétisme et Télécommunications
PROMOTEUR : Prof. Marc Wuilpart



Les solutions commerciales pour la mesure distribuée de la température par fibre optique reposent principalement sur les techniques Brillouin et Raman. Ces systèmes nécessitent des équipements optiques complexes basés sur la détection de longueur d'onde comme les analyseurs de spectre, les filtres ou les lasers accordables. Leur coût élevé empêche de diffuser la technologie à grande échelle et limite leur application à des infrastructures hautement prioritaires. En réponse à ces limitations, un nouveau capteur de variation de température à fibre optique est proposé dans le cadre de cette thèse. Le principe de base du capteur consiste en le traitement du motif d'interférence à la sortie d'une fibre optique sollicitée par un laser. L'analyse de la dynamique du motif d'interférence permet la mesure de la variation de température intégrée le long de la fibre. L'utilité et les performances de ce capteur ont été démontrées dans les domaines du monitoring thermique des jonctions des câbles électriques, de la détection des fuites de gaz pour les pipelines et de la sécurité incendie. Ce travail, accompagné d'un brevet et d'une analyse de marché, devrait conduire rapidement à la commercialisation d'une solution dédiée aux domaines industriels et de la construction.



Exploitation of the polarization properties of fiber Bragg gratings for sensing applications

☒ NOM : Dr Frédéric Descamps
SERVICE : Électromagnétisme et Télécommunications
PROMOTEUR : Dr Christophe Caucheteur



Bragg gratings in step-index polymer optical fibers: photo-inscription and characterization for sensing applications

☒ NOM : Dr Xuehao HU
SERVICE : Électromagnétisme et Télécommunications
PROMOTEUR : Dr. Christophe Caucheteur

Development of new biobased flame retardant additives for polylactide



☒ NOM : Dr Lucie Costes

SERVICE : Matériaux polymères et composites, Génie des procédés chimiques et biochimiques

PROMOTEURS : Prof. Philippe Dubois, Prof. Sylvain Brohez

De nos jours, les matériaux polymères issus de ressources renouvelables sont de plus en plus utilisés et, notamment, pour des applications techniques et durables. La récente prise de conscience en ce qui concerne la nécessité de préserver l'environnement est à l'origine de cet engouement. Mais, pour être utilisés dans des applications qui touchent le domaine du transport, du bâtiment ou encore de l'électronique, ces polymères biosourcés doivent être performants en divers aspects dont la résistance au feu. En effet, le bon comportement au feu des matériaux est primordial pour limiter les risques d'incendie.

Le travail de cette thèse a consisté à développer des systèmes retardateurs de flamme, composés de produits issus de la biomasse, dans le but d'améliorer le comportement au feu d'un polymère biosourcé très prometteur, le polylactide. L'idée a été de valoriser des ressources renouvelables largement disponibles et possédant des caractéristiques leur permettant d'agir en tant qu'agent retardateur de flamme par la formation d'une couche carbonnée protectrice en surface du matériau lors de sa combustion. La lignine et la cellulose, qui sont les deux principaux constituants de la biomasse, ont été sélectionnés pour le développement de ces systèmes retardateurs de flamme. La mise au point de systèmes retardateurs de flamme performants a impliqué le recours à des traitements chimiques ou à des associations avec des composés favorisant la génération de charbonnement et améliorant sa stabilité.



Spatial decision aiding models for maps comparison



☒ NOM : Dr Valérie Brison

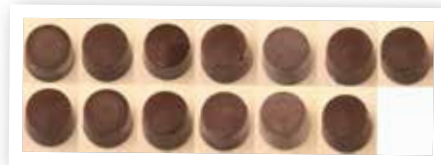
SERVICE : Mathématique et Recherche opérationnelle

PROMOTEUR : Prof. Philippe Fortemps

De nombreux problèmes de décision se posent dans un contexte géographique ou environnemental. Dans notre thèse, nous nous sommes intéressés à la comparaison de cartes. Imaginons que nous disposons de deux cartes représentant le degré d'adéquation d'une région pour une certaine utilisation, mais à deux moments différents. Notre objectif n'a pas été de déterminer quelles sont les différences, ni de quantifier la similitude entre ces cartes, comme c'est souvent le cas dans la littérature lorsqu'on parle de comparaison de cartes. Ce qui nous a intéressé, c'est d'aider un décideur à déterminer si, globalement, l'état du territoire s'est amélioré ou non et ainsi, d'évaluer, par exemple, la pertinence d'une politique appliquée à ce territoire.

