



# POLYTECH.NEWS

Le journal de la Faculté Polytechnique de Mons

**DOSSIER :**  
**LE DÉFI DES**  
**ÉNERGIES DURABLES**

**La première bourse ERC  
accordée en Polytech !**

**Le bassin de Mons, quelle énergie !**



**POLYTECH  
MONS**

## Éditeur Responsable

Paul Lybaert  
*Doyen de la FPMs*

## Comité de Rédaction

Diane Thomas  
*Rédactrice en chef*

Georges Kouroussis  
*Secrétaire de rédaction*

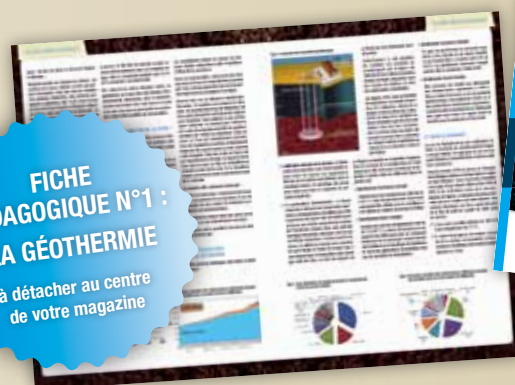
Marc Frère  
*Éditeur Invité*

Jean-Marc Baele, Alexandra Baroni  
Pascal Damman, Eric Dumont  
Florence Févry, Viviane Grisez  
Saïd Mahmoudi, Christine Martens,  
Edouard Rivière, Alain Sabbe  
Céline Thillou, Dominique Wynsberghe,  
Valéry Saintghislain, François Vallée  
*Comité de Rédaction*

Michel Bagein, Quentin Bombled,  
Adrien Dolimont, Christophe Caucheteur,  
Grégory Coussement, Laurent Debailleux,  
Olivier Deblecker, Thomas Drugman,  
Thomas Dubuisson, François Ducobu,  
Olga Durieux, Benoît Fauville,  
Hongying Fei, Véronique Feldheim,  
Sébastien Frémal, Anne-Lise Hantson,  
Nicolas Heymans, Jad Jalwan,  
Laurent Joczzyk, Jean Leclercqz,  
Christophe Letot, Luciane Licour,  
Jacques Lobry, Delphine Lupant,  
Saïd Mahmoudi, Mohand Mezmez,  
Alain Rorive, Daniel Tuytens  
*Rédacteurs invités*

# SOMMAIRE

**FICHE  
PÉDAGOGIQUE N°1 :  
LA GÉOTHERMIE**  
à détacher au centre  
de votre magazine



- 3 **ÉDITORIAL**
- 3 **LE MOT DU DOYEN**
- 4 **DOSSIER | Le défi des énergies durables**
- 4 Énergies renouvelables... société renouvelée ?
- 8 Ordonnancement moins énergivore de tâches dans les systèmes de calcul en nuage
- 9 Eclairage LED et Energy Harvesting : deux solutions pour consommer moins
- 10 Green Computing
- 11 Les réseaux électriques intelligents au service du développement des énergies renouvelables ?
- 14 Énergie éolienne : une problématique pluridisciplinaire
- 15 Utilisation de fibres optiques pour fiabiliser les éoliennes
- 15 Un nouveau banc éolien au laboratoire de Génie électrique
- 16 Le bruit des éoliennes
- 16 Étude de l'incidence acoustique d'un parc éolien
- 17 GreenRail : un rail plus vert !
- 18 Des étudiants mécaniciens ont pris part au Shell Eco-marathon
- 19 I-CARE 333 : une autre idée de la mobilité
- 20 Interview de Xavier Vanderstappen, initiateur du projet I-CARE 333
- 21 Gestion de l'énergie dans les bâtiments
- 22 Les pompes à chaleur produisent-elles de la chaleur d'origine renouvelable ?
- 23 Le stockage inter-saisonnier d'énergie thermique d'origine solaire
- 24 Le solaire photovoltaïque à l'UMONS
- 26 Géothermie profonde en Hainaut : l'idée à creuser
- 28 Les micro-algues, un nouvel or vert ?
- 30 Energia et energeia : l'énergie dans les temps anciens
- 31 **POLYTECH DOCT' NEWS**
- 31 Système de reconnaissance et de reconstruction de bâtiments patrimoniaux
- 31 Étude thermodynamique de l'adsorption de mélanges gazeux sur solides microporeux : de l'expérience à la modélisation
- 32 Technologies de la parole : quel est le rôle des cordes vocales ?
- 33 Modélisation dynamique et contrôle d'un robot à six pattes – application au robot AMRU5
- 33 Caractérisations expérimentale et numérique de la combustion diluée
- 34 **NOS CHERCHEURS ET ENSEIGNANTS SE DISTINGUENT**
- 34 La première bourse ERC a été accordée à l'UMONS en Polytech !
- 35 **NOS ÉTUDIANTS SE DISTINGUENT**
- 36 **DIFFUSION DES SCIENCES**
- 36 Le bassin de Mons, quelle énergie !
- 37 À vos agendas !
- 38 **PÊLE-MÊLE**

## ÉDITORIAL

✉ Prof. Diane Thomas



Assurément, les thématiques des dossiers du Polytech News se suivent mais ne se ressemblent pas... Créativité et Innovation, Rayonnement international puis Patrimoine constituaient les sujets précédents. Cette fois, nous nous penchons sur les actions menées et les défis relevés par notre Faculté dans le domaine des énergies durables.

Nous poursuivons toujours le même objectif clair : illustrer, de façon très transversale, la participation des enseignants, chercheurs et étudiants de la FPMs à des activités de recherches porteuses.

En question donc dans le PN46 : l'Énergie Durable ! Sujet éculé, pensez-vous ? Certainement pas, comme vous le prouveront les articles du dossier apportant des informations tout à fait originales ou montrant l'intervention de la FPMs dans des domaines où on ne l'attendait pas vraiment. Dans l'optimisation des consommations énergétiques du système ferroviaire, des systèmes de calcul informatiques ou des processeurs graphiques, ou encore dans le développement, la fiabilisation et l'étude de l'impact acoustique des éoliennes, pour ne citer que quelques exemples.

La toute nouvelle chaire ORES permettra d'aller plus avant dans la compréhension de l'impact et la gestion du réseau électrique en présence des productions décentralisées d'énergie utilisant des sources renouvelables.

Nous avons tenu à présenter ici des articles à mi-chemin entre une certaine vulgarisation et des développements volontairement plus scientifiques... Des références de publications récentes des équipes de recherche émaillent certains des articles, permettant au lecteur intéressé et curieux de poursuivre sa découverte de la problématique.

Le large éventail de projets en cours vous confirmera tout le dynamisme et toute l'ÉNERGIE injectés par les divers protagonistes de la FPMs. De là à dire que ces

derniers mènent une recherche permanente cohérente, DURABLE et sans cesse renouvelée, il n'y a qu'un pas...

Que Marc Frère, coordinateur du Pôle Énergie de la FPMs et éditeur invité du PN46, soit félicité pour son indéniable maîtrise des sujets et remercié pour son enthousiasme communicatif ! Dans son introduction, les connaissances scientifiques dans le domaine énergétique le disputent aux références littéraires et aux envolées philosophiques.

Une nouveauté apparaît en position centrale dans ce numéro : une fiche pédagogique détachable, concoctée tout spécialement par la cellule ApplicaSciences. Ce premier cahier porte sur la Géothermie, en relation directe avec le dossier.

Traditionnellement, nos jeunes diplômés docteurs présentent les avancées apportées par leurs travaux de thèses. Nos « Polytech Doct'News » abordent cette fois les technologies de la parole (regards croisés sur analyse glottique et détection automatique de pathologies), les reconnaissance et reconstruction du patrimoine architectural, le contrôle de robots-marcheurs, l'adsorption de mélanges gazeux sur solides microporeux ou encore la combustion diluée. Eclectisme toujours de mise !

La rubrique « Nos chercheurs se distinguent » met particulièrement à l'honneur Christophe Caucheteur qui s'est vu attribuer la prestigieuse bourse du Conseil Européen de la Recherche.

Je profite également de la parole qui m'est donnée ici pour remercier Jonathan Toubeau, qui me secondait efficacement dans la rédaction du PN, et pour accueillir dans l'équipe Georges Kouroussis qui le remplacera désormais ! Il assumera sa tâche de manière très performante, j'en suis certaine.

Rendez-vous est pris au printemps prochain...

## LE MOT DU DOYEN

## LE MOT DU DOYEN

✉ Prof. Paul Lybaert



C'est au début des années 80 que le terme « développement durable » est apparu. La définition généralement retenue pour ce concept est celle formulée en 1987 dans le Rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'ONU (rapport Brundtland) :

« Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. Deux concepts sont inhérents à cette notion :

- le concept de « besoins », et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité, et
- l'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir. »

Dans ce cadre, la stratégie énergétique est l'un des problèmes majeurs auquel l'humanité est confrontée : comment couvrir de manière soutenable les besoins énergétiques mondiaux tout en permettant le développement des pays les moins nantis, alors que les réserves d'énergie fossile s'épuisent et que les émissions de CO<sub>2</sub> liées à son utilisation risquent de perturber gravement le climat de la planète ?

Près de 25 ans après la publication du rapport Brundtland, après seize conférences des Nations unies sur les changements climatiques et quatre rapports du GIEC, force est de constater que ce modèle de développement tarde à être appliqué : au moment où la population mondiale vient de dépasser les 7 milliards d'habitants, notre empreinte écologique n'a jamais été aussi élevée (équivalente à 1,4 planète) et l'année 2010 détient le record des émissions de CO<sub>2</sub>.

Si les réponses au défi énergétique nécessitent des changements politiques, économiques et sociaux importants mais trop lents à se mettre en place, elles dépendent également de développements technologiques majeurs : amélioration drastique de l'efficacité énergétique des équipements et procédés, nouvelles solutions de mobilité, aménagement d'habitats et villes durables, diversification des sources d'énergie et recours massif aux sources d'énergie renouvelables et faiblement « carbonées », ... Les scientifiques et les ingénieurs sont donc au cœur de ce qui constituera une véritable mutation énergétique à réaliser au cours de la première moitié de ce 21<sup>ème</sup> siècle.

C'est dans ce contexte sociétal que s'inscrit ce nouveau numéro de Polytech News consacré au « Défi des énergies durables ». J'espère qu'il suscitera des vocations et conduira des jeunes à s'engager dans des études d'ingénieur passionnantes, avant de contribuer, dans quelques années, à assurer un avenir durable à notre société. Bonne lecture !

# DOSSIER :

## LE DÉFI DES ÉNERGIES DURABLES



### ÉNERGIES RENOUVELABLES... SOCIÉTÉ RENOUVELÉE ?

## Grandeur et petitesse de l'Homme face à la planète

✉ Prof. Marc Frère, Service de Thermodynamique et Physique mathématique

#### Fiction et réalité

- *Je te reconnais, dit-il. Tu es Denis, le chef de la tribu du Mont Ventoux.*

- *Oui, père.*

- *C'est toi qui as construit cette machine ?*

- *Oui père. J'y travaille en secret depuis dix ans.*

....

- *Insensé, crie le vieillard. Le cataclysme qui faillit faire périr le monde est-il déjà si lointain qu'un homme de ton âge ait pu oublier la leçon ?*

*Lentement, le patriarche vint vers lui. Il a tiré de sa ceinture son couteau de bronze. Il est déterminé à sauver l'œuvre à laquelle il a consacré plus de cent ans de sa vie...*

Ces quelques lignes sont extraites du dernier chapitre du roman « Ravage » dans lequel l'auteur, René Barjavel, nous dépeint le destin tragique d'une société futuriste ultra-technicisée et ayant perdu toute humanité. Son fonctionnement repose entièrement sur l'utilisation de machines et d'une source d'énergie unique qui assure leur fonctionnement : la quintessence. Mais un jour celle-ci vient à manquer brutalement. On assiste alors à l'effondrement de cette société apparemment policée... les gestes les plus simples deviennent impossibles, entraînant une désorganisation rapide et destructrice des grandes villes et la résurgence de comportements humains égoïstes, destructeurs et terriblement cruels. Un petit groupe d'individus parvient à s'extraire de Paris en pleine perdition et décide de fonder une société agri-

cole dans laquelle tout recours à la technologie est banni. Un jour, l'un des nombreux fils du fondateur de cette société, le patriarche, offre à son père une machine à vapeur dont il a appréhendé le principe de fonctionnement en regardant de l'eau bouillir dans une casserole.

A la lecture de ce roman qui date de 1943, on ne peut s'empêcher de faire un parallèle entre la situation décrite et celle de notre société occidentale actuelle. Faut-il en conclure pour autant que le salut de l'humanité passera par un retour à une société que d'aucuns qualifieront de rétrograde dans la mesure où elle proscrireait tout progrès technologique ? A y regarder d'un peu plus près, il existe quelques différences fondamentales entre notre situation et celle illustrée dans le roman. Le fonctionnement de notre société est certes, basé d'un point de vue énergétique sur l'utilisation massive de sources d'énergie fossile mais il n'est pas question, comme c'est le cas dans le roman, d'une source unique. Il n'est pas question non plus que ces sources d'énergie viennent à se tarir brutalement. Enfin, nous avons à notre disposition des sources alternatives d'énergie bien que leur utilisation nécessite une adaptation de notre système énergétique. Nous disposons donc, a priori, d'un temps d'adaptation et de solutions de rechange qui devraient nous prémunir d'un effondrement brutal de notre société. Cependant, un autre danger que celui de la fin des réserves d'énergie fossile plane sur nous : il s'agit des effets du réchauffement climatique, liés notamment à l'utilisation de cette énergie fossile. On estime en effet qu'il est impératif que le pic de rejets annuels de gaz à effet de serre se situe avant 2015 si l'on veut limiter ce réchauffement à 2°C au maximum et pouvoir rentrer par la suite dans une logique de régression du phénomène. Cette priorité d'une nécessité de la réduction des rejets de gaz à effet de serre pour des raisons climatiques n'est certes pas partagée par tous. Il existe de vifs débats sur le pic du pétrole et sur l'influence d'une diminution de sa production dans un délai relativement court, sur le fonctionnement d'une société dont les besoins en pétrole ne font qu'augmenter. En d'autres termes, le temps d'adaptation dont nous disposerions ne serait pas suffisant pour empêcher l'émergence de tensions économiques, sociales et géopolitiques liées aux réserves d'énergie fossile.

### Comprendre le passé pour préparer le futur

L'homme primitif prélevait dans la nature 3000 kcal/jour d'énergie sous forme de nourriture. Aujourd'hui, un américain moyen prélève 240000 kcal/jour pour vivre et faire fonctionner son industrie. Le prélèvement énergétique de l'homme moderne qui s'est entouré de machines et de nombreux objets est donc 80 fois plus élevé que celui de l'homme qui a pour seule technologie de conversion d'énergie son propre corps, c'est-à-dire l'homme animal. Ce facteur est réduit à 20 si on considère la consommation moyenne de l'homme actuel. Nous sommes aujourd'hui 7 milliards d'individus sur terre mais notre impact énergétique est équivalent à celui de 140 milliards d'hommes primitifs. Ceux-ci bénéficieraient chacun de 0,001 km<sup>2</sup> de ressources pour assurer leur subsistance, soit un terrain d'un peu plus de 10 m sur 100 m (sur base de la superficie des terres émergées). Certes, il n'est guère difficile de produire 3000 kcal/jour sur une telle surface mais, à politique constante, cette surface fictive sera déjà réduite de moitié en 2050... et l'homme n'est pas seul ! Indépendamment des débats sur le réchauffement climatique et sur la fin plus ou moins proche des sources d'énergie fossile, ne faut-il pas s'alarmer de ces chiffres et tirer le constat que le mode de fonctionnement de nos sociétés modernes mène l'humanité vers son extinction par simple manque de ressources pour assurer sa pérennité... la nature applique les mêmes lois à toutes les espèces : quand l'espace vital se réduit, l'espèce décline.

### Comment l'homme a-t-il pu en arriver à une telle situation ?

Il s'agit d'un processus lent et insidieux dont la genèse remonte à la préhistoire.

Lorsque l'homme découvre le feu, il maîtrise l'une des premières technologies de conversion de l'énergie. Il augmente dès lors son prélèvement de ressources naturelles. Cette technologie lui permet surtout d'affirmer pour la première fois sa position d'être capable de maîtriser la nature. Il a accès à la chaleur quand il fait froid. Il a accès à la lumière quand il fait sombre. Il se protège du monde animal. L'une des premières conséquences de l'évolution de l'homme dans un monde plus confortable est qu'il ne doit plus passer autant de temps à assurer ses besoins physiologiques de base, ce qui provoquera chez lui l'envie de satisfaire de nouveaux besoins... c'est après la domestication du feu et la maîtrise des outils qu'apparaissent les premières manifestations artistiques et sans doute les premières préoccupations métaphysiques. Satisfaire un besoin et en créer un nouveau est une caractéristique de l'homme qui sera exploitée beaucoup plus tard dans une société tout entière basée sur la consommation et l'économie.

La découverte du feu a également une autre conséquence, c'est la possibilité pour l'homme de travailler les métaux. Energie et matière constitueront dans la suite de l'histoire de l'humanité un couple infernal. La première permet à l'homme de transformer la seconde et ainsi de s'entourer d'objets les plus divers. L'homme ne prélève plus uniquement les ressources naturelles pour la production d'énergie. L'accès à des matériaux de plus en plus performants permet à l'homme de découvrir de nouvelles manières de convertir l'énergie. C'est un cercle vicieux qui sera au centre de la révolution industrielle et qui sera entretenu par la volonté toujours croissante de satisfaire des besoins de plus en plus élevés. Comme on le constate, les prémices de ce qui fera de l'homme un « energy addict » apparaissent très tôt dans la préhistoire. C'est le siècle des Lumières qui remet au goût du jour la structuration du savoir après des siècles d'obscurantisme religieux, la découverte de la machine motrice à vapeur qui permet une production d'énergie mécanique indépendante de la force du vent ou de l'eau, le développement des moyens de communications et la découverte de sources d'énergie (charbon puis pétrole) considérées à l'époque comme infinies, qui précipitent l'humanité occidentale dans un monde de consommation nécessitant sans cesse de puiser plus dans les réserves naturelles. Il faut dire qu'un tel système fut entretenu politiquement et sous couvert de principes ô combien légitimes. Humanisme, Droits de l'homme et Socialisme furent de bons prétextes pour développer une société de consommation ouverte au plus grand nombre. Quant à l'Etat, il doit sans cesse promouvoir le principe de croissance économique positive s'il veut boucler son budget tout en développant de nouvelles politiques qui répondent à de réels besoins sociaux. On met là le doigt sur le mécanisme le plus pervers de notre société : en s'entourant de technologies, la société humaine s'est complexifiée car le nombre de métiers nécessaires à son fonctionnement augmente sans cesse. Un homme n'est plus égal à un autre homme ; chaque individu se distingue au moins par son métier. Chaque individu a donc ses propres aspirations dans la société liées notamment à son occupation professionnelle. Il faut donc organiser une société, de plus en plus complexe dans laquelle chacun doit s'y retrouver au bénéfice de la communauté tout entière. Hiérarchisation, lois, normes et décrets en tout genre vont régenter ce monde complexe. Tout cela nécessite des moyens publics importants d'autant plus que la haute technicité de nos sociétés laisse de plus en plus de personnes sur le bord de la route. Là encore, l'Etat doit intervenir. Pour faire face à toutes ses obligations, la croissance est le maître-mot. Il faut donc créer, fabriquer et vendre de nouveaux produits qui auront sans doute également un impact sur la complexité de la société et qui créeront de nouvelles

“ Nous sommes aujourd'hui 7 milliards d'individus sur terre mais notre impact énergétique est équivalent à celui de 140 milliards d'hommes primitifs. ”

« Selon certains, l'idéal serait de mettre en place une religion unique dont la nature serait la divinité. »



tâches pour l'Etat qui sera dès lors contraint à trouver de nouveaux budgets en répétant inlassablement les mêmes incohérences.

Il faut donc définitivement sortir d'un tel schéma. Mais habituellement, quand on sort d'un endroit, on sait où l'on va !

#### A qui la faute ?

Devant l'immensité du vide que constitue la liste des alternatives de modèles de société politiquement acceptables, d'aucuns ont choisi de chercher les coupables de la situation dans laquelle l'humanité se retrouve coincée. Qu'il s'agisse d'en tirer des leçons pour le futur ou d'épingler des responsabilités à défaut de proposer des solutions, personne ne le sait... nous ne citerons dès lors pas de nom !

Les coupables tout désignés s'appellent Science, Religion (certaines d'entre elles en tout cas), Economie, Démocratie, Droits de l'Homme.

On reproche notamment à la Science d'avoir mis à disposition de l'humanité des connaissances qui ont permis le développement technologique et donc la surexploitation de la planète.

Dieu est crédité d'avoir conseillé à l'homme de dominer la Création et d'exploiter la terre pour son bien-être.

La Démocratie empêcherait toute prise de décision courageuse.

La Déclaration des Droits de l'Homme s'en trouverait grandie si elle était assortie de Devoirs envers la planète.

L'Economie contraint l'homme dans un carcan plus terrible que celui imposé par la nature... duquel il a essayé de s'extirper par le développement technologique.

Ces analyses parcellaires sont caricaturales mais prises dans un ensemble, étudiées de manière approfondie et menées sans a priori ; elles sont riches d'enseignements. Elles conduisent à des propositions concrètes certes très idéalistes voire effrayantes pour l'homme du 21<sup>ème</sup> siècle. Selon certains, l'idéal serait de mettre en place une religion unique dont la nature serait la divinité. Il s'agirait peut-être d'une philosophie plutôt que d'une religion. Elle serait en tout cas philosophie d'Etat dans la mesure où toute décision politique devrait tenir compte de ses préceptes. La politique garderait son rôle premier : servir l'homme mais dans le respect des principes de la philosophie. Elle aurait comme tâche de traduire les concepts philosophiques en actions concrètes pour le bien de la société. En ce sens, elle peut être vue comme un contrepoids à des principes philosophiques trop théoriques. L'Economie et la Science seraient des outils pour mener à bien les politiques. La Science aurait un rôle particulier car les connaissances accumulées permettraient la remise en question partielle de la philosophie ou tout au moins la définition des actions politiques envisageables sans mettre à mal la Création.

Au même titre que la culture ou le sport, elle constituerait une activité par laquelle l'homme, ayant abandonné la production massive de biens, se distingue du monde animal par l'élévation de son esprit. Un tel modèle peut soit faire peur, soit faire sourire. Peur par la place que prend la philosophie ou la religion dans la conduite du monde... mais la politique actuelle n'est-elle pas coincée par des concepts économiques risibles puisqu'imposés par l'homme lui-même ? Peur par le manque de diversité des modes de pensée qu'elle semble proposer. Risible par son caractère naïf mais cette proposition, à bien y regarder, s'inspire du mode de fonctionnement de sociétés ancestrales reconnues pour leur sagesse et ne fait somme toute que renverser l'importance des rôles des grands pouvoirs de ce monde. Affaire à suivre donc !

#### L'Université : Science et Conscience

Nous sommes en fait face à deux défis majeurs pour les décennies futures. Le premier, sur le court et le moyen termes, est d'éviter un réchauffement climatique majeur et irréversible par une réduction drastique des rejets de gaz à effet de serre et par conséquent, d'éviter une pression intenable sur les prix des combustibles fossiles dont les stocks s'épuisent. Sa réussite nécessite la prise de décisions politiques courageuses (fixation d'objectifs contraignants à l'échelle planétaire) accompagnées des outils économiques adaptés et la maîtrise de solutions technologiques nouvelles. Le second défi, sur le moyen et le long termes, est de préparer une société de l'« après-carbone » qui réconcilierait technologie, économie, écologie et humanisme. Réussir ce défi passe par une réflexion plus profonde sur nos modèles politiques, économiques, sociétaux et philosophiques. La Science et la Technologie seront des outils complémentaires pour réussir cette transition, mais elles ne peuvent seules parvenir à atteindre l'objectif.