Pour cela, nous proposons des modèles permettant d'aider un décideur à exprimer ses préférences sur des cartes représentant un même territoire, mais à des moments différents, ou des scénarios d'évolution future du territoire. Cet outil permet à un décideur de comparer, par exemple, plusieurs politiques de planification et, ainsi, de prendre des décisions mieux justifiées.

Nos modèles ne sont pas seulement applicables pour comparer des cartes mais peuvent aussi être utilisés pour comparer des images. Nous avons, en particulier, travaillé sur la comparaison d'images de pralines, l'objectif étant d'obtenir un rangement des pralines en fonction de la présence de « blanchiment gras » (i.e., taches blanches qui apparaissent avec le vieillissement du chocolat).



Aide au diagnostic des anomalies de la colonne vertébrale par analyse d'images médicales

☒ NOM : Dr Mohamed Amine Larhman

SERVICE : Informatique

PROMOTEUR : Prof. Mohammed Benjelloun



LES RÉSUMÉS OFFICIELS
SONT DISPONIBLES SUR

<https://portail.umons.ac.be/fr/universite/facultes/fpms/recherche/doctorat/pages/thesesdedoctorat.aspx>

The Smartest TrainBrain : une 2^e place pour des étudiants-ingénieurs montois

Maxime Maréchal et Sébastien Van Laecke, deux étudiants en MA1 mécanique (finalité mécatronique) ont décroché la deuxième place du podium au concours The Smartest TrainBrain, organisé par HR Rail en collaboration avec SNCB et Infrabel.

Le concours s'est déroulé en deux phases : une qualification et une finale. Seulement vingt équipes composées d'un binôme d'étudiants ont été sélectionnées pour la finale. Pour la qualification, il était demandé de calculer la distance d'arrêt d'un train. Plus précisément, ce calcul se divisait en deux problèmes :

1. calculer la distance à laquelle le train devait freiner afin qu'il ait une accélération radiale maximale de $0,1 \text{ m}^2/\text{s}$ dans le virage, tout en tenant compte de dénivelés et de montées ;

2. calculer la distance d'arrêt du train lors de l'enclenchement du frein d'urgence après le virage, en proposant une solution pour améliorer le freinage d'un train.

Alors que la qualification laissait le temps aux étudiants de cogiter sur le problème, la finale avait un challenge tout autre : résoudre un problème plus complexe en 2 heures. Il s'agissait d'établir un horaire pour les équipes de maintenance des rails afin de garder la qualité du réseau la plus haute possible au cours du temps. Cet horaire était à établir semaine par semaine sur une durée de cinq ans, pour quarante voies sur lesquelles déployer six équipes de réparation. Plusieurs critères étaient à prendre en compte : la fréquentation de chaque voie, l'usure non linéaire des voies après chaque



semaine, l'importance des voies, le budget nécessaire, les congés annuels des équipes, ...

Une fois l'exercice résolu, les équipes ont été invitées à visiter l'atelier de Schaerbeek, avant de demander aux six meilleures équipes de faire une courte présentation de leur méthode de résolution. Les critères étaient la présentation, la méthode de résolution mais également la manière d'aborder le problème et la coopération afin de résoudre le problème dans le temps imparti.

Lien facebook : <https://www.facebook.com/lescheminsdeferengagent/posts/127282222739566>

La FPMs a nouveau championne de Belgique en robotique !