Chaque citoyen aura un rôle à jouer si l'on souhaite que cette évolution se fasse de manière harmonieuse et au profit de tous mais il est clair que les responsables de tous les milieux (économiques et politiques en particulier) devront faire preuve d'une vision à long terme qui n'est pas leur apanage actuellement. Le monde universitaire sera, et est déjà, un acteur primordial de ce processus et ce pour diverses raisons. Les révoltes et révolutions de ces derniers siècles ont été politiques, idéologiques, industrielles ou technologiques. Nous sommes actuellement à l'aube de ce que nous souhaitons être une évolution douce plutôt qu'une révolution mais cette évolution concernera tous les champs de notre société. L'Université est le lieu par excellence où se concentrent les spécialistes de toutes les disciplines impliquées. Economistes, Sociologues, Philosophes, Politologues, Ingénieurs et Chercheurs y mènent leurs activités en toute indépendance vis-à-vis des milieux économiques, politiques et parfois, idéologiques. Enfin, l'Université a comme rôle la diffusion des connaissances et des idées nouvelles au travers de publications mais également et surtout via les enseignements qu'elle prodigue. Cette diffusion du savoir est essentielle dans le cadre d'un

processus évolutif impliquant l'ensemble de la société. L'Université ne doit pas pour autant remplacer le politique. Elle doit réfléchir, proposer, alerter, conscientiser et participer au travail de diffusion, au sein de la population, des messages essentiels qui feront des citoyens des électeurs avertis.

### Le rôle des générations futures

Nous vivons dans une société désenchantée qui ressemble à un train fou engagé sur une voie dont les aiguillages sont peu nombreux. Personne ne connaît la destination mais tout le monde la craint. Quant aux conducteurs du train, soit ils sont absents, soit ils sont tellement nombreux que la prise de décision lorsqu'un aiguillage survient est difficile et souvent faite sur base d'éléments d'information peu tangibles et liés à la situation du moment. La plupart des occupants sont des passagers qui n'ont que peu à dire sur la destination et encore moins sur le chemin qui est pris. Les places en première classe sont rares et certains voyagent sur les essieux, essayant juste de ne pas tomber. Simple impression rendue pessimiste par le temps pluvieux de cet été (moment où ces lignes ont été écrites) ou réalité effroyable? Qu'importe si la destination finale est un précipice ! Jeunesse apeurée par les perspectives économiques, jeunesse démotivée par un sentiment d'impuissance face à une société dont elle ne maîtrise pas les rouages et qui ne lui offre plus d'idéal à atteindre, est-ce bien là la funeste réalité?... Si une telle analyse, bien que métaphorique, semble pertinente vu les soubresauts que connaît notre société ces dernières décennies et de manière plus marquée ces dernières années, elle est, à bien y réfléchir tout à fait illogique. Nous n'avons sans doute jamais eu autant de défis à relever. Nous avons accumulé un savoir qui nous permet d'identifier les voies sans issue et les erreurs à ne plus commettre. Réinventer une société nouvelle, donner un souffle nouveau à l'humanité et à la planète, ne sont-ce pas là des défis passionnants pour une jeunesse aux abois ?

Mais attention, il ne s'agit pas de faire table rase de tout. Il faut regarder en arrière pour voir le chemin parcouru et toiser celui qui reste à parcourir sans dédain pour nos ancêtres. L'Europe a connu le totalitarisme, elle est aujourd'hui lieu de démocratie. Elle est également devenue un lieu de paix après des siècles de guerres incessantes. Elle permet à chaque être humain de vivre dignement. Elle est simplement devant un nouveau défi : garder ses acquis et les rendre donc durables au vu des limites physiques de la planète.

### Mais que font les chercheurs ?

La Faculté Polytechnique de l'Université de Mons a très tôt intégré l'aspect sociologique de la problématique énergétique et a développé en conséquence de nombreuses activités dans ce domaine. La mise sur pieds du Pôle Energie au sein de la Faculté Polytechnique a permis le développement de projets de recherche multidisciplinaires. Prochainement, une étape supplémentaire devrait être franchie avec la mise en place au sein de l'Université des Instituts de recherche qui constitueront l'outil idéal pour aborder les problématiques sociétales dans toute leur complexité puisque ces Instituts rassembleront les acteurs académiques de différentes Facultés. Le monde universitaire montois est donc en marche, dans ses activités et dans son organisation, pour affronter les problèmes... Dans ce dossier thématique sur l'énergie durable, nous vous invitons dans un monde passionnant et souvent surprenant à travers différents articles soit de fond soit relatant les activités de la Faculté polytechnique de Mons dans ce domaine. Passionnant notamment par l'aspect multidisciplinaire des actions menées : comme de coutume dans le dossier du Polytech News, chaque département a apporté sa contribution. Surprenant par la diversité des secteurs concernés et des activités menées, celles-ci sont souvent caractérisées par une dimension temporelle (période de temps nécessaire avant que l'activité n'ait des répercussions tangibles sur la société) et par une dimension géographique (zone géographique dans laquelle les résultats de l'activité peuvent être exploités). Cet espace à deux dimensions n'a aucun secret pour nos têtes pensantes ! Ainsi, vous apprendrez que certains chercheurs du Service de Thermique et Combustion ont comme quotidien le soutien d'ordres scientifique, technique et législatif au secteur wallon de la construction dans le cadre de mise en place de la législation sur la performance énergétique des bâtiments. D'autres activités de recherche ne s'accrochent guère des impératifs de l'immédiateté tant leurs objectifs sont sur le long terme : il s'agit par exemple des recherches concernant la mise au point de nouvelles générations de cellules photovoltaïques, menées dans le Service de Science des Matériaux et dans le Centre

d'Innovation et de Recherche des Matériaux et Polymères, ou encore le développement de systèmes de stockage de chaleur (d'origine solaire) inter-saisonniers permettant une autarcie totale des bâtiments en chauffage, dont le premier prototype est attendu pour...2017. Ce qui est le plus frappant est sans doute de voir la diversité des actions sur le moyen terme : pouvoir se fixer des objectifs clairs et les atteindre tout en étant certain que le chemin à parcourir sera riche d'enseignements nouveaux reste sans doute l'activité la plus motivante pour nos chercheurs. A ce titre, la réflexion sur le futur de notre réseau électrique qui sera de plus en plus alimenté par des systèmes dont la production est variable au cours du temps, car basée sur l'utilisation d'énergies éolienne et photovoltaïque, constitue une importante activité notamment du Service de Génie électrique co-responsable avec le Service de Télécommunication de la toute nouvelle Chaire ORES implantée dans notre Faculté. Mieux gérer et faire fonctionner l'existant : de l'optimisation des éoliennes pour maximiser leur temps de fonctionnement à la gestion énergétique du transport ferroviaire, telles sont les préoccupations actuelles des Services de Télécommunications et de Mathématique opérationnelle. Les recherches menées sur la capture du CO<sub>2</sub> et la production de carburants à partir de micro-algues est un exemple parfait de recherche intégrée. Depuis la compréhension des mécanismes de capture du CO<sub>2</sub> par ces organismes jusqu'à l'optimisation des conditions de cultures en passant par la sélection des micro-algues permettant le meilleur bilan CO<sub>2</sub> notamment par leur capacité à produire des acides gras (composés à la base de la fabrication des biocarburants), l'enjeu est de taille : raccourcir le cycle du carbone avec un impact limité en termes de surface de culture nécessaire. Que dire de plus si ce n'est que ce ne sont là que quelques exemples des recherches menées au sein de la Faculté Polytechnique dans le domaine de l'énergétique. Dans tous les domaines cités, les recherches sont menées par des équipes de chercheurs souvent multidisciplinaires. Il s'agit de thématiques de recherche bien implantées pour lesquelles la Faculté a su bâtir et maintenir des compétences reconnues qui, dès lors, bénéficient d'un financement relativement récurrent.

“ **La Faculté Polytechnique de l'Université de Mons a très tôt intégré l'aspect sociologique de la problématique énergétique et a développé en conséquence de nombreuses activités dans ce domaine.** ”

**Il ne faut cependant pas croire que nous nous contentons de proposer nos compétences et d'espérer que celles-ci correspondent aux besoins du moment. L'Université de Mons est présente dans de nombreux organismes dont l'objectif est de définir aux niveaux régional, national et européen, les grands enjeux de demain dans le domaine de l'énergétique. La diversité de ses activités en fait un acteur incontournable dans la définition des actions de recherche à mener prioritairement. Parallèlement, la participation à de tels organismes permet à l'Université, grâce à la confrontation des idées qui s'y opère, de constamment remettre en question ses choix et de préparer, notamment via les actions de recherche plus fondamentale, les nouvelles générations de chercheurs qui seront capables de relever des défis sans cesse renouvelés.**

#### Références :

Nature et Spiritualité, Jean-Marie Pelt, Fayard, 2008

Ravage, René Barjavel, Denoël, 1943

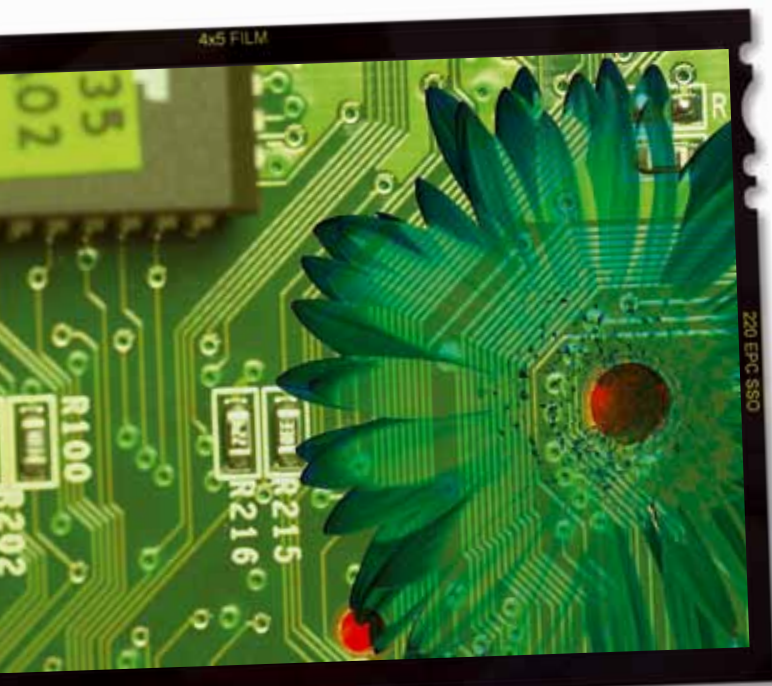
Traité de Génie Civil de l'Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne, Vol 21 : Systèmes énergétiques, Gérard Salas, Pierre-André Haldi, Pierre Verstraete, presses polytechniques et universitaires romandes, 2003

# Ordonnancement moins énergivore de tâches dans les systèmes de calcul en nuage

☒ Dr Mohand Mesmaz et Prof. Daniel Tuytens, Service de Mathématique et Recherche opérationnelle



**La problématique de l'énergie gagne même les systèmes informatiques et diverses techniques ont été étudiées et développées pour en réduire l'empreinte carbone.**



L'utilisation des techniques de l'« informatique verte » peut réduire considérablement l'empreinte carbone d'une organisation et, par conséquent, celle d'un pays. En septembre 2009, l'ONU a acheté 461 tonnes de crédits-carbones pour s'assurer que le sommet sur le changement climatique organisé à New-York soit neutre en termes d'émissions de carbone. Or, d'après une étude récente, la mise en œuvre et le déploiement des techniques de l'informatique verte sur 10.000 ordinateurs en Virginie-Occidentale produirait 33 fois moins de carbone en un an que ce qui a été émis par le sommet.

Une autre étude sur la consommation d'énergie montre qu'en 2005 l'énergie utilisée par les serveurs informatiques aux Etats-Unis représente environ 0,6% de la consommation totale d'électricité du pays. Ce nombre croît à 1,2% lorsque les infrastructures de refroidissement et les autres auxiliaires sont inclus. La même année, la facture d'électricité globale pour l'exploitation de ces serveurs et des infrastructures connexes est estimée à environ 2,7 et 7,2 milliards de dollars respectivement aux États-Unis et dans le monde. La consommation totale d'électricité par les serveurs dans le monde a doublé pendant la période s'étalant entre 2000 et 2005.

Par ailleurs, le nombre de transistors intégrés de nos jours dans un processeur Intel Itanium 2 atteint près d'un milliard. Si ce taux continue à augmenter avec le rythme actuel, la chaleur par centimètre carré qui serait produite par les futurs processeurs Intel dépasserait celle de la surface du soleil dans relativement peu de temps. Par conséquent, ceci se traduirait systématiquement par une perte de fiabilité de ces processeurs ainsi qu'une dégradation de leurs performances.

En raison de l'importance croissante de la problématique de la consommation d'énergie, diverses techniques, y compris celles de la mise à l'échelle dynamique de la tension (technique DVS pour Dynamic Voltage Scaling), l'hibernation de ressources, et l'optimisation de la mémoire, ont été étudiées et développées. Parmi ces techniques, la DVS s'est particulièrement imposée comme une solution prometteuse et a également démontré sa capacité à réaliser des économies d'énergie significatives. Pour ces raisons, un intérêt particulier a été porté à cette technique dans nos travaux réalisés dans le cadre d'une collaboration entre les universités de Mons, Lille, Sydney, et King Saud de Riyad [1]. La DVS permet d'ajuster dynamiquement les niveaux de tension des processeurs afin de réduire leur consommation énergétique. Cependant, cette réduction est obtenue au détriment d'une perte de la cadence et de la fréquence d'horloge du processeur.

Les applications parallèles avec contraintes de précédence PCPA (Precedence-Constrained Parallel Applications) sont l'un des modèles d'applications les plus typiques et les plus utilisés dans les différents domaines scientifiques et des sciences de l'ingénieur. Ces applications peuvent être déployées sur les systèmes de calcul homogènes ou hétérogènes HCS (Heterogeneous Computing Systems) tels que les systèmes de calcul « sur cloud » (le mot cloud, pour nuage, s'est imposé dans la communauté scientifique francophone ; c'est un peu comme le mot mail plus utilisé que courriel).

Le calcul sur cloud est un concept relativement récent qui a émergé du calcul distribué hétérogène ainsi que du calcul sur grilles. Dans un cloud, les utilisateurs finaux ne possèdent aucune partie de l'infrastructure utilisée. Ces utilisateurs exploitent d'une façon simple les services disponibles à travers un certain paradigme et payent les services fournis. Ce paradigme cloud peut offrir toute forme concevable de services, tels que les ressources de calcul, notamment pour les applications HCS, les services web, les réseaux sociaux, les services de télécommunication, etc. Plusieurs critères déterminent la qualité du service fourni, le coût de production de ce service, et donc le prix payé par l'utilisateur final. La durée de ce service (appelée makespan), et l'énergie consommée sont parmi ces critères. L'idée est de fournir aux utilisateurs finaux un service plus flexible qui prend en compte la durée du service et l'énergie consommée. Les utilisateurs finaux pourraient alors trouver un bon compromis entre ces deux objectifs contradictoires pour résoudre leurs applications de type PCPA.

Le problème de trouver un bon compromis entre le temps de résolution et l'énergie consommée d'une PCPA est un problème d'optimisation bi-objectif. La solution à ce problème est un ensemble de points Pareto. Chaque point Pareto est une solution de compromis pour laquelle une amélioration d'un objectif ne peut se produire qu'en détériorant au moins un autre objectif. Ainsi, au lieu de proposer au décideur une solution unique pour le problème considéré, la résolution d'un problème bi-objectif génère un ensemble, éventuellement infini, de solutions Pareto. A notre connaissance, il n'existe pas de travaux de recherche publiés dans la littérature pour résoudre le problème PCPA avec une approche Pareto en tenant compte à la fois du makespan et de l'énergie consommée.

#### Référence :

- [1] M. M. Mezma, N. Melab, Y. Kessaci, Y.C. Lee, E.-G. Talbi, A.Y. Zomaya, D. Tuytens, A parallel bi-objective hybrid metaheuristic for energy-aware scheduling for cloud computing systems, Journal of Parallel and Distributed Computing, Volume 71, Issue 11, November 2011, Pages 1497-1508.



Dans nos travaux, nous nous sommes intéressés à la problématique énergétique pour l'ordonnancement de tâches des applications de type PCPA sur les systèmes de calcul cloud. Nous avons proposé une nouvelle approche qui hybride un algorithme génétique bi-objectif parallèle et une heuristique d'ordonnancement de tâches appelée ECS (Energy-Conscious Scheduling heuristic). Les algorithmes génétiques permettent d'explorer une grande variété de solutions possibles à un problème. La capacité d'exploration de l'algorithme génétique et la puissance d'intensification d'ECS sont complémentaires. Dans l'optimisation, une combinaison intelligente de méthodes avec des propriétés complémentaires peut conduire à la construction d'une méthode ayant un comportement plus intéressant.

Notre approche est efficace car elle bénéficie de la puissance d'exploration de l'algorithme génétique, la capacité d'intensification d'ECS, l'approche coopérative du modèle insulaire, et le parallélisme du modèle multi-départ. Dans le modèle insulaire, inspiré de certains comportements observés dans les niches écologiques, plusieurs algorithmes génétiques sont déployés pour faire évoluer simultanément leurs populations de solutions. Le modèle multi-départ consiste à déployer simultanément plusieurs méthodes, géné-

ralement indépendantes, pour fusionner leurs résultats finaux. Le modèle insulaire et l'hybridation améliorent la qualité des résultats obtenus. Le modèle multi-départ réduit le temps d'exécution d'une résolution. De plus, l'un des intérêts majeurs de notre approche est de donner à l'utilisateur final un ensemble de solutions Pareto pour choisir l'une d'elles en fonction de la qualité du service souhaitée, en particulier le délai de résolution, autrement dit le makespan, et le coût du service en termes d'énergie et par conséquent du prix à payer.

Notre nouvelle approche est évaluée à l'aide d'instances représentant un graphe de tâches d'une transformée de Fourier rapide FFT (Fast Fourier Transform) qui est une application réelle. Les expériences montrent que (1) l'hybridation améliore en moyenne les meilleurs résultats obtenus dans la littérature de 47,5% pour la consommation d'énergie et de 12 % pour la durée du service, (2) le modèle insulaire améliore significativement les résultats obtenus en utilisant uniquement l'hybridation, et (3) le modèle multi-départ accélère notre approche avec une accélération moyenne de 13 en utilisant 21 cœurs de calcul.

## Eclairage LED et Energy Harvesting : deux solutions pour consommer moins

✉ Laurent Jocyzyk, Service d'Électronique et Microélectronique



**Que ce soit pour réduire sa facture d'électricité ou pour profiter plus longtemps de son appareil électronique portable, consommer un minimum d'énergie électrique a toujours fait partie des attentes du consommateur.**

**Ces dernières années, l'électronique a fait des prouesses dans ce domaine afin de répondre à cette demande.**

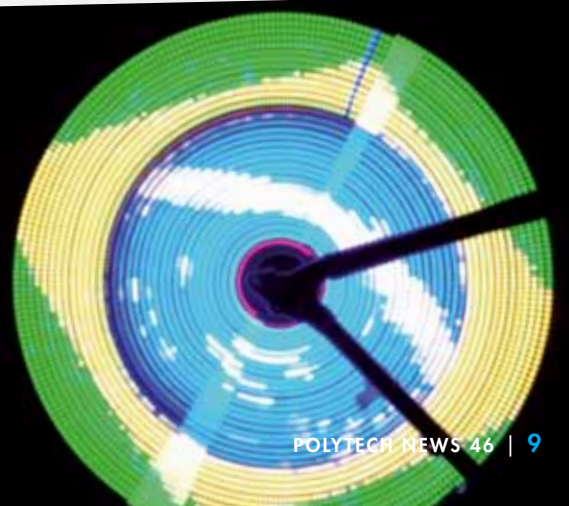
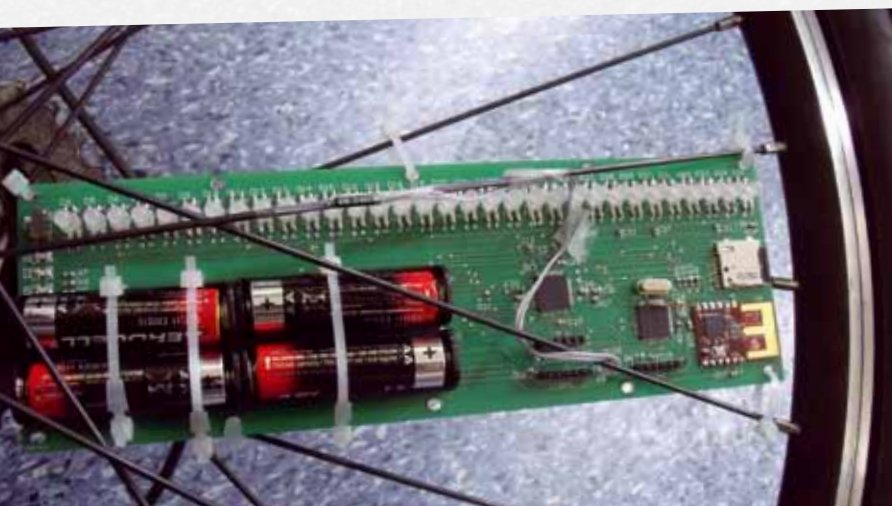
Parmi toutes ces avancées, l'éclairage à LED (pour Light Emitting Diode), est apparu progressivement sur le marché et propose une alternative intéressante aux ampoules traditionnelles. Utiliser une diode électronique pour produire de la lumière n'est cependant pas une idée récente. Depuis des dizaines d'années déjà, les LEDs sont présentes dans beaucoup d'applications sous la forme de témoins lumineux rouges. La notoriété actuelle de ce type d'éclairage est due à l'amélioration récente de son rendement.

Le principal avantage qui favorise l'utilisation des LEDs est leur consommation réduite (150 lm/W contre 14 lm/W pour une ampoule à incandescence). De plus, elles présentent aussi une longue durée de vie et un faible encombrement. Lors du projet Mobicled (Numediart), un écran pour roue de vélo a été conçu (voir image). Cet écran est composé de plusieurs rangées de LEDs disposées sur les rayons de la roue. L'image est ensuite formée lors de la rotation du système. Ce projet n'aurait pas été possible avec un autre

type d'éclairage plus encombrant. Le principal inconvénient des LEDs est leur prix d'achat qui reste encore élevé.

Une autre solution visant à réduire la consommation est l'Energy Harvesting. Ici, l'énergie provenant de l'extérieur du système est récupérée pour alimenter le circuit. Ces sources peuvent être d'origine mécanique, solaire ou thermique. Cette énergie est ensuite convertie en électricité à l'aide d'un capteur et stockée par un circuit régulateur. Il est ainsi possible d'alimenter des petits circuits autonomes comme des pacemakers qui pourraient ainsi avantageusement récupérer l'énergie des battements du cœur !

Ces deux solutions visent à réduire la consommation et favorisent l'utilisation d'énergies renouvelables, deux éléments indispensables pour garantir un avenir serein à notre planète.



# GREEN COMPUTING

☒ Michel Bagein, Sébastien Frémal, Dr Saïd Mahmoudi, Service d'Informatique

## ... ou comment les processeurs graphiques économisent le temps et l'énergie

Longtemps utilisés, les rouets ont été les principaux outils pour fabriquer du fil. Chaque rouet était manipulé par une seule personne. Pour produire plus de fil, il suffisait



de faire travailler plusieurs ouvrières : le temps nécessaire à filer la même quantité de produit était alors divisé par le nombre d'ouvrières. Avec l'avènement de l'ère industrielle, les machines à filer ont remplacé les ouvrières. Néanmoins, la vitesse de filage ne peut pas être accélérée à l'infini, et les concepteurs de machines ont donc imaginé des bancs de filage où des centaines de fileuses mécaniques travaillent parallèlement.

Nous rencontrons la même évolution dans les ordinateurs où l'architecture des processeurs, initialement équipés d'un cœur unique (une fileuse), est passée au dual-core, quadri-core, hexa-core (2, 4, 6 fileuses), etc. Cela signifie qu'un processeur central unique peut effectuer plusieurs traitements simultanément. De plus, il est possible de différencier les tâches attribuées aux cœurs : plusieurs programmes différents peuvent alors être exécutés simultanément, tout comme les fileuses, qui pouvaient individuellement s'occuper de tâches différentes : charger et décharger le rouet.

L'équivalent du banc à filer existe aussi dans nos PC : il s'agit du processeur graphique, conçu pour exécuter simultanément le même calcul sur des données distinctes. Ce processeur a comme objectif premier de décharger le processeur

central des calculs 2D et 3D. Il est désormais possible de le programmer pour bénéficier de sa grande puissance de calcul, issue de ses nombreux cœurs : on en dénombre actuellement jusqu'à plusieurs centaines, le tout pour quelques centaines d'euros seulement.

### Accélération des vitesses ...

Depuis quelques années, ces processeurs graphiques (GPU : Graphic Processing Unit) sont utilisés pour accélérer des calculs scientifiques : simulation numérique, météorologie, bioinformatique, etc. Prenons l'exemple du calcul du nombre d'éléments distincts présents au sein d'un ensemble de 10 vecteurs de 16300 éléments. Alors qu'un cœur de processeur central prend près de 4 minutes pour traiter l'ensemble des données, il n'a suffi que de 34 secondes au processeur graphique pour obtenir les mêmes résultats.