Depuis 2001, le PASS organise la coupe de Belgique robotique. Cette année, la Faculté a conservé son titre de champion de Belgique acquis en 2016. L'équipe baptisée 'Space MONSters' est

composée de cinq étudiants MA2 mécanique, encadrés par des enseignants, assistants et techniciens de la FPMs. Depuis septembre, deux robots entièrement autonomes ont été imaginés, construits et testés pour répondre au cahier des charges du concours. Celui-ci présentait un défi particulièrement complexe lié à la diversité des actions à réaliser (ramasser et trier des balles en polystyrène, déposer à des endroits bien définis des cylindres en PVC et même faire décoller une fusée miniature en fin de match). Après un début de concours difficile, l'équipe est montée en puissance lors de la phase finale en améliorant à chaque rencontre le record de points de l'édition. La victoire finale 106 à 37 face à l'UCL en est

la plus belle illustration. L'équipe a également gagné le match de gala l'opposant à la meilleure équipe étrangère du concours. En plus du titre de champion qui permet l'accession à la coupe internationale (26-28 mai en France), l'équipe a également remporté les prix du public et des supporters. Ce projet est une belle illustration de la polyvalence des compétences développées par nos étudiants dans leur formation tant d'un point de vue technique (mécanique, électronique, programmation, ...) que non-technique (organisation de projet, communication, logistique, ...).

<https://www.facebook.com/SpaceMonsters2017/>
www.eurobot.org

UN BEST PAPER AWARD À ROME POUR UNE JEUNE CHERCHEUSE DE LA FPMS

Vasiliki Klonari, dont la thèse de doctorat (financée par la Chaire ORES) a été réalisée dans le service de Génie Electrique de la Faculté Polytechnique de Mons, a remporté le **Best Student Paper Award** lors de la 5th International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems (SMARTGREENS 2016) qui s'est tenue à Rome du 23 au 25 avril 2016.

La contribution primée est référencée comme suit : V. Klonari, J-F. Toubeau, J. Lobry, F. Vallée, « Photovoltaic Integration in a Smart City Power Distribution : A Probabilistic PV Hosting Capacity Assessment Based on Smart Metering Data », 5th International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems, SMARTGREENS 2016, Rome, Italy, 23-25 April 2016.

Vasiliki a, depuis lors, présenté publiquement sa thèse (Promoteur : F. Vallée / co-promoteur : J. Lobry) intitulée « Probabilistic Analysis of Low Voltage Distribution Networks with Distributed Generation », le 4 novembre 2016. Plus d'information sur celle-ci peut être trouvée dans la rubrique Doc'News de la présente édition du Polytech News.



Projet 'Haut' : immeuble de 21 étages en CLT, Amsterdam, Bureau V Architectuur

CROSS LAMINATED TIMBER : annonce d'un changement majeur en matière de construction



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

Le développement actuel de la construction en bois à l'échelle mondiale est symptomatique d'un regain d'intérêt pour ce matériau de la part de tous les acteurs de la construction. Ce regain est naturellement porté, en partie, par le besoin d'inscrire les développements urbains et la construction en règle générale dans une démarche plus durable, mais pas uniquement. L'apparition il y a maintenant une vingtaine d'années, du bois contre collé ou « CLT » (Cross Laminated Timber) a bouleversé la manière de penser la construction en bois et a permis la réalisation de projets jusque-là inaccessibles au bois comme, par exemple, les bâtiments multi-étagés. Grâce au CLT, le record mondial actuel en matière de hauteur est un immeuble de logements pour étudiants de 18 étages construit sur le campus de l'Université de British Columbia, à Vancouver... mais pour combien de temps encore ? Aux quatre coins du monde, des bureaux d'Architecture et d'ingénierie se sont lancés dans la course aux gratte-ciel en bois et les projets annonçant 40 ou 80 étages sont déjà à l'étude.

Quel est donc ce matériau bois contre-collé ? Les panneaux de CLT sont formés de plusieurs plis empilés et collés de façon orthogonale, chaque pli étant lui-même fait par collage et aboutage de planches de bois. Les panneaux ainsi formés d'un nombre impair de plis peuvent atteindre des épaisseurs allant jusque 30 cm et ne sont limités, quant à leur surface, que par les contraintes logistiques de transport. Le CLT, apparu dans les années 90 en Autriche, est le fruit de recherches collaboratives impliquant des Universités (Université de Graz, en particulier) et divers représentants de la filière « bois » désireux d'innover et de valoriser la ressource ligneuse. Depuis, la popularité de ce matériau n'a cessé de croître, d'abord en Europe, pour ensuite conquérir la planète entière. Aujourd'hui encore, de nombreux projets construits

en Australie, en Asie ou en Amérique emploient des panneaux CLT européens. L'Autriche, l'Allemagne et la Suisse détiennent à trois près de 90% de la production mondiale de CLT (dont l'Autriche détient, à elle seule, 65%).

La Belgique dispose également de ressources forestières et d'une filière industrielle de transformation du bois importante, mais actuellement plus tournée vers la production de meubles, de pâte à papier, de panneaux de particules ou de bois énergie. Le potentiel de croissance de la construction en bois en Belgique est très grand puisque, toutes technologies confondues (ossature bois, CLT, ...), seules 9% des demandes de permis d'urbanisme utilisent le bois pour les fonctions structurales (contre 40% en Autriche, par exemple – essor en grande partie lié à l'émergence du CLT).

Actrice du développement de la filière « bois et Architecture » en Belgique, la Faculté Polytechnique s'est positionnée sur ces axes de recherche et d'enseignement, il y a plus de 20 ans. Ceux-ci se sont encore matérialisés récemment lors des conférences scientifiques et du séminaire de formation qui se sont tenus en septembre dernier, à Mons. En effet, les 26 et 27 septembre 2016, la Faculté Polytechnique a accueilli un workshop international intitulé « Timber Engineering - State of the Art ». Ce workshop, organisé dans le cadre du projet européen COST FP1402, avait pour objectif de synthétiser l'état de l'art en matière d'ingénierie des structures en bois en vue de la révision des normes européennes en vigueur (Eurocodes). Au total, ce sont 85 chercheurs venus de 21 pays européens, de Russie, Turquie, Canada et de Nouvelle Zélande qui se sont réunis à la rue de Houdain pendant deux

jours. Ces deux journées de travail intenses sur les thématiques « Base de calcul, défaillance et approche statistique », « Construction en CLT », « Assemblages » et « Construction mixte bois et béton » se sont clôturées par une réception à l'hôtel de ville de Mons. En parallèle à ce workshop international, une journée de formation spécialisée à destination des professionnels de la construction a été organisée. L'objectif était de pallier le manque d'informations techniques et de connaissance des ingénieurs praticiens face à ce nouveau matériau pour lequel aucune norme de calcul n'existe actuellement. Le Prof. Gerhard Schickhofer de l'Université de Graz et le Dr Manfred Augustin, responsable technique du centre de compétence bois Holz.bau de Graz, ont assuré huit leçons en anglais portant sur les aspects « Production et classement du CLT », « Dimensionnement des planchers et des murs » et « Physique des bâtiments en CLT ». Cette journée de formation a rassemblé 49 participants venant des trois régions du pays, du nord de la France, d'Allemagne et du Luxembourg.

Ce coup de projecteur de deux jours sur la construction en CLT se prolonge désormais dans notre programme de cours via un enseignement de l'option « Ingénierie du bâtiment » du Master en Architecture intitulé « Timber engineering: design of CLT buildings ». Ce faisant, la Faculté Polytechnique est le premier établissement d'enseignement en Belgique à proposer un cours universitaire sur cette thématique.

Participants au Workshop 'COST FP1402'



FROM BEIJING TO BELGIUM

✉ Marie-Laure Wattier, Service de Génie minier

In the last few years, under the impulse of our Dean Pierre Dehombreux, our Faculty has developed a close relationship with the China University of Mining & Technology, Beijing. Since 2011, several FPMs Units have welcomed Chinese students willing to pursue their education in our country. This year, we greet Zhou Qin and Wang Xiangren in the Mining Engineering Unit, Fu Zihao in the Machine Design and Production Engineering Unit and Wu Sailong in the Theoretical Mechanics, Dynamics and Vibrations Unit. They will all stay for a duration of three months. Here are some of their views on what their stay in Belgium means to them:



How different is the student life compared to what you know in China?