### ... et économies d'énergie : ...

D'un point de vue énergétique, un processeur graphique réclame plus de puissance instantanée qu'un processeur central, mais comme ce dernier peut réclamer de fonctionner bien plus longtemps pour produire la même quantité de calculs, le bilan énergétique penche en faveur du processeur graphique. Des tests en grandeur réelle, effectués aux laboratoires du service d'Informatique de la Faculté Polytechnique de Mons, ont montré des facteurs d'accélération de l'ordre de 8, couplés à des réductions d'énergie de l'ordre de 80%.

D'un point de vue pratique, une telle application portée sur GPU apporte les avantages suivants :

- une réduction du nombre de machines nécessaires pour effectuer les traitements ;
- une diminution du temps de réponse pour chacune des tâches ;
- une réduction d'énergie et un coût inférieur.

Notons aussi que l'utilisation des GPU apporte d'autres avantages : ils sont intégrés dans le boîtier d'un PC, ce qui évite de leur adjoindre



un boîtier, une alimentation (si celle du PC est suffisamment dimensionnée), et des composants d'interconnexion supplémentaires – d'où une économie de composants de ces machines – ce qui réduit d'autant les nuisances liées à leur fabrication et à leur utilisation.

### ... des clés vers le Green Computing

La contribution sensible des GPU à la réduction d'énergie permet de les considérer comme de véritables acteurs de ce qu'on appelle actuellement Green Computing (Green IT), et qui représente une tendance technologique visant à tenir compte des aspects coût et énergie au niveau des applications informatiques. Le green IT vise tant l'optimisation du rendement énergétique de systèmes réels (distribution d'électricité, gestion du trafic routier) grâce à l'outil informatique que l'optimisation énergétique des matériels informatiques eux-mêmes. L'objectif final du Green Computing est de réduire l'empreinte carbone générée par les Systèmes d'Information.

Il est certain que les constructeurs actuels tiendront de plus en plus compte des aspects de réduction d'énergie et Green Computing lors de la conception de leurs futurs prototypes. L'avenir verra les deux types de processeurs existants (Intel et AMD) posséder de plus en plus de cœurs, et fusionner leurs architectures pour accélérer les traitements et consommer moins d'énergie. Cela s'entrevoit déjà avec le processeur accéléré d'AMD, qui combine les cœurs de processeurs centraux et ceux de processeurs graphiques sur la même puce.

La Faculté Polytechnique suit de près ces évolutions au travers la modernisation de son parc de machines et l'accomplissement de projets de recherche dans le domaine (FEDER, PSOPP, etc.).



# LES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES INTELLIGENTS AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ?

La toute récente chaire ORES, marquant le partenariat entre la Faculté Polytechnique de Mons et l'opérateur wallon des réseaux de distribution de gaz et d'électricité, se penche sur le sujet !



## En quoi consiste la chaire ORES ?

☒ Olgan Durieux, Ingénieur chez ORES

Les réseaux électriques publics actuels ont été conçus et développés pour transporter (réseau électrique de transport) et ensuite distribuer (réseau électrique de distribution) l'énergie générée par des systèmes de production centralisée (les centrales électriques, situées à des endroits spécifiques et en nombre limité sur le réseau) vers des charges exclusivement consommatrices, et ce sur une base de facteurs d'utilisation liés à la consommation.

Aujourd'hui, des productions décentralisées d'énergie utilisant les sources renouvelables (éolien, photovoltaïque, biomasse, etc.) sont raccordées de manière massive et éparse sur les réseaux de transport et de distribution et ce, à différents niveaux de tension, en fonction notamment de leur puissance.

Sur les réseaux de distribution, partant d'une situation caractérisée par des flux énergétiques de direction invariable du réseau de transport vers la charge consommatrice finale, l'avènement des productions décentralisées conduit entre autres à une variabilité de l'intensité et de la direction de ces flux (cf. graphique), rendant plus complexes le dimensionnement et l'exploitation des réseaux.

Les objectifs énergétiques fixés par l'Union Européenne à ses états membres sont très ambi-

tieux. Par exemple, à l'horizon 2020, 20% de l'énergie devra provenir de sources renouvelables.

A plus long terme (horizon 2050), l'Europe vise une économie zéro carbone.

Ces choix sociétaux ont initié un changement de contexte énergétique majeur ; ils ont déjà et auront de plus en plus des impacts conséquents sur les réseaux électriques.

Aussi, l'entreprise ORES, opérateur de réseaux de distribution de gaz et d'électricité en Wallonie ([www.ores.net](http://www.ores.net)), s'investit concrètement dans l'étude de l'évolution des réseaux qu'elle gère vers des réseaux dits intelligents (*Smart Grids*) qui constituent un maillon de la mise en place de ce nouveau « paradigme » énergétique.

A ce titre, ORES a décidé de faire appel à l'expertise de la Faculté Polytechnique de Mons pour l'aider dans ce domaine complexe par la création et le financement d'une chaire académique au sein de l'Université.

La convention de création de la chaire ORES a été signée par les partenaires le 7 avril 2011.

La chaire ORES est intitulée « *Smart Grids – Smart Metering* » (réseaux et compteurs intelligents) ; elle

financera la recherche sur ce thème pendant une durée initiale de 3 ans reconductible.

La chaire a pour objectif principal la création d'un pôle d'excellence dans le domaine des réseaux électriques intelligents à la Faculté Polytechnique et en particulier dans les services de Génie Electrique (Prof. J. Lobry) et d'Electromagnétisme et Télécommunications (Prof. P. Mégret).

Les recherches de ces services seront axées sur les aspects suivants (de façon non exhaustive) :

- impact du développement des sources d'énergies renouvelables (SER) sur les réseaux de distribution ;
- impact des nouvelles charges (exemple : véhicules électriques) sur ces mêmes réseaux ;
- gestion de la tension et de l'énergie réactive en distribution ;
- gestion de la demande d'électricité et son adéquation avec la production de celle-ci ;
- étude des solutions de télécommunications et des réseaux informatiques nécessaires à la mise en place de réseaux électriques intelligents ; problématique de la sécurité informatique du transfert de données sur les réseaux de distribution d'électricité ;
- instruments de mesure destinés aux réseaux électriques.

Dans le cadre de la chaire, de nouveaux engagements seront réalisés, un prix sera créé, des Visiting Professors et/ou des experts seront invités ; enfin, des événements spécifiques seront organisés.

Un partenariat étroit et très enthousiaste commence donc entre les experts de la Faculté Polytechnique et l'entreprise ORES au travers de son service *Smart Grids/Smart Metering*.

A la lecture de ce texte introductif, il apparaît clairement que les enjeux relatifs aux réseaux électriques intelligents sont nombreux et multidisciplinaires. Dans le cadre de ce Polytech News, nous nous limiterons donc à la présentation de certaines facettes orientées « courants forts » de l'évolution future des réseaux électriques.

Illustration de l'influence sur la direction du flux énergétique transitant sur le réseau de distribution de la production d'énergie issue de panneaux photovoltaïques installés chez un client résidentiel



P > 0 kW : puissance (et donc énergie) en provenance du réseau consommée par le client ;

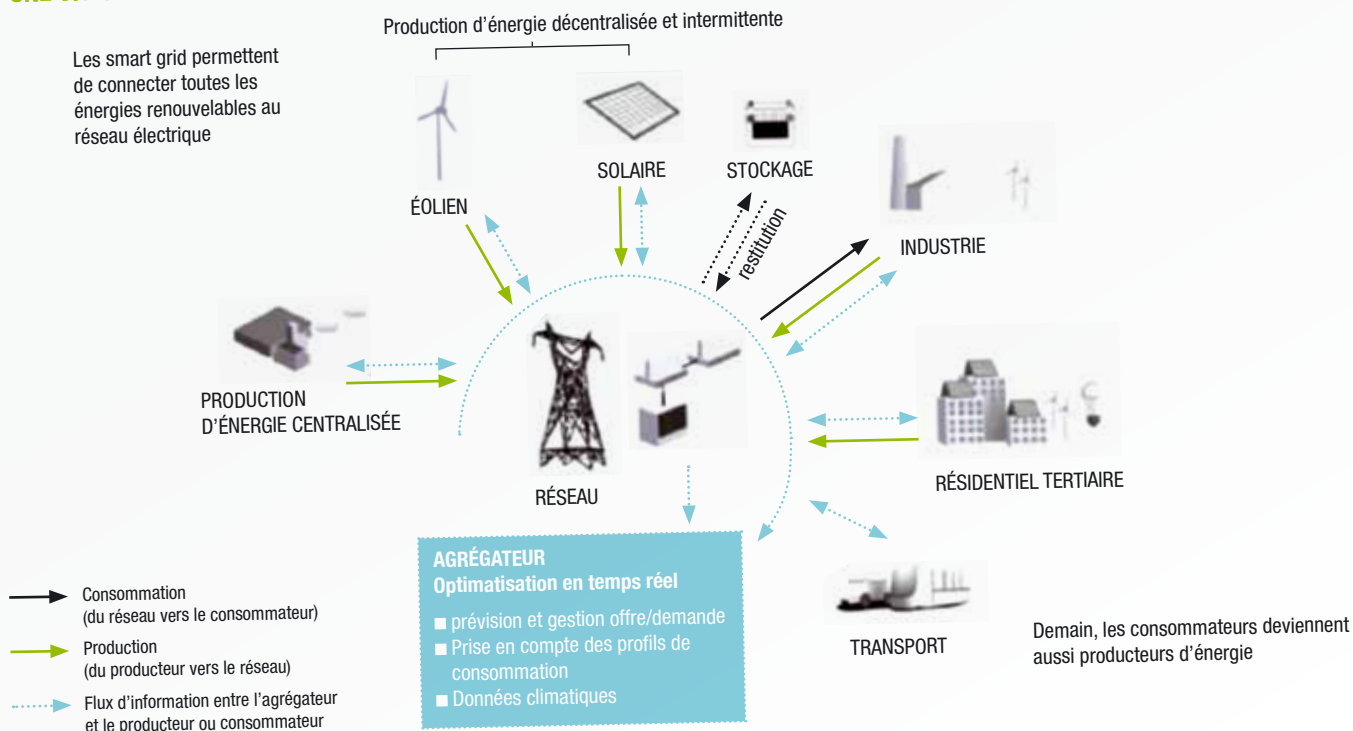
P < 0 kW : puissance (et donc énergie) injectée par le client sur le réseau de distribution.

© ORES

# Contexte et enjeux des réseaux électriques intelligents : entre pluridisciplinarité et optimisation...

☒ Prof. Jacques Lobry, Service de Génie électrique

## UNE VISION DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES DE DEMAIN



(source : Le cahier des chroniques scientifiques, Veolia Environnement, N°18/Smart, kesako?/septembre 2010)

Le concept de « smart grid » dénomination anglo-saxonne de « réseau intelligent » est une grande révolution actuellement en marche du secteur de l'électricité, qui va bientôt toucher de très près les consommateurs résidentiels et industriels. Il concerne surtout les réseaux de distribution, qui pénètrent directement dans nos villes pour alimenter en électricité les foyers, les immeubles et les entreprises de taille moyenne.

L'objectif des smart grids est d'optimiser le fonctionnement des réseaux de distribution tant au niveau de la production décentralisée, principalement l'éolien et le photovoltaïque de proximité, qu'au niveau de la maîtrise et de la flexibilité de la consommation des utilisateurs. Ces nouveaux développements s'imposent en raison de l'intégration massive d'unités de production décentralisées, de production intermittente, et de la nécessité de faire face à l'augmentation sans cesse croissante de la consommation d'énergie électrique. Il s'agit, dans un premier temps, de ne pas modifier complètement le réseau existant mais bien d'installer des moyens « intelligents » qui permettent de produire et d'utiliser rationnellement l'énergie électrique. Plus précisément, afin de permettre le meilleur ajustement entre la production et la consommation d'électricité, on recherchera notamment une meilleure

utilisation des appareils et équipements électriques en privilégiant la consommation durant les heures creuses, la réduction de la consommation, une meilleure harmonisation des moyens de production décentralisée irréguliers mais complémentaires. Précisons néanmoins que lorsque, même avec cette « intelligence ajoutée », le réseau électrique aura atteint sa limite physique de fonctionnement, des modifications structurelles devront être ultérieurement imaginées.

Pour atteindre les objectifs à court terme des réseaux électriques intelligents, il sera nécessaire de superposer au réseau électrique un réseau informatique et de télécommunications destiné à un meilleur contrôle grâce à des communications bidirectionnelles entre les différents acteurs : le gestionnaire de réseaux, les fournisseurs et les clients.

Au « smart grid », on associe aussi souvent le concept de « smart meter » ou « compteur intelligent » qui devrait permettre à l'utilisateur final de connaître sa consommation en temps réel et de l'informer sur ses propres habitudes de consommation. Grâce à l'installation d'un système de domotique complémentaire, il pourrait ainsi connaître le détail de sa consommation, par pièce, par interrupteur, par période, par type d'équipements, et connaître les postes sur

lesquels des économies d'énergie sont possibles. Ce compteur évolué serait une interface de communication par lequel il choisirait par exemple le meilleur tarif chez les fournisseurs, de jouer sur les heures de consommation, de mieux utiliser le réseau électrique. Une connaissance plus fine de sa consommation l'aiderait aussi à anticiper sur les besoins. De tels systèmes devraient permettre de piloter des équipements tels que les véhicules électriques, les fours, les machines à laver..., à distance pour faciliter la gestion de la charge électrique qui transite sur les réseaux. Le plus gros problème est d'obtenir la collaboration du client dans cette gestion active, ce qui en laisse sceptique plus d'un. Le « smart meter » n'est cependant qu'une composante optionnelle des smart grids, qui, on le voit, rassemblent plutôt un ensemble de technologies qu'un tout indissociable.

Dans le cadre de la Chaire ORES, le service de Génie Electrique examinera notamment la conception de réseaux de distribution basse tension avec pénétration importante d'énergies renouvelables, la gestion de la tension sur les réseaux à moyenne tension ou encore l'impact du parc croissant des véhicules électriques sur les réseaux électriques.

# Sur le terrain, des chantiers sont déjà en cours et les besoins en expertise sont essentiels...

✉ Olgan Durieux, Ingénieur chez ORES

Les productions décentralisées qui doivent être raccordées sur les réseaux de distribution posent donc des problèmes techniques pouvant, dans un premier temps, être rangés dans deux grandes catégories distinctes :

■ **Les congestions** : elles sont causées par des courants trop importants sur les lignes et les câbles par rapport à leurs limites tolérées ; elles

sont rencontrées à l'heure actuelle principalement sur les réseaux haute tension.

■ **Les surtensions** : elles sont causées par l'injection d'énergie sur le réseau électrique ; elles peuvent apparaître à tous les niveaux de tension mais sont présentes à l'heure actuelle dans des proportions plus significatives et problématiques pour le distributeur sur les réseaux

basse tension principalement, étant donné l'impédance plus élevée de ce type de réseau.

Pour étudier ces problèmes et y apporter des solutions, ORES a démarré des projets spécifiques sur des réseaux concernés par une pénétration élevée de productions décentralisées. Nous pouvons ainsi citer à titre d'exemple les cas de Flobecq et de la « boucle de l'est » :

## FLOBECQ

Flobecq est une ville située dans le Hainaut occidental dont le réseau électrique basse tension est de type rural, c'est-à-dire qu'il est caractérisé par des lignes de longueur moyenne relativement importante avec une faible densité de raccordements.

Une asbl paracommunale finance la fourniture et le placement de panneaux photovoltaïques pour des citoyens de la commune selon le principe du tiers investisseur.

Cette opération conduira à la mise en service d'environ 320 productions photovoltaïques de puissance de crête comprise entre 3 et 5 kW, ce qui correspondra, si l'on s'en tient à ces installations, à un taux de pénétration de l'ordre de 18% à l'échelle de la commune, soit une valeur très importante comparée au taux de pénétration moyen sur les réseaux d'ORES, qui est actuellement de l'ordre de 2 à 3%.

Cette densité importante de productions décentralisées pourrait à certains endroits du réseau provoquer des problèmes de surtension.

Le réseau de Flobecq est donc un véritable laboratoire pour ORES. Des compteurs intelligents ont été placés chez les clients qui disposent d'une installation photovoltaïque afin de mesurer les flux énergétiques et d'observer les modifications des habitudes énergétiques engendrées par l'auto-production. Le réseau basse tension de Flobecq est également modélisé et simulé pour identifier les nœuds où surviendraient les éventuels problèmes, quantifier leur ampleur et enfin définir la solution à mettre en place pour les résoudre.

## LA BOUCLE DE L'EST

Le réseau de transport (haute tension) qui couvre le territoire situé à l'est de la Wallonie (région de Trois-Ponts, Bütgenbach, Saint-Vith), est plus connu dans le secteur sous le nom de « boucle de l'est ». C'est Elia, gestionnaire du réseau de transport belge, qui est propriétaire et opérateur de ce réseau 70 kV.

Lors de sa conception, la boucle de l'est a été dimensionnée pour une consommation faible (région à faible densité industrielle et de population). Cependant, cette zone géographique présente un haut potentiel pour la production d'énergie éolienne. Les parcs éoliens (et autres types de productions décentralisées) étant majoritairement raccordés en moyenne tension sur le réseau de distribution, le surplus d'énergie produite remonte sur le réseau d'Elia, peut y provoquer certaines congestions et mettre en péril la sécurité du réseau. Selon les critères de raccordement actuels, la capacité d'accueil des productions décentralisées est donc limitée, ce qui est problématique pour la réalisation des objectifs européens.

ORES et Elia ont donc entamé de concert un projet d'étude de faisabilité de gestion active du réseau de la boucle de l'est. De manière simple et très résumée, la gestion active du réseau (*Active Network Management* ou *ANM*) consiste à mesurer en permanence l'état du réseau et, lorsqu'une congestion est détectée, à envoyer en temps réel, dans le cas étudié aux productions décentralisées, des consignes de réduction de puissance injectée.

La mise en pratique de ce principe de gestion active demande des points de mesures suffisants sur les réseaux, un algorithme de calcul robuste et une infrastructure de télécommunications fiable et aux performances compatibles avec la réactivité attendue pour assurer la sécurité du réseau.

Par rapport à une solution de modification structurelle du réseau (coûteuse et longue à réaliser), la gestion active permettrait de raccorder plus rapidement plus de productions décentralisées et donc de produire plus d'énergie renouvelable, en exploitant le caractère intermittent de ces productions.

L'expertise et les compétences des services de Génie Electrique et de Télécommunications de la Faculté Polytechnique seront d'une grande aide à ORES pour progresser dans la recherche de solutions concrètes à ce type de problèmes.

# ENERGIE ÉOLIENNE : une problématique pluridisciplinaire

☒ Prof. Grégory Coussement, Service de Fluides-Machines



Les éoliennes soulèvent souvent des débats passionnés où elles sont parfois décriées comme une solution folle ou plébiscitées comme sources d'énergie pouvant permettre de mieux respecter notre planète en réduisant les émissions de gaz carbonique tout en diminuant notre dépendance vis-à-vis des combustibles fossiles ou nucléaires. Le kilowattheure éolien, plus cher que l'électricité fournie par les centrales classiques ou nucléaires, devient envisageable par ses avantages d'énergie renouvelable non polluante pour notre environnement et les aides offertes grâce à la volonté écologique et stratégique des états de diversifier les formes d'approvisionnement en énergie.

Le « potentiel éolien » réside dans un premier temps à extraire de manière optimale de l'énergie et de la puissance cinétique éolienne disponibles. D'un point de vue fondamental, la puissance mécanique  $P_{\text{arbre}}$  disponible à l'arbre du rotor (voir figure) est le résultat du produit :

- du rendement aérodynamique lié aux pertes tourbillonnaires et par frottement aérodynamique ;
- du débit massique d'air traversant le disque éolien ;
- et de la récupération d'une partie de l'énergie cinétique disponible dans le vent.

Pour une éolienne classique non carénée, sachant que la vitesse du vent traversant le rotor est égal à la moyenne des vitesses du vent disponible amont et résiduelle aval au rotor de l'éolienne, Betz a ainsi établi que la puissance maximum récupérable ne pourra jamais dépasser 59% de la puissance cinétique disponible.

Les éoliennes les plus performantes sont soit à axe horizontal ou à axe vertical et sont toutes basées sur l'utilisation de pales à profil portant de haut rendement. Les éoliennes de moyenne et de grande taille que l'on voit fleurir dans nos paysages sont à axe horizontal. Les plus récentes ont des puissances qui s'étendent de 2 MW à 7 MW et possèdent des coefficients de puissance de l'ordre de 50% qui se rapprochent de la limite maximum de 59% de Betz. En conséquence, la poursuite de l'amélioration du rendement aérodynamique est un véritable défi qui demande une analyse aérodynamique fine de l'écoulement dont la vitesse relative varie de manière considérable entre l'axe du rotor et l'extrémité de la pale. De nos jours, celle-ci passe par des simulations numériques sophistiquées par Calcul en Dynamique des Fluides (CFD), des équations complexes aux dérivées partielles de la dynamique des fluides.

Avec la complexité accrue par la dimension impressionnante des dernières implantations

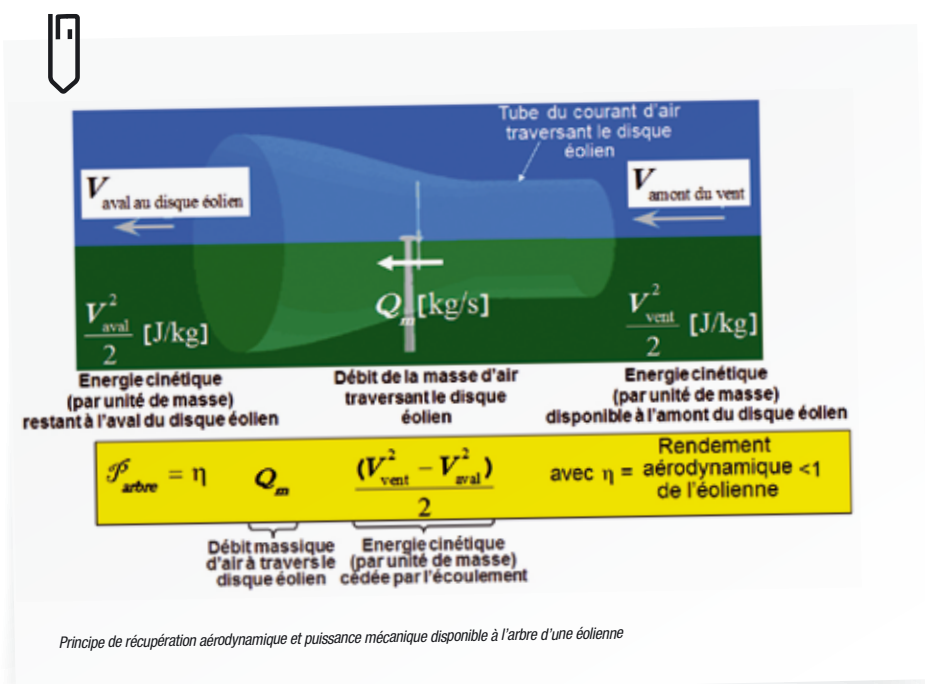
éoliennes (environ 200 m pour une éolienne de 7 MW), les problèmes de structure liés à la taille et à la vitesse de rotation des pales et de placement en tête de mât de la génératrice électrique deviennent limitatifs. Encore peu utilisées, les éoliennes à axe vertical et à profil portant de type Darrieus apparaissent comme une alternative parfois plus adaptée que leurs sœurs tripales à axe horizontal. Ce type d'éoliennes permet, en effet, de s'affranchir de certaines des limites pilotées par la vitesse de rotation, la taille des pales, les problèmes structuraux et l'intégration de la génératrice électrique qui peut être placée à la base. Par ailleurs, ce type d'éoliennes trouve également un intérêt dans certains secteurs comme l'intégration au bâtiment. Les innovations pour leur conception aérodynamique sont également des enjeux de taille rendus ardu par l'écoulement relatif variable sur un tour et le fonctionnement périodique instationnaire des pales du rotor. Là aussi, l'analyse et l'optimisation aérodynamique de leur fonctionnement passent inévitablement par des simulations CFD performantes.

Les moyens CFD actuels de simulation permettent de déterminer et d'optimiser l'aérodynamique stationnaire des rotors classiques d'éoliennes à axe horizontal et commencent à être utilisés pour analyser les comportements instationnaires périodiques des éoliennes à axe horizontal et vertical. De nos jours, les efforts visent à développer et à mettre en œuvre de nouvelles méthodes de plus en plus fiables de simulation qui permettront de déterminer de

manière efficace et couplée les interactions multi-physiques aéro-élastiques et aéro-acoustiques. Par ailleurs, par une meilleure prise en compte des conditions météorologiques et l'intégration des effets liés aux fluctuations turbulentes de la couche limite atmosphérique, ils permettront une optimisation affinée au caractère aléatoire et intermittent du vent.

Depuis plus de 15 ans, à son échelle, le service Fluides-Machines de la Faculté Polytechnique de Mons s'est investi dans différents projets de R&D et dans des collaborations industrielles dans le secteur de l'analyse des performances et de la conception aérodynamique des éoliennes. Ceci comprend :

- l'évaluation et la cartographie du potentiel éolien en région wallonne et en Belgique. A titre d'exemple, des résultats caractéristiques de l'analyse du potentiel effectif du gisement éolien wallon en fonction des variabilités mensuelles ont notamment été obtenus lors de la réalisation d'un projet de 2<sup>ème</sup> Bachelier sur base des performances d'une technologie mature d'éoliennes de 1,5 MW de puissance nominale et des relevés météorologiques ;
- la conception et le développement de méthodes d'avant-projet pour éoliennes à profil portant ;
- l'analyse des performances par simulations CFD d'éoliennes à axe horizontal et à axe vertical ;
- l'optimisation géométrique de l'aérodynamique ;



- le problème et l'analyse des interactions fluide-structure ;
- l'analyse des effets instationnaires et des interactions rotor/stator ;
- l'assistance technique et les études de faisabilité économique de solution éolienne unique ou combinée éolien/photovoltaïque/thermique.

Même si elle est à l'origine basée sur des principes aérodynamiques d'extraction des ressources naturelles renouvelables fournies par l'énergie cinétique du vent, la conception, la fabrication, l'implantation, l'exploitation, la maintenance et le démantèlement en fin de vie d'une éolienne sont des problématiques pluridisciplinaires conjuguant aux techniques de l'ingénieur une analyse économique et géopolitique. C'est sur base d'une analyse météorologique du potentiel éolien des sites que les ingénieurs contribuent

à l'amélioration de nos éoliennes, grâce aux différents moyens multi-physiques de calcul et de conception qui allient analyse et design aérodynamique, mise en œuvre de nouveaux matériaux, calcul de résistance de la structure aux sollicitations statiques, vibratoires ou aéroélastiques, analyse de l'impact aéroacoustique et visuel sur notre environnement, conception et fabrication mécanique, conversion d'énergie mécanique en énergie électrique, distribution aux consommateurs, stabilité des réseaux électriques et bilan technico-économique.

La problématique multi-physique des éoliennes est un nouveau challenge qui demande la mise à disposition de nouveaux moyens de prédictions pluridisciplinaires incluant notamment l'aéroélasticité et l'aéroacoustique. Par ailleurs, pour être viable, l'examen de cette ressource montre que, bien qu'inépuisable, l'énergie éolienne doit

être considérée comme un moyen complémentaire à ceux existants tels que les centrales à combustible fossile dites polluantes, solaires, nucléaires ou hydrauliques n'émettant pas de gaz à effet de serre. En effet, la production intermittente et indomptable des parcs éoliens reste indépendante de l'appel de puissance des consommateurs. Cependant, grâce à des prédictions météorologiques de plus en plus fiables, celle-ci peut être correctement anticipée. Pour les gestionnaires, l'énergie éolienne représente donc un nouveau métier et un challenge pour les stabilités nationale et internationale des réseaux électriques. Finalement, la créativité et les connaissances techniques des ingénieurs trouvent assurément une place de choix dans les différents métiers créés par les besoins de conception et d'exploitation de dispositifs de récupération de ce gisement éolien.

## Utilisation de fibres optiques pour fiabiliser les éoliennes

✉ Dr Christophe Caucheteur, Service d'Electromagnétisme et de Télécommunications



La production d'énergie éolienne s'accroît chaque année avec l'installation grandissante de nouvelles installations dans le monde. Si, en théorie, cette énergie est disponible, en pratique on constate que la production totale théorique n'est jamais atteinte par manque de fiabilité des équipements. La moindre perte de disponibilité des éoliennes par temps venteux génère un déficit de production d'énergie verte. Confirmer la promesse d'une production d'électricité verte sur les sites déjà existants pour approcher les 100% de disponibilité via une plus grande fiabilité sera l'un des défis des prochaines années.

Dans ce contexte, le projet POWER (Production Optimization through Wind Energy Reliability) labellisé par le Pôle Mécatéc a pour ambition d'améliorer la fiabilité d'une éolienne existante et d'en optimiser la production et la qualité de l'énergie en contrôlant des paramètres qui n'interfèrent pas avec le design de la machine. Le produit résultant sera un système de surveillance, de prédiction de production et de prise de décision automatique prenant en compte des paramètres comme les mesures d'état de l'éolienne (vibrations, défauts internes, défauts externes...), des données météorologiques plus précises et des données d'état du réseau électrique. A ces fins, le consor-

tium POWER allie les compétences complémentaires d'équipes expertes en météorologie (société ATM-PRO), en traitement de données (société Pepite), en automatique (Service d'Automatique et d'Analyse des Systèmes de l'ULB), en réseau électrique (Service BEAMS de l'ULB) et en capteurs à fibres optiques (Service d'Electromagnétisme et de Télécommunications de l'UMONS). Le leader du projet est la société Maintenance Partners Wallonie.

Dans le cadre du projet POWER, le Service d'Electromagnétisme et de Télécommunications (Prof. P. Mégret) apporte son expertise en matière de capteurs mécaniques à fibres optiques, lesquels seront notamment utilisés pour la maintenance prédictive de l'éolienne. Cette expertise couvre la réalisation complète des capteurs en réponse au cahier des charges ainsi que leur instrumentation optique et l'interprétation des signaux optiques.

### Référence :

D. Kinet, M. Wuilpart, D. Garray, C. Caucheteur, F. Narbonneau, C. Chluda, P. Mégret, 'Behaviour of optical Fibre Bragg Grating sensor embedded into composite material under flexion', IEEE Photonics Benelux Chapter, Symposium 2010, pp. 289-292, Delft (NL), 18/11-19/11, 2010

## Un nouveau banc éolien au laboratoire de Génie électrique

✉ Prof. Olivier Deblecker, Service de Génie électrique



Les énergies renouvelables sont, à notre échelle de temps, celles qui sont dispensées continûment par la nature. Parmi l'ensemble des moyens de production d'énergie électrique d'origine renouvelable, la filière de l'éolien connaît aujourd'hui un très fort taux de croissance avec une capacité installée en Europe fin 2010 d'environ 85 GW ! On conçoit donc l'importance de pouvoir proposer à nos étudiants une formation pointue dans ce domaine, nourrie comme il se doit par la recherche. C'est dans ce contexte que le service de Génie électrique a entrepris la réalisation d'une plate-forme expérimentale de conversion d'énergie éolienne instrumentée à l'aide de matériel moderne de prototypage rapide de type dSPACE. Le système de conversion d'énergie éolienne, fondé sur une structure à

vitesse variable de quelques kW, sera constitué des principaux éléments suivants : une machine synchrone à aimants permanents servant à émuler le comportement d'une turbine éolienne à axe horizontal, une génératrice asynchrone à rotor bobiné connectée au réseau du laboratoire et une cascade de convertisseurs électroniques de puissance pilotés de façon à optimiser les transferts de puissances active et réactive avec le réseau. Cette plate-forme éolienne, à vocation première pédagogique, permettra à nos étudiants de mieux comprendre le fonctionnement d'une éolienne et de ses différents composants ainsi que, plus généralement, le rapport entre le vent, source d'énergie intermittente par nature, et la production d'énergie électrique !

# LE BRUIT DES ÉOLIENNES

☒ Benoît Fauville, Service de Physique générale



Depuis dix ans, la Belgique connaît une forte augmentation du nombre d'éoliennes sur son territoire. La puissance installée est passée de 13 MW en l'an 2000 à environ 910 MW en 2010<sup>[1]</sup>. Cette évolution est due au soutien au développement des énergies vertes qui permet une diversification de notre production électrique et une diminution des rejets de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Nous pouvons également pointer l'obligation pour les fournisseurs d'électricité d'obtenir 10% de leur électricité totale en provenance de sources d'énergie verte. Cette disposition est réalisée grâce au mécanisme des certificats verts instaurés par le gouvernement.

L'impact visuel sur le paysage et le bruit émis par les équipements sont les deux réserves généralement émises vis-à-vis de cette technologie. Cette deuxième thématique intéresse particulièrement la communauté scientifique depuis déjà plusieurs années avec pour preuve l'instauration d'un cycle de conférences internationales se déroulant tous les deux ans (Wind Turbine Noise Conference).

La notion de bruit en acoustique environnementale fait référence à un son désagréable ou gênant. Celui-ci peut l'être pour différentes raisons : l'intensité sonore peut être très élevée comme par exemple aux abords d'un aéroport, le

son perçu peut être impulsionnel ou présenter un caractère tonal au voisinage d'un site industriel. Dans le cas des éoliennes, des critiques ont été portées sur les éventuels infrasons et vibrations produits, l'émergence importante du son éolien au niveau des habitations dans des cas particuliers de conditions atmosphériques, la perception de battements à basse fréquence. La simulation et l'explication des phénomènes mis en jeu ont évolué ces dernières années mais beaucoup reste à faire et à comprendre.

Trois grands aspects liés à cette problématique peuvent être soulignés<sup>[2]</sup>. Tout d'abord, la *génération du son* au niveau de l'éolienne. Elle a une double origine : d'une part le bruit mécanique des pièces mises en mouvement et des engrenages, d'autre part le bruit aérodynamique dû au déplacement des pales dans le flux d'air et aux turbulences atmosphériques. Des développements technologiques récents ont permis de diminuer considérablement le bruit mécanique, rendant le bruit aérodynamique la principale source sonore. Le second aspect concerne la *propagation du son*. La distance à laquelle une éolienne va être entendue de manière plus ou moins importante dépend des conditions atmosphériques, du type de sol le long du trajet sonore, du relief, de la présence d'éventuels obstacles tels que des forêts et des

habitations. Enfin, *l'immission* du son au niveau des habitations. Cette notion fait appel au niveau sonore perçu par les habitants en tenant compte des propagations extérieure et intérieure du bruit, de la sensibilité fréquentielle de l'oreille humaine et du fond sonore ambiant.

Le service de Physique générale de la Faculté Polytechnique de l'Université de Mons, spécialisé dans les domaines de l'acoustique du bâtiment et de l'acoustique environnementale s'intéresse particulièrement aux deux derniers aspects de ce problème. Une thèse de doctorat portant sur les indicateurs de gêne sonore pour l'étude de l'impact environnemental du bruit produit par les parcs éoliens y est en cours. Différentes étapes sont envisagées parmi lesquelles :

- des campagnes de mesures de l'immission sonore aux abords d'installations éoliennes ;
- la modélisation de la propagation du son émis par une éolienne et l'établissement de cartes sonores pour des situations géographiques particulières ;
- la mise en évidence d'un critère de gêne, c'est-à-dire d'une grandeur mesurable qui soit directement corrélée à la gêne occasionnée par le bruit des éoliennes.

<sup>[1]</sup> <http://www.thewindpower.net/fiche-pays-21-belgique.php>

<sup>[2]</sup> Wagner, Bareiß and Guidati, *Wind Turbine Noise*, Springer, 1996.

## Étude de l'incidence acoustique d'un parc éolien

☒ Dr Georges Kouroussis, Service de Mécanique rationnelle, dynamique et vibrations



Suite à diverses plaintes aux alentours de parcs éoliens, la société Ventis a lancé en 2010 une proposition de Travail de fin d'études au Service de Mécanique Rationnelle, Dynamique et Vibrations. Aurélie Masquelier-Dubois, qui a choisi le sujet (promoteurs : Olivier Verlinden, Georges Kouroussis), s'est directement intéressée à l'étude de l'incidence acoustique des éoliennes de l'un de leurs parcs éoliens situé à Dour-Quévrain. Les effets des infrasons, ainsi que l'analyse des normes et réglementations nationales au sein de l'Union Européenne ont été les principales recherches de ce travail, avec des mesures directement prises au pied des éoliennes et à plusieurs distances de celles-ci, tout en respectant la norme européenne IEC-61400-11 dédiée à l'étude acoustique des éoliennes. Une des particularités mise en avant lors de ce travail est l'analyse des infrasons : ceux-ci peuvent provoquer des dommages sur le corps humain mais l'intensité doit pour cela atteindre 95 dB(G) ... ce qui n'a jamais été observé en pratique !



# GREENRAIL : un rail plus vert !

☒ Prof. Daniel Tuytens, Dr Hongying Fei, Dr Mohand Mezmaç, Jad Jalwan,  
Service de Mathématique et Recherche opérationnelle

Démarré en 2009, suite à l'appel à projets lancé par la Région Wallonne dans le cadre du développement durable, le projet GreenRail vise à optimiser la consommation énergétique au niveau opérationnel du système ferroviaire.

GreenRail s'inscrit dans l'initiative européenne de moderniser le rail. Il réunit un consortium de sept partenaires : Alstom, Infrabel, Multitel, Decizium, Logiplus, UCL et le service MathRO de la Faculté de Polytechnique de Mons.

Ce projet vise à installer un système de gestion temps-réel de la consommation énergétique des trains. Ce système est constitué de deux modules distincts, à savoir : « GreenRail Energy Driver » et « GreenRail Energy Manager ». Le premier sera intégré aux systèmes existant dans les trains et permettra d'optimiser la conduite d'un train se déplaçant entre deux points successifs. GreenRail Energy Manager interviendra au niveau du réseau global ; il sera installé au centre de dispatching afin d'optimiser la consommation électrique au niveau des sous-stations d'alimentation.

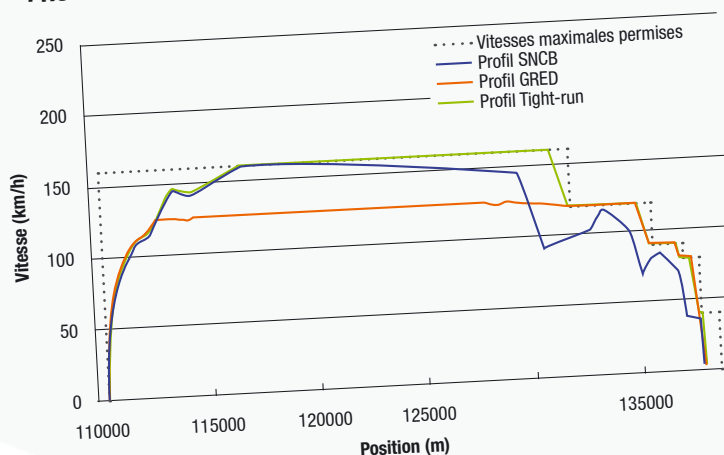
## 1. GreenRail Energy Driver (GRED)

Une des stratégies prises en compte pour réduire la consommation énergétique du rail est la façon de conduire le train. GRED est un système d'aide à la conduite dans le cadre mono-train. Il est installé à bord du train et calcule, en temps-réel, le meilleur profil de vitesse à suivre par le conducteur afin de réduire sa consommation électrique.

L'équipe MathRO a développé une heuristique adaptée au problème afin d'optimiser la conduite en mono-train allant d'un point A vers un point B sans arrêts intermédiaires, en respectant les contraintes de temps et de vitesses.

GRED présente des résultats prometteurs, il affiche une réduction de la consommation électrique assez significative dans certains tests. Le graphique ci-dessus reprend une courbe des vitesses limites et trois profils de vitesse pour un trajet Leuven-Bruxelles. La première courbe (verte) est celle du train en mode « Tight-Run » :

PROFIL DE VITESSE – GRED



le train accélère à puissance maximale, roule à vitesse maximale tout le long du trajet avant de freiner à puissance maximale. C'est le trajet le plus rapide que le train peut suivre en roulant à la vitesse autorisée sur la ligne.

La deuxième courbe (bleue) reprend le profil de vitesse réel effectué par un conducteur de train. La dernière courbe (rouge) représente le profil de vitesse calculé par notre heuristique.

La figure montre la différence entre le profil de vitesse réel effectué par un conducteur et celui proposé par notre heuristique.

Dans ce cas, le profil optimisé réduit la consommation énergétique d'environ 20% par rapport au profil réel pour ce trajet entre Leuven et Bruxelles sans arrêts intermédiaires.

## 2. GreenRail Energy Manager (GREM)

Le deuxième objectif de GreenRail est d'optimiser la consommation énergétique ferroviaire globale.

Dans ce sens, GRED est un système d'aide à la conduite dans le cadre multi-train. Installé au centre de dispatching, il recevra toutes les informations concernant les trains, les voies et les tables horaires afin de réduire la consommation électrique de façon globale au niveau des sous-stations d'alimentations.

Pour cela, GRED utilise une méta-heuristique afin de synchroniser les phases d'accélération et de freinage des trains en circulation sur le réseau. Cette synchronisation entraînera d'une part, une réduction des pics de puissance, ce qui aura pour effet de minimiser leurs surcoûts. Le module GRED permettra également de maximiser la récupération des énergies générées par les freinages dynamiques.

Le service MathRO développe une méta-heuristique spécifique pour le module multi-train. En effet, ces méthodes sont connues pour leur rapidité et leur efficacité surtout pour les problèmes les plus complexes.

**En conclusion, les résultats actuels du GreenRail Energy Driver se montrent prometteurs. Dans certaines expérimentations, le profil de conduite fourni par l'algorithme d'optimisation réduit de plus de 15% le coût énergétique du profil de conduite adopté réellement par le conducteur, ce qui représente l'objectif initial affiché par notre projet. De plus, le module GreenRail Energy Manager est innovant par son objectif et la méthode de résolution mise en œuvre.**



# DES ÉTUDIANTS MÉCANICIENS ONT PRIS PART AU SHELL ECO-MARATHON

☒ Adrien Dolimont, Service de Génie mécanique

## L'équipe 2010-2011

Adrien Dolimont	chef de projet	passage à l'essence et diminution des frottements
Quentin Oggero	trésorier et responsable logistique	carte essence et instrumentation
Nicolas Golard	responsable règlement et responsable sécurité	transmission et allègement
David Verwilghen	responsable planning et communication	motorisation du véhicule de 3 <sup>ème</sup> génération
Julien Quinten	secrétaire et responsable 5 S	banc d'essais et direction



### D'une aventure technique enthousiasmante...

On ne présente plus le Shell Eco-marathon. Ce concours, créé en 1985, est devenu, au fil des ans, un événement incontournable pour de très nombreux étudiants européens. Cette année, son champ d'action s'est étendu au-delà des frontières européennes puisqu'une équipe a représenté le Maroc et une autre équipe, de l'Université du Texas, a défendu les couleurs du Qatar, en mai dernier.

Comme chaque année, le Shell Eco-marathon a donc impliqué des milliers d'étudiants dans la lutte contre les émissions de CO<sub>2</sub> et dans la recherche de solutions pour préserver notre environnement.

Mais au-delà de cette idéologie, la participation à ce concours offre aux futurs ingénieurs une magnifique opportunité de mettre en pratique les connaissances acquises tout au long de leurs études et de vivre une expérience concrète de gestion d'un projet multidisciplinaire. Organisation du travail, distribution des tâches, travail en équipe, gestion du temps, respect du budget, recherche de sponsors, publicité, etc. font partie des maîtres-mots qui caractérisent la mise en œuvre d'un tel projet.

Pour la septième année consécutive, la Faculté Polytechnique de Mons, via le Service de Génie Mécanique, a relevé le défi et a inscrit une équipe dans la catégorie « Urban Concept ».

Dans cette catégorie, les véhicules doivent pouvoir prendre part au trafic routier urbain quotidien et répondre aux critères imposés par le code de la route, à savoir être équipés de quatre roues, d'un volant, de deux feux arrière et avant, de clignoteurs, d'un siège en position droite et d'une pédale de frein au pied.

Les années précédentes, les représentants de la Faculté Polytechnique de Mons avaient concouru dans la catégorie LPG des « Urban Concepts ».

Mais cette catégorie a été supprimée. Il a dès lors été décidé de faire fonctionner le moteur de notre « UMONSTER » à l'essence « Shell Formula Super 95 ».

Ainsi, conformément à un règlement très strict, l'équipe de la Faculté Polytechnique de Mons s'est efforcée de concevoir un véhicule urbain équipé d'un moteur à essence qui soit le plus écologique possible. Plus précisément, il s'est agi de rendre le véhicule capable de parcourir le plus grand nombre de kilomètres possible avec un seul litre de carburant.

L'équipe montoise se composait de cinq membres. Après une prise de connaissance des tâches techniques à réaliser, un responsable a été désigné pour chacune d'entre elles. *In fine*, l'équipe a concentré ses efforts sur les points suivants :

- changement de carburant (passage à l'essence pour respecter le nouveau règlement du concours) ;
- étude d'une carte électronique afin de permettre une gestion plus précise des différents paramètres ;
- amélioration de la transmission ;
- allègement général du véhicule ;
- diminution des frottements en changeant le dispositif de freinage ;
- remise en état de fonctionnement d'un banc d'essais moteur afin de pouvoir effectuer des tests suite aux améliorations apportées sur le moteur ;
- amélioration de l'instrumentation ;
- amélioration de la direction.

Parallèlement, la motorisation du véhicule de 3<sup>ème</sup> génération a fait l'objet d'une étude comparative préliminaire visant à préparer le travail des équipes futures.

Cette année, le concours « Shell Eco-marathon » s'est déroulé pour la troisième et dernière fois sur le circuit « Eurospeedway » de Lausitz en Allemagne (en 2012, il sera organisé aux Pays-Bas à Rotterdam sur un circuit plus urbain).

Dans la pratique, le véhicule de notre faculté a dû effectuer cinq tours de circuit à une vitesse égale ou supérieure à 25 km/h. A l'issue de ce périple, la quantité de carburant consommée a été mesurée et cette consommation a été convertie en km/l.

Il est alors apparu que notre « UMONSTER » pouvait parcourir 189 kilomètres avec un seul litre d'essence et ce malgré les différents problèmes technique nous empêchant de valider trois de nos six essais !

### ... à une aventure humaine fabuleuse

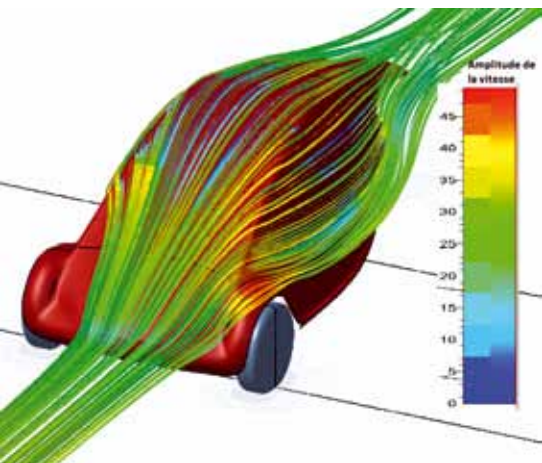
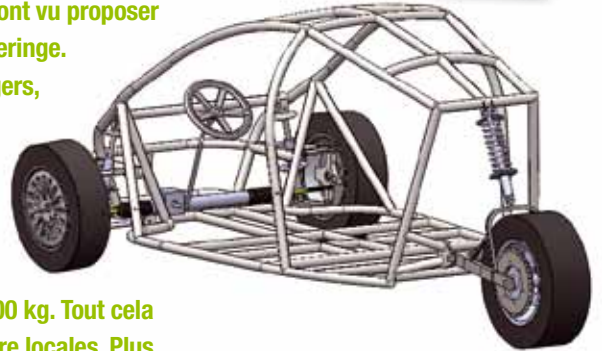
Logés dans une auberge perdue au milieu des campagnes de Dollenchen, en Allemagne, les membres de l'équipe 2011 ont non seulement tissé de solides liens d'amitié entre eux, mais ils ont également appris à communiquer avec des personnes de langues étrangères qui ne parlaient ni le français ni l'anglais ! Parmi celles-ci, ils ne sont pas près d'oublier le patron de l'auberge, Monsieur Jörg Stuckatz, véritable figure emblématique du folklore local. Celui-ci éprouvait tellement de sympathie pour les « jungen Belgischen Studenten » qu'il a égayé leurs soirées par son humour et par sa façon théâtrale de leur servir un breuvage fabriqué maison et appelé « Jörg's Kräuter » !