Wu Sailong – “Students here have fewer classes to attend and then they just study at home. This is crazy compared with China. In China, we have public rooms for students to study and those rooms are open all day long.”

What were your personal expectations before you left your country?

Zhou Qin – “I expected that I would expand my horizon and deepen the understanding of my major (in theoretical mechanics). I also expected that I would meet some foreign friends and improve my spoken English through this graduation project. Of course, eating some delicious Belgian food is also of the biggest interest to me.”

Improving their English and kicking down the language barrier is an every-day challenge for our Chinese guests, but the rewards are just around the corner...

What was most difficult for you when coming to Belgium?

Group – “We think the language barrier was the most difficult for us when coming to Belgium. We

could only speak Chinese and some English. French is indeed a completely new language for us. Here, in Mons, many people speak only French and even simple things like the packaging of most products in the supermarket is written in French! So, we think the language barrier was definitely the most difficult for us.”

What specific technical baggage do you hope to acquire in UMONS that you would not have been able to get in China?

Group – “The first specific technical baggage that we hope to acquire is the ability to communicate in English - for example with foreign professors; to read foreign literature rapidly and also to write reports in English, which is a difficult but very important skill. The second one is to gain international perspective about our professional field.”

How does the curriculum here relate to your curriculum in Beijing?

Group – “In Beijing, the students have a lot of courses each semester. The curriculum is theoretical and basic. The students in Beijing work hard and learn the basic knowledge well. Here, courses are less time-intensive. They are practical and innovative. So, the students here have a lot of free time to do what they like. Practically, they are good at developing new technologies.”

What did you think you would find here, studying in Belgium? Is it different from what you imagined?

Group – “We thought that we could learn a new way of thinking. While the language barrier complicates things, we are very happy that we can learn some French, which is a new and beautiful language.”

How does the UMONS campus compare with your campus in Beijing?

Group – “The architectural style of the UMONS campus is very different from the architectural style of our campus in Beijing. The buildings of UMONS are scattered in the city, while our campus is more concentrated inside Beijing, as there are many universities in the city. In addition, the students of UMONS have more time to participate to club activities than the Chinese students.”

How is your relationship with the teachers and professors here in Belgium? Can you describe how it compares with China?

Group – “We get along with our teachers and professors here really well now. The teacher-student relationship



Chinese students at Sainte Waudru, Mons

here is more informal than in China. This is because the teacher-student relationship was like the parent-child relationship in ancient China. Therefore, the Chinese teachers are sterner than Belgian teachers.”

After nearly two months with us, the Chinese students are striving to complete their respective projects while visiting European cities in their free time. It means a lot for them to visit this part of the world:

How is it considered for students in China to travel and study in Belgium? What do people think about that initiative?

Group – “Many people in China encourage the Chinese students to go abroad to study and travel because they think that the exchange students can broaden horizons and acquire knowledge through their study and travel. They also think the exchange students can promote the cultural exchange between two countries. So, they are very happy to hear that more and more Chinese exchange students travel and study in Belgium.”

Is there something you would like to tell to Belgian students?

Group – “There are many differences between the Chinese culture and Belgian culture. So, we should keep an open mind to respect each other. Chinese culture has an history of more than 5000 years, the traditional culture is profound and Chinese food is very delicious. Therefore, we hope that more Belgian students can take an interest in China and travel to our country in the future!”



PHOTO-REPORTAGES

JOURNÉE PORTES OUVERTES 2017



JDE – JOURNÉE DES ENTREPRISES 2017



PRINTEMPS DES SCIENCES 2017 AU LOTTO MONS EXPO



CRÉATHON-POLYTECH EN BAB3

DERNIÈRE LEÇON DU PROF. LYBAERT (16 MAI 2017)



Oyez Oyez chers étudiants
Laissez tomber la thermique un moment,
Plus d'air qui bouge, plus de convection
Juste encore un peu de rayonnement

Voulez-vous bien vous poser un instant
Pour remercier un de vos meilleurs enseignants ?