# I-CARE 333 : une autre idée de la mobilité

☒ François Ducobu et Christophe Letot, Service de Génie Mécanique



Concevoir un véhicule à faible impact environnemental, voilà le défi que se sont vu proposer deux étudiants de 2<sup>ème</sup> Master Mécanique : Antoine Nuttin et Cédric Van Liefferinge. Ce projet nommé I-CARE 333 (au nom évocateur : 333 pour 3 roues, 3 passagers, 300 kilomètres d'autonomie) a vu le jour grâce à Xavier Vanderstappen, ethnographe, aventurier et conférencier, qui souhaite recentrer l'automobile vers une solution simple, élégante et avant tout respectueuse de l'environnement. L'idée consiste donc à concevoir et dimensionner de A à Z un véhicule électrique de type tricycle qui puisse embarquer trois personnes, présentant une autonomie de 300 km et dont la masse ne dépasse pas les 500 kg. Tout cela en veillant à ce que les techniques de mise en œuvre du véhicule puissent être locales. Plus particulièrement, l'aspect écologique concerne la coque du véhicule.



Les étudiants se sont alors mis en quête de matériaux biodégradables pour assurer les fonctions requises pour la coque (résistance, sécurité, aspect,...). Suite à de nombreuses et difficiles recherches (ce type de matériaux est encore à l'aube de son développement) et après avoir contacté plusieurs industriels, la solution d'un matériau composite de PLA (acide polylactique) ren-

forcé par des fibres de lin a été retenue. En effet, le PLA provient à 100% de matières renouvelables (biosourcé) et est entièrement biodégradable. La mise en forme du matériau à la géométrie voulue serait réalisée par la technique du thermoformage. Malheureusement, le PLA n'étant pas encore disponible en quantité suffisante, il sera remplacé par la résine Eco-Poxy (96% biosourcée) pour la réalisation du prototype du véhicule. L'utilisation de cette résine implique un changement de technique de mise en forme (passage du thermoformage au moulage au contact, plus classique).

Une fois le matériau et la technologie déterminés, la conception et le dimensionnement du véhicule ont pu être envisagés. Devant l'ampleur du projet, l'équipe a été renforcée par quatre étudiants de 1<sup>ère</sup> Master Mécanique afin de réaliser les diverses tâches du projet : la conception et le dimensionnement du châssis, de la direction, du train avant et du train arrière du véhicule. Pour le châssis, la solution d'une structure tubulaire en aluminium a été retenue et sa réalisation sera confiée au centre de compétences Technofutur de Strépy-Bracquegnies. La motorisation et le train arrière sont particuliers et s'inspirent fortement du domaine de la moto puisque seule la roue arrière du véhicule est motrice. Mener un projet de groupe de grande ampleur est une tâche ardue et les étudiants ont pu se rendre compte de la difficulté de travailler en équipe. Ils ont ainsi abouti à une proposition technique tenant compte des spécificités et des contraintes liées à chaque sous-partie dans l'assemblage final qu'est le véhicule. Grâce au travail réalisé sur le châssis, la géométrie de la coque a pu être modélisée fine-

ment, en tenant compte des contraintes dimensionnelles et esthétiques du véhicule. De cette modélisation, des plaques en polystyrène dont l'épaisseur varie de 22 mm à 100 mm ont été modélisées. Ces plaques, une fois assemblées, conduisent à l'obtention du moule de la coque qui sera utilisé pour le moulage au contact. Elle a également permis de réaliser une simulation du coefficient de pénétration dans l'air (qui est de l'ordre de 0,21) et de visualiser l'écoulement des filets d'air autour de la coque. Au final, le travail fourni par cette équipe de six étudiants a abouti à un dossier de plans complets, qui sera exploité pour la réalisation concrète du prototype de ce véhicule.

Par l'intermédiaire de ce projet d'envergure, les étudiants se sont enrichis non seulement de compétences techniques pluridisciplinaires (choix des matériaux, calcul des structures, calcul de l'aérodynamisme du véhicule,...) mais également de compétences non techniques que sont l'autonomie, la prise d'initiative, le respect des délais, l'art de communiquer et surtout la capacité de travailler en équipe ce qui, indéniablement, les prépare à leur future vie professionnelle.



Signalons enfin que ce projet sera présenté lors du salon de l'Auto 2012 (du 12 au 22 janvier à Brussels Expo), contribuant ainsi à démontrer l'intérêt et l'aspect concret de ce projet.

# Interview de Xavier Vanderstappen, initiateur du projet I-CARE 333

☒ Propos recueillis par Edouard Rivière, Service de Génie mécanique

**Xavier Vanderstappen, ethnographe et passionné d'écologie, a à son actif plusieurs projets de sensibilisation aux comportements éco-responsables, qui s'inscrivent dans une démarche globale.**

**PN : D'où est venue l'idée de ce projet ?**

**XV :** Dans le cadre de mon activité d'ethnographe, j'ai été amené à m'intéresser aux relations entre l'homme et son environnement. J'ai été frappé par le fait que de nombreuses populations vivent en « vase clos » et sont donc obligées de faire avec ce que leur environnement leur offre. Ces populations ont donc adopté, de manière naturelle, des comportements visant la réduction de l'impact écologique de leur activité et l'utilisation rationnelle de l'énergie.

La qualité première d'une civilisation est de survivre à sa propre activité : des changements sont donc nécessaires à court ou moyen termes pour s'en assurer. Il m'a semblé essentiel de mettre en avant ces valeurs au vu de l'importance de notre empreinte écologique en tant qu'occidentaux. J'ai été impliqué dans une première réflexion au Sénégal sur l'impact de l'homme sur son milieu au travers de son activité. Suite à cela, la demande a été faite de monter une exposition sur des visions du futur (liées aux changements climatiques en Afrique). A mon sens, les pays d'Afrique sont, de par le développement disparate de leurs infrastructures, naturellement disposés à utiliser des moyens de production basés sur l'énergie renouvelable disponible localement.

J'ai ensuite participé à deux projets de sensibilisation impliquant la conduite d'un véhicule électrique sur de grandes distances (Bruxelles à Dakkar en 2009 et Copenhague au Cap en 2010) dans un but didactique.

**PN : Quels sont les développements déjà effectués sur le projet I-CARE 333 ?**

**XV :** Un premier design du véhicule a été confié à un designer (P. Lallemand) qui a conçu sa structure générale. Des aides ponctuelles ont été apportées par l'université de Gand (motorisation électrique) et la VUB (pour les batteries).

J'ai ensuite eu l'occasion de rencontrer le professeur Filippi qui a proposé d'accompagner les aspects techniques par l'intermédiaire de projets. Durant cette année, six étudiants mécaniciens se sont chargés d'analyser les aspects fabrication, structure, motorisation, direction et trains roulants. A cette occasion, les développements concrets ont avancé de manière très significative, ce qui permet aujourd'hui de disposer d'une première étude complète du véhicule et d'une première version du châssis du véhicule. L'apport de la FPMs a été essentiel pour confronter les

premiers concepts du véhicule aux réalités techniques et technologiques.

**PN Quels sont les prolongements attendus du projet I-CARE 333 ?**

**XV :** Le but est d'exposer les premières réalisations au salon de l'auto puis d'entreprendre un tour d'Europe en 2012. Trois exemplaires du véhicule feront le tour des capitales européennes et serviront de fil rouge à des initiatives de sensibilisation. Ce parcours doit s'achever à Londres durant les jeux olympiques.

De manière générale, ce projet permet de mettre en avant le fait qu'un véhicule 100% vert est illusoire (la production, l'utilisation et le recyclage du véhicule ont au final un impact non nul). Il permet de poser le problème énergétique de manière plus globale et verra un prolongement dans un projet intégré d'habitat qui est en développement actuellement.

**PN : En quoi consiste ce projet ?**

**XV :** Icare-nest consiste à développer des modules d'habitat urbain les plus autonomes possible (isolation K12, production d'eau chaude par panneaux solaires thermiques, d'électricité par panneaux photovoltaïques et par voie éolienne, recyclage et filtration de l'eau de pluie,...). Dans cette optique, un véhicule électrique peut s'intégrer à l'ensemble (il est soit rechargé s'il y a une surproduction ou sert de batterie de secours pour l'habitation dans le cas contraire). L'idée de base est d'adapter l'utilisation à la ressource disponible et non de dimensionner en fonction du besoin, comme c'est le cas actuellement.

**PN : Quels sont, pour vous, les défis du futur dans ce domaine ?**

Comme dans de nombreux domaines, une grande inertie provient des aspects réglementaires. Nous sommes dépendants des énergies fossiles, mais le financement des états par l'intermédiaire de taxes et accises repose aussi en grande partie sur cette manne. Le changement radical est impossible sans la prise de décisions impopulaires qui ne sont pas tenables électoralement. La sensibilisation progressive doit permettre le changement des mentalités. En Europe, il y a également les difficultés liées au conservatisme, à la vision à court terme et à l'absence de nécessité absolue de changement immédiat.

Or les leviers d'action, aussi bien en termes de moyens que de savoir-faire se trouvent dans nos pays et doivent profiter aux pays du tiers-monde. L'exemple de Fribourg, en Allemagne, qui sert de vitrine technologique, montre que des initiatives à grande échelle peuvent rencontrer un vif succès et doit servir de source d'inspiration.

Il faut également rester ouvert sur le fait qu'il n'existe pas une solution idéale absolue, mais bien des solutions à adapter en fonction des aspects locaux ; l'emploi de la force animale peut, par exemple, paraître incongru en Europe mais présente des avantages indéniables dans certains pays aux infrastructures de communication peu ou mal développées. Certaines méthodes traditionnelles abandonnées au profit d'une vision « occidentale » étaient parfois plus adaptées. Un bon exemple provient des logements thermo-régulés construits en matériaux naturels qui étaient plus performants que leurs versions en tôle qui nécessitent une climatisation.



Projet Copenhague au Cap (COPTOCAR)

## LIENS

Copenhague to Cape Town : <http://www.coptocap.org/>  
 Bruxelles Dakkar en véhicule électrique à assistance humaine : <http://www.parisdakarmooil.org/>  
 Icare green : [www.icare-green.eu](http://www.icare-green.eu)

# GESTION DE L'ÉNERGIE DANS LES BÂTIMENTS

☒ Prof. Véronique Feldheim, Service de Thermique et Combustion

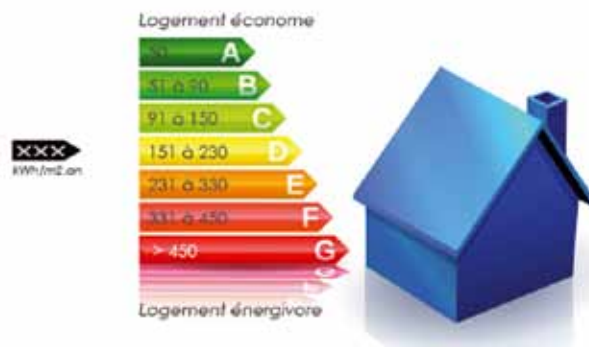


## Petite histoire de l'évolution des exigences sur la performance énergétique des bâtiments en Région wallonne.

En Région wallonne, la nouvelle réglementation sur la Performance Énergétique des Bâtiments (PEB) est entrée en vigueur depuis le 1<sup>er</sup> septembre 2008. Elle s'applique à l'ensemble des bâtiments pour tous les travaux de construction, de reconstruction et de transformation nécessitant l'obtention d'un permis d'urbanisme. Lors de la mise en place de la réglementation, un nouveau bâtiment devait respecter un niveau Ew de 100. Depuis le 1<sup>er</sup> septembre 2011, c'est un niveau Ew de 80 qui est exigé, associé à une consommation spécifique en énergie primaire de 130 kWh/(m<sup>2</sup>.an).

Afin d'appréhender les conséquences d'une telle réglementation, replongeons-nous quelques instants dans l'histoire de ces exigences. Pionnière en la matière, la Région wallonne mettait en place une réglementation thermique en 1984 déjà, avec l'introduction du niveau d'isolation global ou « niveau K ». Sur une échelle adimensionnelle, les nouvelles constructions se devaient, à l'époque, de respecter un niveau K de 70, c'est-à-dire avoir un niveau d'isolation meilleur que K 70. Si le bâtiment ne respectait pas ce critère, il devait satisfaire au critère du « BE » (besoin en énergie) et présenter une consommation annuelle en énergie pour le chauffage, par mètre carré de plancher chauffé, inférieure au niveau « BE 500 ». Ces critères étaient accompagnés d'exigences sur le niveau d'isolation des parois du bâtiment. Dès 1996, les exigences sont renforcées et une nouvelle habitation (secteur résidentiel) doit à l'époque, respecter un niveau K inférieur à K 55 ou une consommation annuelle inférieure au niveau BE 450. Les valeurs des coefficients globaux de déperdition des parois évoluent également. Pour un mur extérieur par exemple, il faut vérifier que le coefficient de déperdition global ne dépasse pas 0,6 W/(m<sup>2</sup>.K). Pour un mur d'habitation tel que construit dans nos régions, basé sur une structure de type « bloc porteur et brique de parement avec un créneau », il n'est pas possible de respecter l'exigence si on n'introduit pas de l'isolant dans la lame d'air (exemple basé sur un bloc de béton cellulaire de 19 cm d'épaisseur, un créneau de 5 cm et une brique de parement de 9 cm). L'isolant doit avoir une épaisseur d'au moins 5 cm. Quant à l'exigence sur le « BE », si la maison présente une compacité unitaire, elle doit avoir une consommation en énergie pour le chauffage inférieure à 450 MJ/(m<sup>2</sup>.an) soient 125 kWh/(m<sup>2</sup>.an).

Actuellement, depuis 2008 en fait, c'est le niveau Ew (niveau de consommation en énergie primaire) qui a remplacé le « BE » et là aussi, les exigences se renforcent. Concrètement, si un permis de bâtir



La performance énergétique des bâtiments en niveaux, comme pour l'électro-ménager

est déposé actuellement, le nouveau bâtiment devra respecter un niveau K inférieur à 45 et un niveau Ew inférieur à 80. Pour le mur d'habitation, il faut respecter un coefficient d'isolation global inférieur à 0,4 W/(m<sup>2</sup>.K), ce qui se traduit par une épaisseur d'isolant de 7 cm environ pour l'exemple pris ci-dessus. La différence majeure avec l'histoire se situe au niveau des postes de consommation qui sont considérés dans le niveau « Ew ». Ce niveau évalue la quantité d'énergie primaire consommée pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, les auxiliaires et le refroidissement éventuel. On tient compte cette fois également des performances des systèmes installés dans le bâtiment. Donc, quand un nouveau bâtiment doit actuellement présenter une consommation en énergie spécifique inférieure à 130 kWh/(m<sup>2</sup>.an), ce n'est pas comparable directement aux 125 kWh/(m<sup>2</sup>.an) de la réglementation de 1996 ! Afin de se rendre compte de l'efficacité des nouveaux bâtiments, une étude a été réalisée par le pôle Energie dans le cadre de l'action « Construire avec l'Energie », qui avait pour but de comparer les consommations en énergie pour le chauffage prédites par la méthode de calcul PEB et celles effectivement mesurées sur le terrain au sein d'habitations ayant participé à cette action. Il ressort de l'étude que la consommation relevée dans plus de 60% des maisons étudiées est inférieure à 50 kWh/(m<sup>2</sup>.an) (soit un équivalent de moins de 1000 l de mazout ou 1000 m<sup>3</sup> de gaz naturel pour une maison de 200 m<sup>2</sup> de surface chauffée). Les autres

maisons restent sous la barre des 90 kWh/(m<sup>2</sup>.an) ! Si l'on veut comparer ces performances aux exigences du siècle passé, il faut tenir compte de l'écart entre la réalité et le calcul effectué dans la méthode de la PEB. Cet écart est d'environ 65% si l'on considère la méthode « telle quelle » (avec ses hypothèses, c'est-à-dire un comportement standard du bâtiment et de ses occupants), la méthode de calcul donnant une évaluation des consommations supérieure à ce qui est mesuré en réalité. Prenons une habitation qui respecte le critère actuel du « Ew 80 » : la consommation en énergie pour le chauffage, évaluée par la méthode de calcul, est de 30 kWh/(m<sup>2</sup>.an)... à comparer avec la limite de 125 kWh/(m<sup>2</sup>.an) du siècle passé ! L'objectif, à terme, est d'imposer le standard passif ou zéro énergie pour l'ensemble des nouvelles constructions et c'est une excellente chose. Mais que faire avec notre parc de logements existants dont plus de 45% datent d'avant 1945 et qui sont loin de respecter les exigences actuelles ?

**Le challenge actuel reste donc un renforcement des exigences pour le logement neuf mais surtout des incitants et pistes d'actions concrètes pour le logement existant et ce sont tous les acteurs concernés qui se doivent de faire des efforts en ce sens : les architectes, mais aussi les urbanistes, les institutions publiques et le pôle Energie de la Faculté, dans le cadre de ses activités de recherche dans l'axe « Energie et habitat » !**



Maison unifamiliale à Leuze – Ew 79  
Architecte : Luc Demonté

# Les POMPES À CHALEUR produisent-elles de la chaleur d'origine renouvelable ?

☒ Dr Eric Dumont, Service de Thermodynamique et Physique mathématique



**Les pompes à chaleur sont des machines permettant de fournir de la chaleur et ayant comme particularité qu'une partie de celle-ci est prélevée gratuitement à un milieu extérieur au milieu à chauffer. Cela en fait-il une technologie qui valorise de l'énergie renouvelable ? Oui selon l'Union européenne, mais à certaines conditions.**

Le plan « Energie-Climat » de la Communauté Européenne dit plan « 3X20 » impose, au niveau européen à l'horizon 2020, une amélioration de 20% de l'efficacité énergétique, une réduction de 20% de l'émission de gaz à effet de serre, et 20% d'énergie finale produite de manière renouvelable. Pour ce dernier objectif, on pense souvent aux énergies renouvelables très « visibles » comme le solaire photovoltaïque ou l'éolien. C'est vite oublier que ces technologies produisent de l'électricité alors que nous consommons de grandes quantités d'énergie pour produire de la chaleur et, dans une moindre mesure, du froid ! Comment, me direz-vous, produire de la chaleur de manière renouvelable ? La première idée qui vient à l'esprit est d'utiliser un combustible renouvelable (bois, biomasse) au lieu d'un combustible fossile (gaz naturel, pétrole). C'est là que la pompe à chaleur à compression de vapeur intervient : cette technologie fournit de la chaleur sans consommer (a priori) de combustible fossile. La quantité de chaleur fournie provient pour environ 2/3 de chaleur prélevée gratuitement à l'environnement extérieur et pour environ 1/3 du réseau sous forme électrique (voir PN29 pour une explication plus détaillée). Le ratio chaleur fournie/électricité consommée est appelé le COP de la pompe à chaleur et est souvent supérieur à 3 pour les applications de chauffage de bâtiments. Est-ce donc de l'énergie renouvelable ? Oui pour les 2/3 provenant de l'extérieur et généralement non pour l'électricité utilisée car cette dernière est souvent produite dans une centrale qui elle-même consomme de l'énergie, éventuellement fossile (appelée énergie primaire). Alors quid ? L'Europe a tranché : la chaleur fournie par une pompe à chaleur sera considérée comme renouvelable si la quantité de chaleur produite est de 15% supérieure à la quantité d'énergie primaire utilisée pour produire l'électricité. Après un petit calcul et connaissant la valeur du rendement forfaitaire des centrales électriques exploitées par l'Union européenne (40%), cela signifie que le COP moyen annuel des pompes à chaleur doit être supérieur à 2,88.

Le Pôle Energie s'intéresse aux pompes à chaleur depuis plus de dix ans, que ce soit au niveau théorique (modélisation des éléments, prédiction des performances, couplage machine-bâtiment) ou au niveau expérimental (suivi *in situ* des performances de pompes à chaleurs domestiques).

Suite au monitoring de nombreuses pompes à chaleur installées dans des maisons individuelles, il est maintenant acquis qu'avec un système de distribution de chaleur à basse température (plancher chauffant, par exemple), on obtient des COP annuels de l'ordre de 3,2 en utilisant l'air comme source de chaleur et de l'ordre de 4,0 à 4,5 si on utilise des sondes géothermiques qui puisent la chaleur à une centaine de mètres de profondeur dans le sol. Pas de problème donc vis-à-vis du critère européen. Malheureusement, un système de distribution de chaleur à basse température n'est souvent possible que dans des habitations neuves. Or celles-ci ne représentent que quelques pourcents du stock de maisons en Belgique. Dès lors qu'on veut utiliser les pompes à chaleur dans des habitations plus anciennes, il n'est souvent pas possible d'utiliser un plancher chauffant car les besoins en chaleur sont plus importants que pour une habitation neuve (bien isolée) même si on effectue des travaux de rénovation classiques (isolation du toit, pose de double vitrages). La question est donc de savoir quel est le COP des pompes à chaleur placées dans des habitations anciennes et peu isolées, qui nécessitent un apport de chaleur à haute température (par radiateurs)

ou à moyenne température (par ventilo-convecteurs). Un suivi effectué par le Pôle Energie dans une maison peu isolée de la région de Charleroi a montré qu'on obtenait un COP annuel de 2,83 pour une pompe à chaleur puisant sa chaleur dans l'air extérieur, soit juste en-dessous des 2,88 fatidiques...

L'avenir se trouve donc clairement dans le marché de la rénovation et passe par l'amélioration des performances des pompes à chaleur couplées à des corps de chauffe à moyenne ou haute température. Un autre marché prometteur est celui des maisons passives, qui nécessitent très peu de chaleur sur une année, le challenge étant le développement de pompes à chaleur performantes de très petite puissance (un à quelques kW), quasi inexistantes à l'heure actuelle.

Enfin, il est clair que si les pompes à chaleur sont introduites massivement comme moyen de chauffage dans les habitations individuelles (en Belgique, on prévoit qu'elles pourraient fournir 13% des besoins en chaleur à l'horizon 2020), il faudra se poser la question de leur impact sur la production et la distribution d'électricité.

On peut également envisager d'alimenter sa pompe à chaleur par des panneaux photovoltaïques (là aussi des recherches sont en cours dans le Pôle Energie), mais cette fois c'est plutôt du point de vue économique que cela pose problème.

**On constate, en conclusion, qu'il existe des moyens de se chauffer de manière renouvelable, mais de nombreux progrès sont encore à réaliser tant du point de vue des performances des installations que du point de vue économique. La recherche a donc un bel avenir devant elle...**



Pompe à chaleur pour la production d'eau chaude sanitaire instrumentée par le Pôle Energie

# LE STOCKAGE INTER-SAISONNIER D'ÉNERGIE THERMIQUE D'ORIGINE SOLAIRE

☒ Prof. Marc Frère, Service de Thermodynamique et Physique mathématique



La récente révision de la Directive Européenne relative à la Performance Énergétique des Bâtiments (EPBD) stipule que les bâtiments construits à partir de 2020 devront être « quasi zéro énergie ». Ce terme n'est pas défini de manière rigoureuse dans le texte : celui-ci stipule qu'il s'agit de bâtiments ayant une très faible consommation d'énergie et que celle-ci doit être couverte par une production majoritairement d'origine renouvelable. La législation actuelle encourage la construction de bâtiments dont la consommation énergétique est de plus en plus faible. Sous nos latitudes, il s'agit de réduire fortement la demande en chaleur pour le chauffage du bâtiment lui-même et ce, via une isolation thermique des parois très poussée et une maîtrise de l'étanchéité du bâtiment à l'air, couplée à un système de récupération de chaleur sur l'air de ventilation. Au cours de la prochaine décennie, une demande en chaleur (chauffage de l'espace) inférieure à 4000 kWh devrait devenir un standard pour une maison unifamiliale neuve. Encore faudra-t-il pouvoir assurer à l'avenir que cette demande puisse être produite à partir d'énergie renouvelable !

L'une des solutions envisageables est de produire cette chaleur à partir de capteurs solaires thermiques. En effet, le gisement solaire annuel en Belgique est de l'ordre de 1000 kWh/(m<sup>2</sup>.an). En considérant un rendement de conversion de l'ordre de 40%, on obtient des surfaces de capteurs tout à fait raisonnables (de 15 à 20 m<sup>2</sup> si l'on considère les pertes de stockage et la production d'eau chaude sanitaire). Malheureusement la production de chaleur a lieu principalement pendant les mois d'avril à septembre, c'est-à-dire au moment où les besoins en chauffage sont très faibles. Le défi est donc de pouvoir stocker cette chaleur pendant plusieurs mois. La solution la plus simple est de stocker cette énergie dans un réservoir d'eau. Malheureusement, malgré la faible demande en énergie, cette solution nécessite un volume de stockage prohibitif (plusieurs centaines de m<sup>3</sup> d'eau). En effet la densité théorique de stockage est relativement faible : 23 kWh/m<sup>3</sup> pour une variation de température de 20°C entre le début et la fin du stockage. Les deux solutions alternatives qui sont actuellement à l'étude sont le stockage par chaleur latente et le stockage thermochimique.

Le premier consiste à utiliser la chaleur d'origine solaire pour faire fondre un solide (par exemple, un nitrate ou un acide gras). Lorsqu'il y a une demande en chaleur, la solidification du solide permet de récupérer la chaleur stockée. La densité théorique de stockage dépend bien évidemment du solide utilisé, elle est de l'ordre de 120 kWh/m<sup>3</sup> pour les solides adaptés à l'application soit 6 fois plus que celle obtenue en réservoir d'eau. De plus, l'utilisation d'un solide ayant une température de fusion relativement faible (mais suffisante pour produire de la chaleur à un niveau de température en adéquation avec le système de distribution de chaleur) permet de limiter les pertes et d'augmenter le rendement des capteurs solaires. Malgré ces avantages certains, le stockage inter-saisonnier par chaleur latente n'est pas encore au point en raison de la faiblesse relative de la densité théorique de stockage et de la difficulté d'obtenir des densités réelles proches de la valeur théorique.

Quant au stockage thermochimique, il est réalisé grâce à la mise en œuvre d'une réaction chimique impliquant deux solides X et Y et un gaz Z. Pendant le processus de stockage, X se décompose sous l'action de la chaleur produite par les capteurs solaires pour donner le second solide Y et le gaz Z. Y et Z sont alors physiquement séparés, ce qui empêche la réaction

inverse (avec production de chaleur) lors du refroidissement du système. Cette réaction inverse est belle et bien provoquée par remise en contact de Y et de Z lorsqu'une demande en chaleur se fait sentir. Les réactions les plus souvent étudiées mettent en œuvre un sel (présentant plusieurs états possibles d'hydratation) et la vapeur d'eau. Les densités théoriques de stockage peuvent atteindre plusieurs centaines de kWh/m<sup>3</sup> si bien que même si la densité réelle demeure très différente de la densité théorique, on peut espérer mettre au point des systèmes de stockage d'un volume raisonnable (une vingtaine de m<sup>3</sup>). Cette thématique de recherche n'est pas neuve. Dès le premier choc pétrolier, de nombreuses équipes de recherche se sont attelées à développer de tels systèmes. Malheureusement, la complexité des phénomènes mis en œuvre nécessitait la mise au point de prototypes successifs, fait qui s'accommode mal d'une politique de financement de la recherche par projets de durée limitée. De plus, à l'époque, la demande en chaleur des bâtiments, et donc la quantité d'énergie à stocker, était élevée. Le contexte est bien différent aujourd'hui puisque, d'une part, la législation impose une demande de plus en plus faible en chaleur dans les bâtiments et que, d'autre part, dans le futur, cette demande devrait être assurée massivement par les sources d'énergies renouvelables.

C'est dans ce contexte, qui crée une véritable opportunité économique pour les systèmes performants de stockage inter-saisonnier de chaleur d'origine solaire, que le Pôle Energie de l'Université de Mons a débuté un programme de recherche sur le stockage thermochimique dans le cadre d'un projet du plan Marshall (projet SOLAUTARK – acronyme de « autarcie solaire »). Il est mené par un consortium rassemblant l'ULg, l'ULB et des acteurs économiques (ESE, ArcelorMittal, l'Atelier d'Architecture Jaspard, le Centre Technique de l'Industrie du Bois). Il a pour objectif le développement et la validation à l'échelle du laboratoire d'un système de stockage thermochimique. Le principal enjeu est la maîtrise des transferts de chaleur et de masse au sein du stockage de manière à rapprocher la densité de stockage réelle de la densité théorique. Ce projet trouvera une suite au niveau européen. Il s'agira alors de valider le concept à l'échelle réelle !

# LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE à L'UMONS

☒ Dr Eric Dumont, Service de Thermodynamique et Physique mathématique

**Parmi les sources d'énergie renouvelable les plus abondantes figure l'énergie solaire. Sa conversion directe en électricité via l'effet photovoltaïque la classe en pole position des énergies présentant un fort potentiel de développement. Focus sur les recherches menées à L'UMONS dans ce domaine.**

L'énergie solaire est incontestablement l'énergie solaire la plus connue et la plus anciennement exploitée : elle est en effet disponible partout sur terre et en quasi permanence. De plus, son abondance ne fait aucun doute : on estime en effet que notre terre reçoit du soleil environ 8000 fois la quantité d'énergie primaire que nous consommons en un an. Cette énergie reçue du soleil est absorbée sous forme de chaleur par les océans et les terres émergées et est aussi à l'origine des vents soufflant sur la terre. Comment pouvons-nous récupérer cette énergie gratuite ? Trois grandes voies nous sont offertes : le solaire thermique à faible température, le solaire thermique à haute température et le solaire photovoltaïque. La première consiste à convertir l'énergie solaire en chaleur à relativement basse température (50 à 200°C) de manière décentralisée dans des panneaux solaires classiques. Les applications sont malheureusement limitées car la chaleur se transporte très mal sans pertes : seule une utilisation directe est envisageable (serres, production d'eau chaude sanitaire). La deuxième voie est la conversion en chaleur à haute température (plusieurs centaines à quelques milliers de degrés) dans des installations dites solaires thermodynamiques. Ces installations centralisées ont actuellement un développement limité de par leurs coûts d'investissement élevés. La troisième voie est la filière solaire photovoltaïque dont les avantages sont importants : production d'énergie sous forme électrique, c'est-à-dire de haute valeur ajoutée et qui se transporte facilement. Son introduction massive dans le réseau de production d'électricité dépend de deux grands facteurs : le rendement de conversion de l'énergie solaire en électricité et le prix de l'électricité produite de cette manière. Ces facteurs diffèrent selon la technologie utilisée pour produire les modules photovoltaïques.

“ Notre terre reçoit du soleil environ 8000 fois la quantité d'énergie primaire que nous consommons en un an. ”

Historiquement, ce sont les modules au silicium qui ont été développés les premiers. Ils dominent d'ailleurs encore le marché (environ 90% des modules vendus en 2010 sont basés sur ce matériau). Le rendement de conversion maximum atteint en laboratoire est de 28% même si les modules commerciaux ont un rendement plus bas (15%). Malgré ces valeurs intéressantes, la filière silicium reste chère car elle nécessite beaucoup d'énergie pour la production des modules. On estime néanmoins que vers les années 2015-2020, l'évolution des techniques de production et l'augmentation du rendement amèneront le prix de l'électricité photovoltaïque au prix de l'électricité « conventionnelle » (0,2 €/kWh) dans les pays européens.

Un autre moyen d'arriver à des prix concurrentiels est de développer des modules basés sur d'autres technologies moins matures que le silicium : le rendement est bien entendu plus faible mais le coût de production aussi, ce qui peut amener à un prix de l'électricité très bas.





## Ces nouvelles technologies font l'objet de recherches à l'Université de Mons. Polytech News a rencontré le Prof. Roberto Lazzaroni (Faculté des Sciences) et le Prof. André Decroly (Faculté Polytechnique) qui travaillent tous deux dans ce domaine.

### PN: Sur quelles technologies photovoltaïques travaillez-vous ?

**RL :** Mon équipe travaille sur les cellules solaires organiques.

**AD :** Nos recherches concernent les cellules à colorants organiques, dites aussi cellules de Grätzel.

### PN: Pouvez-vous nous en dire plus sur ces deux technologies ?

**AD :** Les cellules de Grätzel se composent de trois éléments principaux : une molécule organique colorante absorbe la lumière et produit des électrons, ces électrons sont transportés dans un matériau inorganique, généralement du  $\text{TiO}_2$ , jusqu'à la première électrode et le circuit électrique est bouclé grâce à un électrolyte liquide placé entre le colorant et la seconde électrode. Le meilleur rendement obtenu en laboratoire est de 11% mais en moyenne, on tourne plutôt autour de quelques %.

**RL :** Les cellules organiques se basent, contrairement au silicium et comme leur nom l'indique, sur des molécules organiques qui sont généralement des polymères semi-conducteurs. Pour faire simple, ces molécules absorbent la lumière incidente ce qui permet la génération d'électrons. Ces électrons doivent ensuite être collectés et transportés dans un matériau accepteur d'électrons jusqu'aux électrodes de la cellule pour pouvoir être utilisés. Le meilleur rendement de conversion obtenu sur ce type de cellule est de 8% en laboratoire mais on est loin de ces valeurs en pratique.

### PN: Y a-t-il un lien entre les deux technologies ?

**RL :** Oui et non. Oui car les différentes étapes successives depuis l'absorption de la lumière jusqu'à la collecte des électrons sont les mêmes dans tous les types de cellules photovoltaïques et non car l'importance de ces étapes est différente dans les deux technologies.

**AD :** En effet, dans les cellules organiques, la transformation de la lumière en électrons est très efficace mais le point faible est l'étape de transfert de ces électrons : la plupart des électrons produits sont piégés avant d'avoir pu atteindre le matériau accepteur, ce qui explique les faibles rendements obtenus. Dans les cellules de Grätzel, l'absorption de la lumière est moins efficace mais les électrons produits sont plus facilement transférés dans le  $\text{TiO}_2$ . Ce matériau piège néanmoins un certain nombre d'électrons, ce qui explique également les rendements assez bas obtenus.

### PN: Quels sont les avantages et les inconvénients de ces cellules ?

**AD :** Les avantages des deux technologies résident en des procédés de fabrication simples et demandant peu d'énergie et des matériaux utilisés bon marché, ce qui permet d'envisager des coûts de production très bas. De plus, ces cellules peuvent être fabriquées sur support flexible, ce qui ouvre un marché non disponible pour les cellules classiques au silicium qui sont fort fragiles. Les inconvénients sont bien évidemment le faible rendement actuel de ces

cellules et leur faible durée de vie car elles sont très sensibles au rayonnement ultraviolet qui dégrade rapidement les molécules organiques.

**RL :** En effet, on estime que la durée de vie des cellules organiques est d'environ 10000 h.

**AD :** Les cellules de Grätzel ont une durée de vie plus longue mais elles souffrent d'un autre défaut : l'électrolyte liquide a tendance à fuir...

### PN: Au vu des inconvénients, ces cellules sont-elles déjà présentes sur le marché ?

**RL :** Certaines cellules organiques sont déjà commercialisées, notamment aux Etats-Unis, pour alimenter des abribus, mais les applications pratiques sont à plus long terme à cause de leur durée de vie limitée. On pense surtout à leur utilisation à l'intérieur des bâtiments grâce aux sources de lumière artificielle pour alimenter de petits appareils électroniques.

**AD :** La société G24i en Grande-Bretagne commercialise des cellules de Grätzel depuis 2009 mais elle ne garantit ses produits qu'une seule année...

### PN: Etant donné de ces problèmes, dans quelle voie se dirigent vos recherches ?

**RL :** Nous cherchons à mieux comprendre la physique qui se cache derrière les cellules organiques. Nos recherches se portent vers de nouveaux polymères qui captent encore mieux la lumière et surtout vers des techniques de fabrication qui permettent d'améliorer l'étape de transfert des électrons.

**AD :** Nous cherchons à améliorer les surfaces spécifiques du  $\text{TiO}_2$  sur lequel est déposé le colorant absorbant la lumière afin d'améliorer le rendement global des cellules de Grätzel. Nous investiguons également d'autres matériaux comme le  $\text{ZnO}$  et, enfin, nous essayons de remplacer l'électrolyte liquide par un milieu solide polymère.

**RL :** Nous allons d'ailleurs travailler ensemble sur les colorants polymères pour cellules de Grätzel avec d'autres collègues de l'UMONS.

### Référence :

Kanta A.-F., Decroly A. Stainless steel electrode characterizations by electrochemical impedance spectroscopy for dye-sensitized solar cells, *Electrochimica Acta*, Volume 56, Issue 27, Pages 10276-10282, 2011.

Cellule de Grätzel testée à l'UMONS



# GÉOTHERMIE PROFONDE EN HAINAUT : l'idée à creuser

☒ Luciane Licour et Alain Rorive, Service de Géologie Fondamentale et Appliquée

La région de Mons est actuellement la seule en Belgique où l'on exploite l'énergie géothermique dite profonde, c'est-à-dire issue de réservoirs géologiques situés à plus de 1000 m sous la surface du sol. L'exploitation de cette énergie alternative est non polluante, n'implique aucun rejet de CO<sub>2</sub> si on ne considère pas l'étape de distribution de la chaleur et peut présenter une disponibilité d'utilisation non contraignante, à l'opposé d'autres énergies vertes comme l'éolien et le solaire.

La géothermie est en plein développement, partout dans le monde, et permet un éventail d'applications extrêmement vaste, allant de l'aquaculture et du chauffage de serres à la production d'électricité, en passant par tous les processus industriels nécessitant un quelconque préchauffage. La puissance installée, toutes catégories confondues, a plus que doublé entre 1995 et 2010, atteignant 15300 MW<sub>th</sub> pour les usages directs de la chaleur et 10700 MW<sub>e</sub> pour l'électricité. Les plans prospectifs pour 2015 portent ces deux valeurs à plus de 18000 MW<sub>th</sub> et 18500 MW<sub>e</sub>.

En Europe, la chaleur géothermique est utilisée à peu près dans tous les pays. La puissance installée est de plus de 4700 MW<sub>th</sub> et la production en 2010 a dépassé 17500 GW<sub>h</sub> dont la moitié a été utilisée pour des réseaux de chauffage urbain. Les autres applications principales sont la balnéothérapie, le chauffage de piscines et le chauffage de serres. La production d'électricité pour 2010 atteint 10500 GW<sub>h</sub>, pour une puissance installée de 1500 MW<sub>e</sub>, principalement en Italie et en Islande.

Trois puits géothermiques sont implantés en Hainaut (voir Fig. 1), et deux d'entre eux produisent de la chaleur depuis 1986. Le puits de Saint-Ghislain est relié à un réseau de chauffage urbain qui fournit

chaleur et eau chaude sanitaire à diverses infrastructures scolaires, sportives, administratives et hospitalières, ainsi qu'à plus de 350 logements, pour une production annuelle d'environ 16 GW<sub>h</sub>. Le puits de Douvrain alimente les installations de conditionnement d'air de la clinique de Baudour. Le puits de Ghlin, resté inactif depuis sa réalisation en 1981, est en passe d'être relié à un réseau de chauffage d'une zone d'activité économique, en chantier.

Le réservoir exploité est celui des carbonates et sulfates du Carbonifère inférieur (Dinantien) de l'unité du Parautochtone de Namur. Il s'agit d'une série de couches principalement calcaires et dolomitiques qui s'étend d'Est en Ouest à travers la Belgique, de Tournai à Liège en passant par Namur. La bande calcaire dinantienne affleure au Nord de la région de Mons. Elle s'enfonce vers le Sud avec un pendage de 10 à 15 degrés par rapport à l'horizontale sous les terrains du Carbonifère supérieur plus récent (voir Fig. 2), et dont la disposition structurale est assez bien connue à travers la multitude de données fournies par l'exploitation de la houille. Au droit des puits géothermiques, le Dinantien carbonaté a déjà atteint une profondeur de plus de 1000 m.

Dans la région de Mons, le Carbonifère inférieur présente une épaisseur de plusieurs centaines de mètres de roches fracturées et affectées par la karstification, ce qui en fait un aquifère de très bonne qualité, à la perméabilité souvent élevée et bien réalimenté par les eaux de pluie qui s'infiltrent à travers la couverture sableuse récente. Cet aquifère est exploité à l'affleurement pour l'alimentation en eau potable et pour divers usages industriels. En profondeur, les eaux qui saturer les pores et les fissures de la roche s'échauffent au contact de celle-ci, et gagnent avec l'approfondissement plusieurs dizaines de degrés de température. L'accroissement de la température des roches avec la profondeur est désigné sous le nom de gradient géothermique. En Belgique, il est voisin de 3°C par 100 m, qui est également la moyenne à l'échelle terrestre. Cette valeur est fortement variable

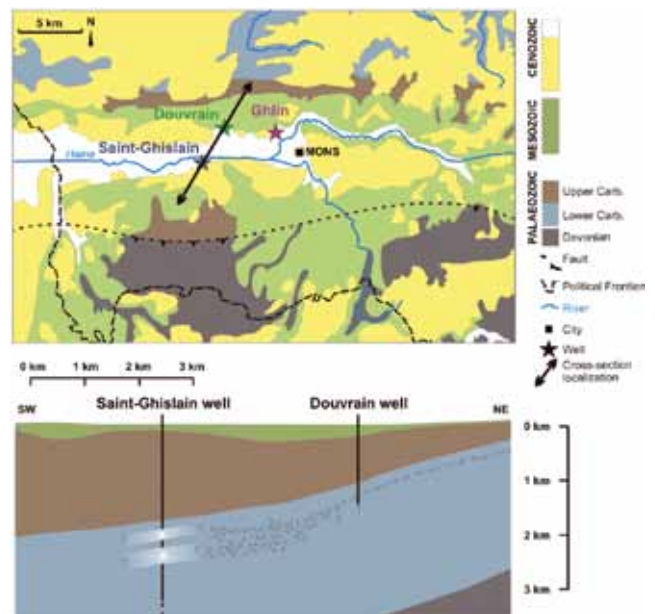


Fig. 2 : Carte géologique et coupe verticale simplifiées à travers le Bassin de Mons et son socle paléozoïque

en fonction des conditions géologiques et peut fluctuer entre plusieurs dizaines de degrés à quelques dixièmes de degrés par 100 m. A Saint-Ghislain, Douvrain et Ghlin, les trois puits géothermiques du Hainaut, l'eau chaude atteint une température proche de 70°C. Ces températures presque uniformes, malgré les variations dans la profondeur du niveau perméable sollicité, témoignent d'une harmonisation résultant plus que probablement d'écoulements convectifs dans le réservoir profond.

Le réservoir géothermique est, finalement, nettement plus vaste que ce que laisse supposer la zone sollicitée par les trois puits existants, somme toute relativement proches les uns des autres. La ressource existe potentiellement partout où les carbonates du Dinantien existent à une profondeur et donc à une température suffisante. La présence de ces couches en profondeur est attestée bien au-delà de la frontière française à l'Ouest, ainsi qu'à l'Est en direction de Namur, où on les retrouve sous les terrains houillers du Centre. De plus, ces couches ont été rencontrées en sondage loin au Sud, à plus de 15 km de Mons. Moyennant des investigations géologiques et hydrogéologiques adaptées, prenant en compte l'hé-



Fig. 1 : Localisation des puits du Hainaut

térogénéité lithologique et structurale de ce réservoir ainsi que la complexité probable des écoulements profonds, d'autres exploitations géothermiques profondes pourront y être implantées avec succès.

L'intercommunale IDEA, qui gère actuellement les seuls puits géothermiques productifs du Hainaut, a entrepris ces dernières années une réflexion sur l'exploitation de cette énergie dans la région, réflexion qui a abouti en 2006 à une première étude de faisabilité concernant la mise en place de réseaux de chauffage urbain pour plusieurs groupes de bâtiments montois. Cette étude a permis de dégager plusieurs conclusions. D'une part, la mise en œuvre de l'énergie géothermique demande d'importants investissements de base, qui nécessitent l'intervention d'aides financières pour assurer sa compétitivité par rapport à la référence du gaz naturel. D'autre part, l'efficacité du chauffage géothermique est fortement dépendante du bâtiment auquel il est appliqué. Toutes les pistes de recherche suivies par la suite par l'IDEA ont donc été orientées suivant ce constat : le bâtiment doit être adapté au chauffage géothermique, et non l'inverse.

Suivant cette logique, le projet « Géother-Wall » a été établi et rendu public en 2009 (voir Fig. 3). Ce vaste plan de développement de l'énergie géothermique en Hainaut envisage plusieurs opérations dans la région, appliquées essentiellement à de nouvelles constructions conçues pour le chauffage géothermique. Les projets à court terme incluent l'extension des réseaux de Saint-Ghislain et de Douvrain, ainsi que la mise en place du réseau relié au puits de Ghlin pour le nouveau parc d'activités dit de la « Vieille-Haine » (voir Fig. 4). A moyen et long termes, l'installation de nouveaux puits est envisagée, dans un premier temps, dans la région la mieux connue géologiquement, entre les trois puits existants (parc industriel du « Pic et Plat » à Jemappes), puis latéralement vers l'Est et l'Ouest (parcs industriels de Binche et de Dour). La puissance installée pour l'ensemble de ce plan est de 40 MW, pour une production annuelle de près de 90 GWh.

Qu'en est-il à l'heure actuelle de ces différents projets ? Le parc d'activités de la « Vieille-Haine » est en cours de réalisation et il alimentera, une fois achevé, jusqu'à 35 entreprises dont les bâtiments auront été conçus suivant une série de directives visant

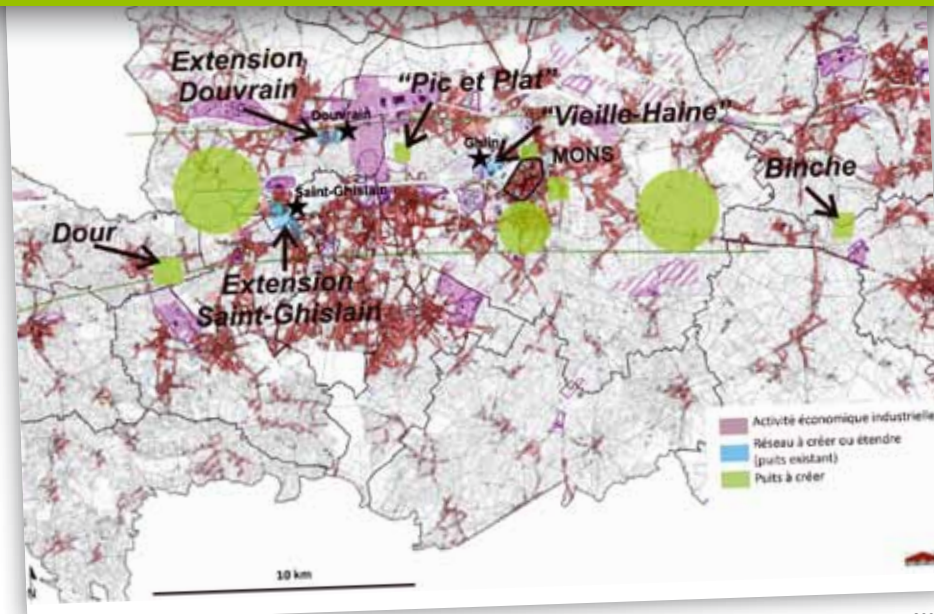


Fig. 3 : Plan « Géother-Wall » (IDEA 2009)

à optimiser l'efficacité du chauffage géothermique (radiateurs basse température, planchers chauffants). L'investissement initial s'élève à un peu plus de 3300 k€, et il est couvert conjointement par l'IDEA et le SPW. La puissance installée de la centrale de Ghlin sera de 6,5 MW, et le prix de revient du kWh géothermique restera inférieur à celui du gaz naturel.

Le projet le plus récent concerne le quartier de la gare de Mons qui est le siège de plusieurs grands projets de construction. La possibilité de l'utilisation du chauffage géothermique a, ici aussi, été envisagée et proposée par l'IDEA. Ce projet serait mis à exécution à partir de 2012 avec le forage d'un puits géothermique à 2000 m de profondeur, l'établissement d'une centrale de chauffe et d'un réseau de distribution par tuyauteries calorifugées. Le puits de Mons alimenterait via le réseau de Mons-Ouest plusieurs bâtiments existants (Lotto Mons Expo, Cité administrative) mais également la nouvelle gare de Mons, le centre de congrès et l'hôtel voisin (cf. Fig. 5). L'investissement serait cette fois plus important, vu la nécessité de forer un nouveau puits géothermique, et dépasserait 6 M€, pour une puissance installée proche de celle

du réseau de la « Vieille-Haine ». Cette somme serait ici aussi couverte en partie par le SPW.

La recherche d'autres applications pour la ressource géothermique régionale continue. L'IDEA a sollicité le Service de Thermodynamique de la Faculté Polytechnique pour développer l'utilisation du « froid géothermique », c'est-à-dire l'utilisation de l'eau chaude non plus pour le chauffage, mais pour le rafraîchissement des bâtiments, à l'instar de ce qui se fait en « climatisation solaire ».

Par ailleurs, l'existence dans la région de réservoirs plus profonds (5000 m) que celui qui est actuellement exploité est probable. Ces réservoirs sont susceptibles de fournir un fluide suffisamment chaud pour permettre la production d'électricité géothermique. De nouvelles investigations géologiques seront entreprises en 2012 afin de préciser ces possibilités.