Beaucoup d'entre vous d'abord l'ont rencontré
Après avoir passé et réussi l'examen d'entrée
La porte de la rue de Houdain à peine franchie
Comme Doyen pour à la Polytech être accueilli

Ensuite, deux, trois ou quelques années plus tard
Le revoilà pour la thermique en tronc commun des bachelards
Pour vous aider à jongler avec itérations
et schémas en résistances
Biot, Fourier et Kirchhoff sont devenus vos références
Coefficients de transferts, surface et degrés
Vous permettront d'évaluer le flux transféré

Si vous n'appréciez pas la thermique
Vous appréciez son chef d'orchestre
Armé tantôt d'une craie, une raclette ou un échangeur à ailettes
Même au pilotage de diaporamas soignés
Jamais il ne transige avec la qualité

Véritable passionné de sciences et de technique
Vous le suivez ensuite en Chimie, SDM ou Mécanique
Contre courant ou courants croisés
Aux secrets des échangeurs vous voilà initiés

Des cotés impossibles aux oraux tuyautés
Jamais, oh non jamais un manque d'équité !

Merci et bravo à lui pour cet investissement constant
Encore et toujours au service de vous, ses étudiants
Je vous propose de l'applaudir de toutes vos mains
Et vous laisser le fêter enfin avec – quoi d'autre ? –
qu'une Saint Feuillien !

PROF. VÉRONIQUE FELDHEIM

INGÉNIEUR CIVIL À MONS



Réussir l'examen d'admission à Polytech Mons, un défi à votre mesure !

Pour s'inscrire aux études de premier cycle du domaine des sciences de l'ingénieur, vous devez réussir l'examen d'admission : c'est une obligation légale. Il vous sera demandé de résoudre des exercices (et non de refaire des démonstrations théoriques). Toutes les épreuves sont orales sauf celle de calcul numérique et trigonométrie. La session de septembre est organisée à Mons, la première semaine de septembre.

Se préparer pour réussir l'examen d'admission ...

Des journées de présentation de l'examen d'admission sont organisées pour les élèves du secondaire qui souhaitent s'inscrire à Polytech Mons. Chaque séance est consacrée à l'une des matières de mathématique au programme de l'examen d'admission : algèbre, analyse, géométrie analytique, géométrie synthétique, trigonométrie et calcul numérique. Des exemples de questions sont présentés et commentés par des enseignants de Polytech Mons.

QUAND ? Du mercredi 16 au mardi 22 août 2017 (inscription préalable)
OÙ ? Dans les locaux de Polytech Mons, 9, rue de Houdain à 7000 Mons
HORAIRE ? de 9 à 12h et de 13h30 à 16h30

Bientôt la rentrée à l'UMONS et à Polytech Mons !

De manière spécifique, les étudiants qui entament les études de Bachelier en Sciences de l'Ingénieur sont invités par la Faculté Polytechnique à des activités qu'elle organise les **14 et 15 septembre 2017**.

PROGRAMME SUR : www.umons.ac.be – « Infos pour futurs étudiants »

Pour prendre date et découvrir les sciences de l'ingénieur

QUAND ? Lors d'une des journées Portes ouvertes organisées par l'UMONS mais aussi durant les congés d'Automne (Toussaint) 2017, de détente (Carnaval) 2018 et de Printemps (Pâques)

QUOI ? Activités en laboratoires, cours ouverts: une belle expérience en immersion !

INFOS : www.umons.ac.be/polytech

S'inscrire en ligne à l'examen d'admission ?

Pour atteindre le formulaire d'inscription en ligne, scanner le QR code ci-contre.

Contact par mail
admission.polytech@umons.ac.be

Le Secrétariat des Etudes de Mons est accessible par téléphone au 065 37 40 30 à 33 et la Cellule administrative de Charleroi au 071 89 91 17.



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