**On le constate, la ressource géothermique est en passe de prendre de plus en plus d'importance dans le paysage énergétique hennuyer. « La Belle au Bois Dormant » des énergies alternatives s'éveille finalement en Wallonie...**



Fig. 4 : Parc d'activités de la « Vieille-Haine » et puits géothermique de Ghlin

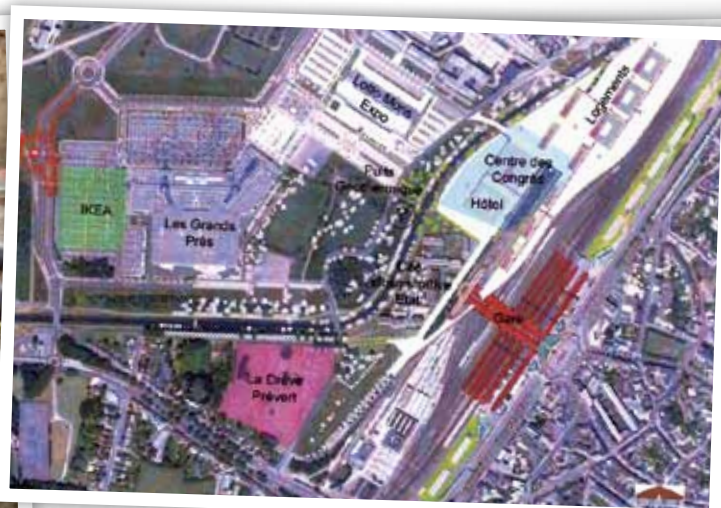


Fig. 5 : Projet « Mons-Ouest » - Localisation des bâtiments potentiellement concernés, existants et futurs

# Les micro-algues, UN NOUVEL OR VERT ?

✉ Prof. Anne-Lise Hantson, Service de Chimie et Biochimie appliquées



**Les biocarburants constituent une source d'énergie renouvelable intéressante mais qui peut poser un certain nombre de problèmes, notamment au niveau des surfaces au sol utilisées pour leur production. La production de micro-algues pourrait résoudre bon nombre de ces problèmes tout en conduisant à d'autres applications potentielles.**

De nombreuses études tendent à montrer le lien étroit existant entre consommation massive des ressources fossiles et augmentation de la concentration en gaz carbonique dans l'atmosphère, augmentation moyenne de la température de l'air et des océans, multiplication des phénomènes climatiques extrêmes (canicules, pluies diluviennes, inondations, etc). Nombre de scientifiques se penchent sur des solutions permettant, à plus ou moins long terme, tantôt de séquestrer ou de limiter la production de CO<sub>2</sub>, de réduire voire de supprimer l'utilisation des hydrocarbures fossiles, de produire une énergie propre et durable, etc. Parmi toutes ces alternatives, l'exploitation d'organismes ou micro-organismes photosynthétiques devrait permettre d'atteindre nombre de ces objectifs et, dans une approche plus globale telle que la mise en place de bioraffineries, de synthétiser durablement d'autres biens de consommation comme des polymères, des solvants, etc.

Les cyanobactéries et micro-algues sont des micro-organismes unicellulaires, vivant isolément (*Chlorella* sp.) ou en colonies (*Spirulina* sp.), en milieu aquatique salin ou dulcicole, dont la taille varie de quelques micromètres à quelques centaines de micromètres. Il y a environ 2,5 milliards d'années, l'oxygène produit par la photosynthèse a commencé à s'accumuler dans l'atmosphère terrestre, conditionnant l'évolution de la plupart des êtres vivants. Cet événement, appelé « la grande oxydation », est principalement dû à certains de ces micro-organismes, anciennement appelés algues bleu-vert, qui ont fait leur apparition il y a environ 3,5 milliards d'années.

Aujourd'hui, les cyanobactéries et les micro-algues occupent encore une place capitale au sein de la biosphère puisqu'elles représentent le phytoplancton et la production primaire de la chaîne trophique des océans. Il en existe environ 25000 espèces actuellement recensées, sur les quelque 200000 à un million potentielles. Certaines peuvent vivre dans des conditions extrêmes comme l'Antarctique, le Sahara, les fonds marins, ou dans des habitats plus traditionnels comme les mers, les lacs et rivières de nos contrées.

Via le mécanisme bien connu de la photosynthèse, ces micro-organismes sont naturellement dotés de la capacité de transformer le CO<sub>2</sub> en oxygène et

en matière organique plus complexe, comme des sucres, des protéines et des graisses (huiles) en présence d'énergie lumineuse. Ils biosynthétisent, par ailleurs, nombre de composés biologiquement actifs valorisables dans les domaines pharmaceutiques, cosmétiques voire agro-alimentaires et assimilent, dans leur métabolisme, le phosphore et l'azote, au départ de phosphates et nitrates présents dans le milieu aquatique salin ou dulcicole.

Leur production à grande échelle est réalisée, à l'extérieur ou à l'intérieur, en batch essentiellement, mais aussi en continu, en bacs, en bassins de faible profondeur (lagunes) ou dans des photobioréacteurs de design divers (cylindriques verticaux ou horizontaux, parallélépipédiques, spirales). Il est en effet essentiel pour leur croissance et leur culture de permettre la photosynthèse. Les systèmes de culture devront donc être transparents, éclairés avec une intensité lumineuse suffisante mais non létale, alimentés en CO<sub>2</sub> et dans des conditions contrôlées de pH, teneur en O<sub>2</sub>, salinité, température et concentration de biomasse.

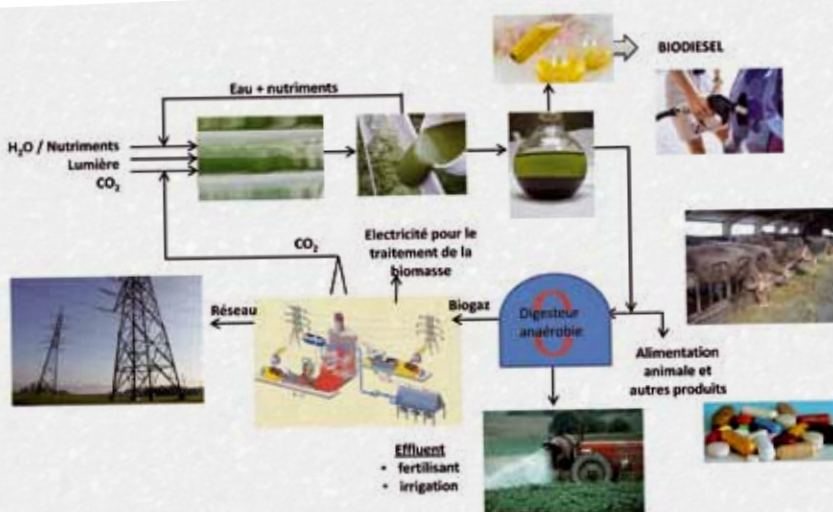
L'engouement actuel pour les micro-algues est directement lié au potentiel de leur exploitation pour la production de biocarburants. Ce sont, dans un

premier temps, les composés gras (lipides) mais aussi les sucres présents dans les cellules, voire les cellules entières, qui sont les matières premières utiles. Plusieurs produits énergétiques sont dès lors envisageables : le biodiesel, le bioéthanol, le biométhane, l'hydrogène et les hydrocarbures saturés, etc.

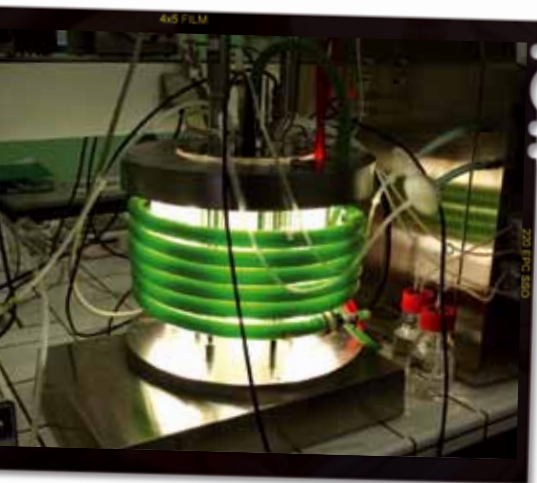
Le biodiesel sera produit sur les mêmes bases technologiques que celui issu des oléagineux terrestres déjà exploités à l'heure actuelle. Une récolte et un séchage partiel des micro-algues, suivis d'une extraction des huiles et d'une réaction chimique (transestérification avec un alcool), conduira à la production d'esters d'acides gras, qui peuvent être mélangés au diesel, voire utilisés directement dans des véhicules au moteur adapté.

Le bioéthanol sera obtenu par fermentation des micro-algues entières après récolte, séchage partiel et prétraitement, le cas échéant, en présence de levures ou de bactéries ; le procédé industriel requiert ensuite une distillation et une déshydratation pour la production d'un carburant exploitable, en mélange avec l'essence ou pur comme au Brésil, dans le secteur automobile.

## SCHEMA DE PRODUCTION DU BIODIESEL AU DÉPART DE MICRO-ALGUES



Les deux filières précitées conduisent à la production de biocarburants liquides, mais aussi à un ensemble de résidus organiques biométhanisables. Une troisième filière permet à la fois de réduire ces déchets mais aussi d'utiliser directement les micro-algues pour produire un composé exploitable pour la production énergétique : la biométhanisation fournissant le biogaz (mélange composé majoritairement de méthane et de CO<sub>2</sub>). Ce procédé n'est pas récent et est largement exploité : la fermentation anaérobie des déchets organiques, des boues de station d'épuration, etc permet, entre autres, au départ de déchets municipaux, d'alimenter des flottes captives de bus. Elle est aussi envisageable au départ de micro-algues mais sa mise en œuvre y est plus délicate étant donné leur teneur importante en protéines, causant une production massive d'ammoniac qui inhibe le bioprocédé.



Photobioréacteur expérimental du Pôle BIOSYS

D'autres biocarburants sont aussi à l'étude au départ de ces micro-organismes photosynthétiques : des hydrocarbures linéaires peuvent être obtenus par hydrogénation des acides gras et de l'hydrogène est directement biosynthétisé par certaines espèces comme *Chlamydomonas reinhardtii*.

Et l'aventure de ces cellules photosynthétiques pourrait être bien plus vaste si on envisage la mise en œuvre de bioraffineries. Dans ce concept, elles représenteraient la matière première carbonée de base au même titre que le charbon et le pétrole l'étaient ou le sont encore respectivement dans la carbochimie et la pétrochimie. Les technologies classiques du génie des procédés chimiques telles que la gazéification qui permettrait de les transformer en briques élémentaires de la chimie organique (H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) ou la synthèse de Fischer-Tropsch qui produirait des hydrocarbures, seraient dès lors mises en œuvre.

Ces micro-organismes sont considérés, par conséquent, comme la source la plus prometteuse de matière première photosynthétique pour la synthèse de biocarburants ou les matériaux biosourcés. Ils possèdent de nombreux atouts : leur productivité (1 kg de micro-algues = 1,8 kg de CO<sub>2</sub> fixé) est nettement supérieure à celle des oléagineux terrestres issus de l'agriculture (jusqu'à 30 fois), les besoins en nutriments tels que les nitrates et les phosphates sont bien contrôlés, recyclés et ne diffusent pas vers l'environnement, donc sans risque d'eutrophisation des cours d'eau ou de pollution des nappes par les nitrates. Certaines espèces sont capables de bioaccumuler des polluants tels que les métaux lourds, et leur utilisation dans le domaine énergétique ainsi que leur production n'entraînent pas de compétition d'un point de vue économique avec les ressources alimentaires ni n'exploitent les terres arables.

Restons lucides, si tout cela est très encourageant, il existe dans l'utilisation de cette technologie et de cette biomasse des inconvénients et des défis à relever : les besoins énergétiques pour collecter et sécher la biomasse sont importants, l'extraction des lipides pour la production de biodiesel requiert l'utilisation de solvants organiques, les besoins en eau sont importants surtout lors de la production de micro-algues en lagunes suite à l'évaporation, etc.

A travers le monde, des programmes de recherche et de démonstration sont en cours pour tenter de lever les verrous technologiques et d'accroître la production de micro-algues et de lipides algaux en vue d'un développement industriel économiquement viable des algocarburants ou des matériaux « algo-sourcés ».

Le développement de cette filière requiert une vision transversale de façon à couvrir l'ensemble du procédé dans une approche multidisciplinaire intégrée et itérative, incluant de nombreuses compétences telles que la biologie fondamentale, la connaissance des systèmes biologiques, la modélisation métabolique, le développement de souches spécifiques (mutation), l'ingénierie des bioprocédés et des procédés chimiques, le scaling-up, le développement de bioraffineries, la chaîne de production intégrée et le design complet du système, incluant les aspects logistiques.

#### Référence :

Massart Amaury, Aubry Elise, Hantson Anne-Lise, « Étude de stratégies de culture de *Dunaliella tertiolecta* combinant haute densité cellulaire et accumulation de lipides en vue de produire du biodiesel », *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 2, 14, 567-572

Au sein du Pôle BIOSYS de l'UMONS, des recherches sont en cours sur différents aspects de la production d'algocarburants, plus particulièrement de biodiesel, et sur le potentiel de ces micro-organismes à consommer des nitrates et phosphates présents dans des eaux usées par exemple.

Les études sont principalement organisées autour de deux grands axes. Le premier est l'optimisation de conditions de culture de micro-algues à haut potentiel lipidique en photobioréacteur de designs variés : par application de conditions séquentielles qui, dans un premier temps, conduisent à une haute concentration cellulaire de micro-algues, suivies d'une modification brusque des conditions de culture (choc osmotique ou déficience en nutriments), ou par exploitation des méthodes de type plans d'expériences qui offrent la possibilité d'étudier l'influence de différents paramètres simultanément, et de trouver des conditions de culture combinant haute densité cellulaire et haute teneur en lipides. Les essais actuels montrent en effet des possibilités d'accumuler au sein de *Dunaliella tertiolecta*, par exemple, de l'ordre de 30% de lipides avec des cinétiques de croissance acceptables en travaillant dans des

conditions de culture batch. Les développements se poursuivent pour accroître ces valeurs et augmenter les densités cellulaires en photobioréacteur « coil » ou plat. Le second axe concerne la modélisation théorique des bioprocédés appliquée aux cultures d'algues qui permettent au départ de jeux de données expérimentales d'établir des modèles dynamiques et des observateurs d'état (ou capteurs logiciels) utiles à la commande et la supervision de ces procédés complexes en se basant sur des mesures simples : pH, concentration en oxygène dissous, densité optique, etc. voire certains nutriments.

Les souches actuellement étudiées sont des souches qui présentent des vitesses de croissance élevées et des potentiels d'accumulation de lipides importants (jusqu'à 40% de leur teneur en matière sèche) ; il s'agit entre autres de *Dunaliella tertiolecta*, *Dunaliella salina*, *Chlorella vulgaris* et *ellipsoidea*, *Chlamydomonas reinhardtii* et *Scenedesmus obliquus*.

En parallèle à ces recherches orientées sur la production de biomasse et de lipides, des méthodes de caractérisation des teneurs en triglycérides et en acides gras sont développées et optimisées, parmi lesquelles la chromatographie

gazeuse couplée à la spectrométrie de masse et la spectrofluorimétrie.

Des études complémentaires sont également menées sur l'utilisation optimale de l'énergie lumineuse et l'utilisation de lumière monochromatique. Ces recherches ont pour but de limiter l'apparition des phénomènes de photo-inhibition et d'accroître la production de la biomasse algale en optimisant au mieux l'énergie lumineuse fournie aux systèmes photosynthétiques. Les principaux programmes de recherches du Pôle BIOSYS sont le Programme d'innovation technologique AGICAL (production de biodiesel au départ de CO<sub>2</sub> issu de combustions industrielles ou de procédés industriels), une thèse de doctorat subsidiée par le FNRS (modélisation de la teneur en lipides en fonction de l'apport de lumière et des nitrates) et un projet Greenomat (intitulé FOTOBIOGAT) portant sur des matériaux hybrides (sol-gel/micro-algues) pour la production de composés à haute valeur ajoutée.

Ce domaine de recherche et sa potentialité d'applications industrielles semblaient si importants à la Polytech que des séminaires sont actuellement dispensés aux étudiants de 2<sup>ème</sup> Master en Chimie-Science des Matériaux.

## ENERGIA ET ENERGEIA : L'énergie dans les temps anciens

✉ Viviane Grisez, Service de Langues



**Cela vous arrive parfois d'être à bout de forces ?**

**Vidé de toute force et ... énergie ?**

**Une chiffre molle, comme une auto sans moteur, un gsm sans batterie, un panneau solaire sans soleil, ou une turbine sans courant...**

L'expérience humaine montre que tout travail requiert de la force et produit de la chaleur. Plus on « dépense » de force par quantité de temps, plus vite on fait un travail, et plus on s'échauffe.

L'énergie est un concept ancien. Après avoir exploité sa propre force et celle des animaux, l'homme a appris à exploiter les énergies contenues dans la nature (d'abord les vents, énergie éolienne et les chutes d'eau, énergie hydraulique) et capables de lui fournir une quantité croissante de travail mécanique par l'emploi de machines : machines-outils, chaudières et moteurs. L'énergie est alors fournie par un carburant (liquide ou gazeux, énergie fossile ou non). Comme l'énergie est nécessaire à toute entreprise humaine, l'approvisionnement en sources d'énergie utilisable est devenu une des préoccupations majeures des sociétés humaines

Le mot énergie vient du latin *energia*, lui-même issu du grec ancien ἐνέργεια (*enérgeia*), qui signifie « force en action », par opposition à δύναμις (*dýnamis*) signifiant « force en puissance ».

Grâce à l'archéologie, nous savons que l'humanité a appris à se servir du feu il y a plus de 500000 ans, et peut-être bien plus tôt. En ces temps préhistoriques, les besoins de l'homme en énergie étaient modestes. Le soleil procurait de la chaleur et quand il ne brillait pas, les hommes brûlaient du bois, de la paille ou du fumier séché. Les peintures

retrouvées dans les cavernes nous montrent que les hommes et les femmes de l'Âge de Pierre (il y a environ 30000 ans) utilisaient le feu pour préparer leurs aliments, se chauffer et éclairer leurs cavernes et leurs cabanes. La dénomination même des différentes périodes – âge de pierre, âge de fer, âge de bronze – reflète la capacité des hommes à utiliser les métaux et à fabriquer des outils et des armes. On a commencé à utiliser l'énergie de manière différente lorsque les hommes ont décidé d'abandonner leur vie de nomade et de se sédentariser. Ils ont alors développé l'agriculture qui est en quelque sorte une manière de changer l'énergie du soleil directement en nourriture. Les animaux représentent une autre source d'énergie qui est encore utilisée de nos jours : les chevaux, les bœufs, les chameaux, les ânes, les éléphants sont toujours utilisés pour le transport, à la ferme et pour actionner les machines à moulinier le grain ou celles qui servent à pomper l'eau.

La force humaine a également joué un rôle important : dans les années 260 av. JC, les navires de guerre romains étaient actionnés par 170 rameurs. Et il n'était pas rare qu'une flotte soit constituée d'une centaine de navires de ce type ! Dès 5000 av. JC, l'énergie éolienne servait à faire avancer les

bateaux sur le Nil plusieurs siècles avant Jésus Christ, on utilisait en Chine des moulins à vent pour pomper de l'eau. Vers 600 av. JC, on utilisait en Perse des moulins à vent pour moulinier le grain.

L'eau a également une longue histoire. Dès 4000 av. JC, des roues hydrauliques activaient en Grèce des petits moulins afin de moulinier le blé, approvisionner les villages en eau et faire fonctionner diverses machines telles que les scieries, les pompes, les forges... L'une des premières utilisations de l'énergie solaire a été d'ordre militaire : on raconte que, pendant la bataille de Syracuse (vers 240 av. JC), c'est grâce à un énorme miroir qu'Archimède mit le feu à l'arsenal romain.

De tous les combustibles fossiles, le charbon est celui qui a connu l'histoire la plus variée. Il y a 3000 ans, on utilisait déjà le charbon en Chine et il est prouvé qu'en Angleterre, dans les années 100-200 av. JC, les Romains se servaient du charbon pour préparer leurs aliments. Lorsqu'en 1298, le célèbre explorateur Marco Polo publie son livre relatif à ses voyages en Chine, il mentionne « de grandes pierres noires qui ... brûlent comme le bois ». Le charbon a été l'un des combustibles les plus importants pendant des siècles.

« **Le mot énergie vient du latin *energia*, lui-même issu du grec ancien ἐνέργεια (*enérgeia*), qui signifie « force en action », par opposition à δύναμις (*dýnamis*) signifiant « force en puissance ».** »



## Système de reconnaissance et de reconstruction de bâtiments patrimoniaux

☒ Dr Laurent Debailleux, Service de Génie architectural et urbain



La recherche s'est intéressée à proposer un outil innovant et transposable permettant d'identifier et de comparer entre elles des façades de constructions anciennes en pans-de-bois, afin d'en esquisser des schémas de reconstitutions virtuelles possibles, dans un but de connaissance scientifique et de conservation.

La construction rurale en colombage n'a jamais véritablement disparu de nos campagnes. Il n'est néanmoins pas rare de voir, à la manière de ramifications secondaires, des structures rehaussées ou élargies formant un entrelacs structurel qui rend parfois difficile la lecture séquentielle des différentes phases d'évolution du bâtiment. Ce constat a en-

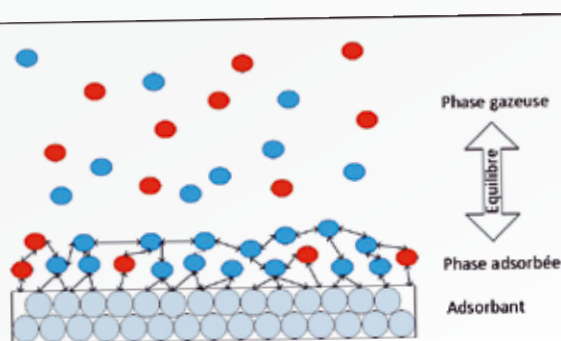
couragé à proposer un outil complémentaire d'aide à la décision. Le travail a en effet montré qu'une meilleure interprétation de ces structures pouvait être aujourd'hui facilitée par l'usage de techniques automatisées de reconnaissance et de reconstruction.

A la manière d'une requête réalisée dans un moteur de recherche, l'approche permet de confronter une structure bois a priori inconnue à un ensemble de propositions classées par ordre de pertinence. Cette approche permet à l'utilisateur de reconnaître une typologie et d'extraire, d'une base de données, un ensemble de structures similaires. Chaque paire de structures de l'échantillon est qualifiée de façon statistique à l'aide de la com-

binaison innovante de trois paramètres d'analyse permettant de quantifier la similarité entre deux structures. La dimension fractale de la façade nous renseigne sur la complexité visuelle de sa structure, le ratio géométrique informe des proportions géométriques de la façade tandis que la distance de Hausdorff permet de quantifier le degré de similarité formel entre deux colombages. Ces trois variables adimensionnelles sont associées sous la forme d'un paramètre unique nouveau permettant de quantifier la similarité entre deux structures. Cette phase de reconnaissance typologique étant réalisée, l'utilisateur a le loisir d'effectuer une reconstitution virtuelle automatisée de la façade en utilisant une grammaire de formes associée.

## ÉTUDE THERMODYNAMIQUE DE L'ADSORPTION DE MÉLANGES GAZEUX SUR SOLIDES MICROPOREUX : DE L'EXPÉRIENCE À LA MODÉLISATION

☒ Dr Nicolas Heymans, Service de Thermodynamique et Physique mathématique



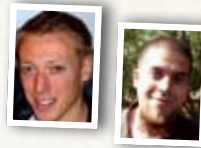
La séparation de mélanges est une étape majeure au niveau des industries chimiques et pétrochimiques. Cependant, il s'agit d'une étape coûteuse qui peut s'avérer délicate. Dans le cadre de cette thèse, nous avons étudié la séparation et la purification des mélanges gazeux par adsorption physique sur des matériaux microporeux. L'adsorption est un phénomène exothermique se déroulant lorsqu'une surface solide est exposée à un fluide (gaz ou liquide) et qui se définit comme la fixation des molécules de la phase fluide sur la surface solide. Selon les mélanges considérés, il est possible de choisir un adsorbant

adapté pour séparer les divers constituants sur base de différents mécanismes (stérique, cinétique ou thermodynamique).

Afin de dimensionner et d'optimiser les unités de séparation, il est fondamental de caractériser les performances de séparation des adsorbants notamment à l'aide de données thermodynamiques, c'est-à-dire relatives aux équilibres d'adsorption. Ces données concernent aussi bien les corps purs que les mélanges dans des gammes opératoires (températures, pressions, compositions) larges. Les données en corps purs sont relativement aisées à obtenir et sont également abondantes au niveau de la littérature ; par contre, les données en mélanges sont rares et éparpillées du fait notamment des difficultés rencontrées lors de leurs mesures.

Cette thèse, réalisée sous la direction du Prof. G. De Weireld et en collaboration avec le Centre de Recherche Claude Delorme d'Air Liquide, a permis d'atteindre un double objectif : l'acquisition de données d'équilibre d'adsorption fiables (vérifiées par détermination des incertitudes et comparaison de techniques expérimentales) en corps purs et en mélanges gazeux (binaires et ternaires) ; l'implémentation de modèles théoriques basés sur la thermodynamique macroscopique, afin de générer les données relatives aux équilibres d'adsorption en mélanges, à partir des données restreintes (préférentiellement en corps purs et, dans certains cas, en mélanges binaires). Cette étape finale, après validation des modèles, permet un gain de temps important au niveau de l'acquisition des données.

# TECHNOLOGIES DE LA PAROLE: quel est le rôle des cordes vocales ? ou quand un Thomas rencontre un autre Thomas



☑ Dr Thomas Drugman et Dr Thomas Dubuisson, Service de Théorie des Circuits et Traitement du Signal



Des voix artificielles dans nos GPS aux systèmes automatiques de dictée, de l'identification de personnes basée sur leur voix à la détection de pathologies vocales, les technologies vocales trouvent une place importante dans notre quotidien. En offrant des solutions efficaces, flexibles et peu onéreuses, leur marché est l'un des rares à avoir été si bien portant pendant la crise financière de 2008 et devrait d'ailleurs atteindre 20.9 milliards de dollars pour 2015. Deux thèses menées dans le service de Théorie des Circuits et de Traitement du Signal (TCTS), encadrées par le Professeur Dutoit et soutenues au mois de mai, se sont inscrites dans cette thématique.

## THÈSE DE THOMAS DUBUISSON (GLOTTAL SOURCE ESTIMATION AND AUTOMATIC DETECTION OF DYSPHONIC SPEAKERS)

La voix est l'outil de communication par excellence. Elle peut cependant être altérée à cause de problèmes médicaux (ex : œdème des cordes vocales) ou par l'utilisation intensive dans le cadre professionnel (ex : professeur). L'impact d'un trouble vocal est donc non seulement médical mais aussi économique et sociétal. En milieu clinique, le trouble vocal est diagnostiqué subjectivement et objectivement. Ces analyses ont cependant le désavantage d'être dépendantes respectivement de l'expérience du clinicien et d'un matériel encombrant et coûteux. Dès lors, des recherches en traitement de parole ont été dédiées à la conception d'outils objectifs de support à l'analyse clinique, utilisant uniquement le signal de parole acquis par un microphone et intégrant la connaissance des cliniciens via l'utilisation de bases de données.

La présente thèse de doctorat s'inscrit dans cette thématique, plus particulièrement dans la détection de la présence d'une pathologie vocale. Classiquement, cette détection se déroule en plusieurs points : estimation de paramètres à partir de tranches temporelles d'un échantillon de voix, classification de chaque tranche comme normale ou pathologique, décision normal/pathologique pour l'échantillon de voix en fusionnant la décision pour toutes les tranches. Cette approche souffrant de plusieurs défauts, la thèse a été consacrée à la conception de méthodes simples, utilisant un nombre limité de paramètres et nuanciant la décision fournie au clinicien. La première méthode utilise un seuillage de la corrélation temporelle entre deux paramètres du signal de parole, cette corrélation ayant été observée comme plus élevée pour les voix normales. La seconde méthode utilise quant à elle une combinaison d'un paramètre extrait de la voix et d'un paramètre extrait de l'estimation du flux glottique, cette combinaison ayant été la plus performante pour la détection de pathologies.

Dans le cadre d'une application clinique, il peut être délicat de fournir une décision binaire normal/pathologique car il est crucial d'éviter de classer une voix comme normale si elle est en fait pathologique. C'est pourquoi les deux méthodes comportent des mécanismes de sécurité dans la décision, permettant non seulement d'assurer un niveau de confiance suffisant dans la décision normal/pathologique, mais aussi de mettre en évidence les cas pour lesquels un examen plus approfondi est requis.

## THÈSE DE THOMAS DRUGMAN (AVANCÉES EN ANALYSE GLOTTIQUE ET SES APPLICATIONS)

Cette thèse de doctorat a visé à développer de nouvelles méthodes d'analyse du signal de parole basée sur le flux glottique, et d'intégrer celles-ci dans des applications concrètes des technologies vocales. Le flux glottique désigne le débit d'air traversant les cordes vocales lors de la production de parole. Ce signal, bien que peu utilisé dans l'état de l'art, présente l'avantage de véhiculer des informations caractéristiques qui ne transparaissent pas dans la contribution liée au conduit vocal, traditionnellement utilisée dans les systèmes actuels.

Dans la première partie de cette thèse, de nouvelles techniques d'estimation du flux glottique ont été proposées. Ces méthodes ne se basent que sur le signal audio et permettent ainsi de s'affranchir de l'utilisation d'appareils peu commodes voire intrusifs, tels que le laryngographe ou la caméra endoscopique à haute vitesse. Ces algorithmes sont non-paramétriques et exploitent des propriétés de phase du signal lors du mécanisme de phonation.

La deuxième partie a montré que considérer l'information liée au flux glottique mène à des améliorations significatives dans les applications suivantes :

**Synthèse de parole :** Les voix artificielles (telles que trouvées sur votre GPS) sonnent de façon plus naturelle et intelligible. Ceci a d'ailleurs mené à un brevet en collaboration avec la spin-off Acapela.

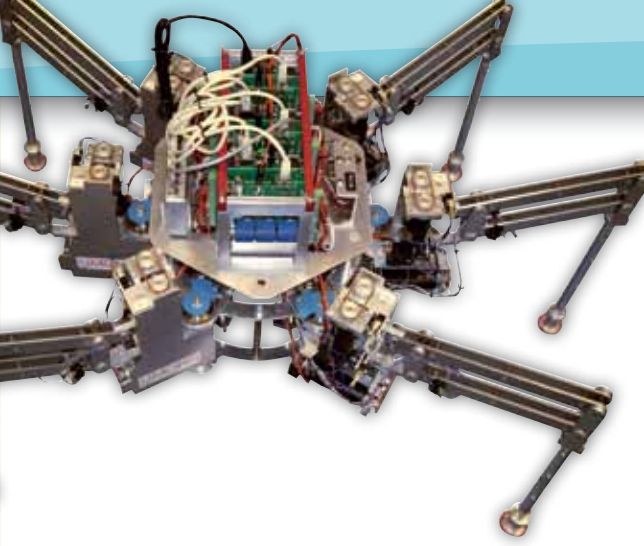
**Reconnaissance du locuteur :** A partir du signal audio, il est possible de caractériser la façon dont les cordes vocales vibrent et ainsi identifier la personne qui parle. En se basant uniquement sur le flux glottique, le système reconnaît correctement 607 personnes sur 630.

**Détection de pathologies :** Dans un but d'aide au clinicien, il est possible de mettre en exergue certains troubles de la phonation liés par exemple à des œdèmes ou nodules sur les cordes vocales.

**Analyse de voix expressive :** Nous avons quantifié les changements dans la façon dont nous utilisons notre glotte lorsque nous parlons de manière expressive.

Cette thèse a été soutenue par le FNRS. Elle a mené à un brevet, des collaborations avec l'Université de Californie (Los Angeles), l'Imperial College de Londres, le Trinity College de Dublin, et l'Université d'Izmir (Turquie). Elle a également été récompensée par un prix scientifique lors d'une conférence internationale.





## MODÉLISATION DYNAMIQUE ET CONTRÔLE D'UN ROBOT À SIX PATTES

### application au robot AMRU5

☒ Dr Quentin Bombled, Service de Mécanique rationnelle, Dynamique et Vibrations



Bien qu'ils soient étudiés depuis plus de trente ans, les robots-marcheurs sont encore considérés comme des machines de laboratoires, utilisées à des fins de recherche. Ces robots offrent théoriquement un potentiel de mobilité plus important que leurs homologues à roues, mais requièrent des algorithmes de contrôle plus complexes, qui doivent maintenir la stabilité du véhicule tout en garantissant un suivi de trajectoire optimal. La thèse réalisée contribue à l'étude de ces machines, et propose une modélisation fine du robot, suivie d'une validation complète sur un hexapode réel.

Le modèle multicorps développé est basé sur une approche aux coordonnées minimales dans lequel la gravité, les forces de contact au sol, les actionneurs et le frottement dans les articulations sont modélisés. Le frottement dans les articulations est traité avec un soin particulier, car il est responsable d'une forte dégradation des performances du robot. Le phénomène d'irréversibilité

causé par une transmission à grand rapport de réduction est très rarement modélisé dans les systèmes robotisés, et représente une première originalité de la thèse. Une méthode de Monte-Carlo est également appliquée au modèle afin d'estimer l'impact des incertitudes des paramètres de frottement sur les performances énergétiques du robot.

Un algorithme de marche de type « free gait » (marche libre) original a également été implémenté sur le robot. Ce dernier est ainsi capable de suivre une vitesse de consigne donnée dans le plan horizontal tout en s'adaptant aux irrégularités du terrain. La synchronisation des pattes est gérée de manière automatique par l'algorithme. La détection du sol, primordiale dans la marche, se fait par une mesure de courant moteur et une estimation basée sur un modèle dynamique de patte. Cette méthode augmente la robustesse de l'algorithme de marche et représente un bon complément à l'utilisation de capteurs de force situés en bout de patte.

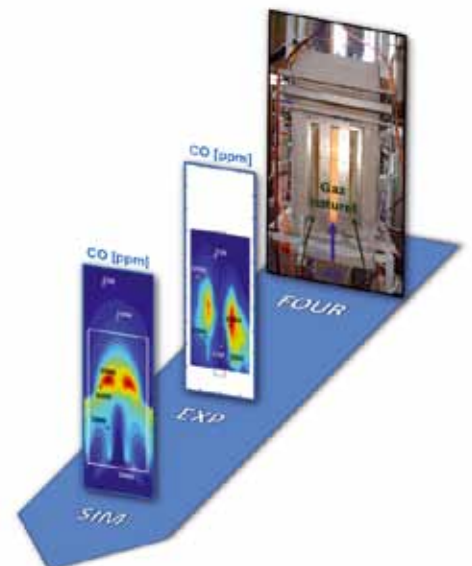
## Caractérisations expérimentale et numérique de la combustion diluée

☒ Dr Delphine Lupant, Service de Thermique et Combustion



Dans le domaine des fours industriels à haute température, tels que ceux rencontrés dans l'industrie sidérurgique ou verrière, les contraintes environnementales en matière d'émission de polluants peuvent constituer un frein à l'amélioration des performances énergétiques. La combustion diluée, aussi connue sous les appellations oxydation sans flamme ou combustion MILD, est une technique permettant de combiner l'économie d'énergie, grâce au préchauffage de l'air de combustion par les fumées, avec la réduction de l'émission de polluants atmosphériques (oxydes d'azote ou NOx). Elle est obtenue grâce à la recirculation intense des fumées au sein du four et à condition que la température du mélange réactionnel soit supérieure à sa température d'auto-inflammation. Les conditions dans lesquelles la réaction a lieu changent significativement par rapport à une flamme classique, si bien que le choix des modèles numériques jusqu'ici appliqués doit être validé en régime de combustion diluée. Dans ce contexte, le travail de thèse a permis de collecter des données expérimentales détaillées en régime de combustion diluée sur une

installation de laboratoire de 30 kW fonctionnant au gaz naturel et présentant des caractéristiques similaires aux fours industriels. La zone réactionnelle a ainsi pu être observée grâce à sa visualisation dans l'UV et caractérisée par des mesures de température et d'espèces au sein même du four. Le four a ensuite été simulé grâce au logiciel commercial ANSYS Fluent, et la validation a suivi une approche découpée. D'abord, les modèles de turbulence ont été validés indépendamment de la combustion grâce à des mesures au sein d'un mélange non réactif d'air et de CO<sub>2</sub>. Les modèles de combustion et de NOx ont ensuite été comparés aux mesures en écoulement réactif. Cette validation a permis de mettre en évidence que l'importance de la recirculation nécessite de privilégier certains types de modèles de turbulence, et que seuls les modèles de combustion incluant un calcul de cinétique chimique détaillé sont capables de reproduire les tendances observées expérimentalement du point de vue de la position de la zone réactionnelle et de la production de NOx.



## La première bourse ERC a été accordée à l'UMONS en Polytech !



☑ Dr Christophe Caucheteur, Service d'Électromagnétisme et Télécommunications  
Dr Céline Thillou, Service de l'Administration et Valorisation de la recherche.

Christophe Caucheteur, du service d'Electromagnétisme et de Télécommunications de la Polytech', a décroché, début juin, la prestigieuse bourse ERC du conseil européen de la Recherche dans la catégorie « Starting Grant ». Cette bourse, très élitiste, n'est décernée qu'à un nombre restreint de chercheurs européens et son critère d'attribution est l'excellence du porteur pour un projet de recherche exploratoire. Christophe Caucheteur bénéficiera d'une bourse de près de 1,5 M€ sur 5 ans, qu'il consacrera à la mise sur pied d'une équipe pour une recherche destinée au développement de biocapteurs chimiques sur fibres optiques plastiques pour la détection de protéines in situ.

Racontons le fabuleux périple de Christophe Caucheteur, au long parcours de chercheur FNRS :

Mais avant cela, afin de mesurer l'exploit de l'attribution de cette bourse, il convient d'expliquer exactement ce qu'est l'ERC.

L'ERC, pour Conseil Européen de la Recherche en anglais, a été créé en 2007 afin de promouvoir l'excellence de la recherche européenne. Doté de 7,5 milliards d'euros sur 7 ans, l'ERC met en avant la recherche exploratoire dans tous les domaines (sciences humaines, sciences physiques et ingénieur, et sciences de la vie) et possède deux catégories de bourse. La première sert à la mise sur pied d'équipes menées par un leader en début de carrière et la seconde permet aux chercheurs expérimentés (de plus de 10 ans) au CV hors norme d'asseoir leur rayonnement international au travers de projets extrêmement innovants.

Christophe Caucheteur a concouru au 4<sup>ème</sup> appel de la bourse ERC, dans la catégorie « Starting Grant

– sciences physiques et ingénieur » et les statistiques sont assez impressionnantes : 670 M€ ont été répartis entre 480 projets d'exception sur 21 pays d'Europe.

La Belgique se situe en 9<sup>ème</sup> position avec 19 lauréats (10 en Fédération Wallonie-Bruxelles et 9 en Flandres), toutes disciplines confondues.

Cette année le taux de réussite a encore baissé et seulement 12% des propositions ont reçu un financement ; en effet, seuls 480 projets ont été acceptés pour 4080 soumis.

Cette bourse d'un montant de 1,5 millions d'euros pour le projet PROSPER de Christophe Caucheteur lui permettra de monter une équipe de plusieurs chercheurs (4 à 5) dédiée entièrement à la recherche destinée au développement de biocapteurs chimiques sur fibres optiques plastiques pour la détection de protéines in situ. Une collaboration avec le Service de Protéomique et de Microbiologie (Prof. Ruddy Wattier) de l'UMONS se mettra alors en place pour renforcer le côté biochimique de la recherche.

### MAIS COMMENT EST NÉ CE PROJET ?

**Christophe, qu'est-ce qui t'a poussé à déposer un dossier, connaissant les critères d'attribution élitistes ?**

**CC:** Le principal instigateur de cette aventure, c'est incontestablement le Prof. Patrice Mégret (NDLR : chef du service dont est issu Christophe) qui m'a fait prendre conscience de mes chances ! Et ensuite le personnel académique du service, ainsi que celui du Service de l'Administration et Valorisation de la recherche (AVRE), qui ont tous cru en mes capacités et m'ont guidé sur le chemin de la réussite.

**Après l'euphorie de la première sélection, ouf, le projet est retenu. Il restait à passer l'oral avant de connaître la décision finale. Et seulement, 25% des projets retenus en phase 1 se voient attribuer un financement. Ainsi, peux-tu raconter ton oral d'ERC ?**

**CC:** L'oral à Bruxelles, c'était une expérience unique : on ressent l'angoisse des autres candidats dans la salle d'attente où le silence règne. Quand vient notre tour, on est appelé à se présenter. Le jury se compose d'une bonne quinzaine de personnes, toutes impassibles. Exposé de 5 minutes, questions pendant 15 minutes... Tout est parfaitement orchestré, minuté. Impossible de se prononcer quant à l'issue de l'oral tant le jury ne transmet aucun sentiment. Tout se passe vraiment très, même trop, vite ! C'est un moment inoubliable et intense !

**Afin de, peut-être, communiquer l'envie à d'autres de tenter leur chance, peux-tu décrire tes impressions en apprenant l'heureuse nouvelle ?**

**CC:** Immense joie, récompense d'une préparation minutieuse de plusieurs jours, voire de plusieurs semaines, certitude d'ouverture de nouveaux horizons tant pour la recherche personnelle que pour les activités du service.

Merci Christophe et encore félicitations au nom de l'UMONS !

### Référence :

C. Caucheteur, C. Chen, V. Voisin, P. Berini, J. Albert, 'A thin metal sheath lifts the EH to HE degeneracy in the cladding mode refractive index sensitivity of optical fiber sensors', Applied Physics Letters, vol. 99, n. 4, p. 041118, 2011



Au cours de la cérémonie des récompenses qui s'est tenue à Birmingham le 30 août 2011 lors de la 14<sup>th</sup> European Conference on Power Electronics and Applications, la EPE Gaston Maggetto Medal a été remise au Professeur Émérite Michel Crappe avec la mention « *For his carrier in the field of power electronic applications in the domain of networks and energy, for his strong support to EPE since its foundation and for his activities in SRBE (Société Royale Belge des Electriciens) and as an organiser of many conferences in France and in Belgium* ».

## LA FPMs PUBLIE

«ADVANCED FIBER OPTICS: CONCEPTS AND TECHNOLOGY»

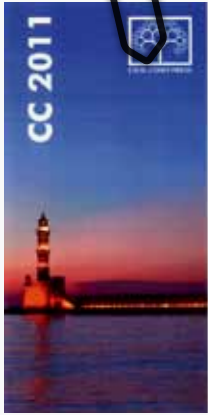
ISBN 978-2-940222-43-8 (EPFL Press)  
ISBN 978-1-4398-3517-3 (CRC Press)



La physique des fibres optiques y est pleinement abordée tout en incluant les derniers résultats de recherches. Certaines applications sont ensuite décrites: réalisation d'amplificateurs, de sources optiques et surtout, de capteurs.

Chap. 2 : « Polarization effects in optical fibers », M. Wuilpart (FPMs) et M. Tür (Tel-Aviv University), 58 pages.

Chap. 8 : « Rayleigh scattering in optical fibers and applications to distributed measurements », M. Wuilpart, 56 pages.



The Thirteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing

Chania - Crete - Greece  
6-9 September 2011

Young Researcher Best Paper Prize

Awarded to

**Georges Kouroussis**

for the paper

"Prediction of Environmental Vibrations Induced by Railway Traffic using a Three-Dimensional Dynamic Finite Element Analysis"

G. Kouroussis, L. Van Parijs, C. Conti, O. Verlinden

*(Signature)*

Professor E.H.V. Topping  
Conference Co-Chairman

*(Signature)*

Professor C. Thanasoulas  
Conference Co-Chairman

Georges Kouroussis a reçu le Young Researcher Best Paper Award de la « Thirteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing'2011 » (CC2011), qui s'est tenue à Chania (Crète, Grèce), du 6 au 9 septembre, pour son papier intitulé « Prediction of Environmental Vibrations Induced by Railway Traffic using a Three-Dimensional Dynamic Finite Element Analysis ».

Ce travail a consisté à montrer les possibilités de la méthode aux éléments finis dans la modélisation des vibrations dans le sol et à la surface de celui-ci, en tenant compte de la propagation des ondes vibratoires dans ce milieu. La principale difficulté est de définir les bonnes conditions aux limites permettant d'éviter toute réflexion numérique non attendue à la frontière. L'application présentée s'inscrivait dans la prédiction des effets dynamiques induits par le passage de trains afin de quantifier l'inconfort ressenti par les riverains. Les possibilités de la méthode sont illustrées par l'analyse structurelle d'un bâtiment-type proche de voies ferrées, en plus d'une validation avec des valeurs expérimentales issues d'essais de passage de trams sur un défaut de voie.

<http://www.civil-comp.com/conf/photo11.htm#prize>

Pour sa communication intitulée « PVSOLA: a Phase Vocoder with Synchronized OverLap-Add »,

Alexis Moinet a reçu le « Best Student Paper Award - Bronze » à la conférence DAFx 2011 (14<sup>th</sup> International Conference on Digital Audio Effects) qui se déroulait à Paris du 19 au 23 septembre 2011.

Lorsqu'on ralentit ou accélère la vitesse de lecture d'un enregistrement audio, le son obtenu est déformé : il est soit plus aigu (dans le cas d'une accélération de la vitesse de lecture), soit plus grave (dans le cas d'un ralentissement) que le son original (comme tout possesseur d'une platine vinyle le sait). Plusieurs méthodes existent pour supprimer cette distorsion, mais elles en créent de nouvelles (distorsions secondaires). Le travail présenté combine deux de ces approches, ce qui permet d'obtenir un son très proche du signal original, tout en limitant les distorsions secondaires. Des tests subjectifs ont montré qu'on obtient de meilleurs résultats que les méthodes de l'état de l'art n'utilisant qu'une des deux approches.

<http://tcts.fpms.ac.be/~moinet>



NOS ÉTUDIANTS SE DISTINGUENT

## LANCE TA BOITE : le second prix pour un étudiant Polytech

☑ Alexandra Baroni, Florence Févry et Jean Leclercqz, étudiants FPMs



« Lance ta boîte » est un concours ouvert aux étudiants qui désirent créer une nouvelle entreprise. Le principe du concours est simple : à partir du projet de l'étudiant (ou du groupe d'étudiants), le défi consiste à réaliser un business-plan qui convaincra des investisseurs confirmés. En pratique, le porteur de projet est aidé par bon nombre de professionnels (en finance, brevets, rentabilité, marchés, ...) afin que le produit fini soit le plus réaliste possible. Après une présélection, les porteurs de projet présentent leur projet devant les membres de la Maison de l'Entreprise (société organisatrice dépendant de la Région wallonne, basée notamment à Mons, dont le but est d'encadrer les « starters »). Ce n'est qu'après cette seconde sélection que les lauréats passent un séjour de trois jours afin d'approfondir leur idée et évidemment de réaliser leur business-

plan. C'est lors de ce séjour que la rencontre entre porteurs et professionnels a lieu. Une semaine plus tard, les business-plans sont ensuite examinés. Les porteurs sont auditionnés et questionnés par des financiers, des chefs de projets, des membres de la Maison de l'Entreprise ... Une ultime épreuve se déroule quelques jours plus tard devant un auditoire pour déterminer le « prix du public ».

**Cette année, trois étudiants polytechniciens ont participé et, bonne nouvelle, Jean Leclercqz, étudiant en 1<sup>ère</sup> Master Électricité, a terminé deuxième de ce concours, ce qui lui a permis d'empocher la coquette somme de 1000 €.**

# LE BASSIN DE MONS, QUELLE ÉNERGIE !

## Les dessous de la craie : ciment, eau et géothermie !

✉ Dominique Wynsberghe, coordinatrice de la cellule ApplicaSciences



En parcourant cette exposition, nous remonterons le temps pour vivre la naissance de la craie ! Nous nous familiariserons avec son milieu naturel et partirons à la découverte des richesses qu'elle renferme. Ensuite, nous attend un retour dans l'actualité : Quels produits sont composés de craie ? D'où vient l'eau que nous buvons ? Et enfin, nous nous propulserons dans un avenir que nous espérons proche et propre en faisant connaissance avec la géothermie, une énergie à creuser en Wallonie.

Cette exposition, née d'une collaboration enrichissante entre la Maison des Sciences de la Vie et de la Terre (MSVT), l'Espace Terre et Matériaux et ApplicaSciences, a pour point de départ une toute petite algue de taille microscopique appelée coccolithophoridé. Autant dire que nous sommes partis de rien !

À une époque lointaine – nommée Crétacé – la Terre connaissait un climat chaud, les dinosaures étaient rois, la région de Mons était recouverte par une mer peu profonde – la mer du Crétacé. Cette mer était chaude, l'eau était claire et le soleil brillait de mille feux... bref, les conditions idéales au développement des végétaux marins étaient réunies. Des petits coccolithophoridés se sont donc développés en quantités gigantesques.

Au cours de leur croissance, ces petites algues s'entourent progressivement d'une enveloppe calcaire appelée coccolithe. À la fin de leur vie, les algues meurent et se décomposent, mais leur squelette calcaire subsiste et se dépose au fond de la mer. Ce sont ces milliards de squelettes calcaires, formant un véritable cimetière marin, qui ont donné naissance à cette roche nommée « craie ».

Le décor est planté : nous pouvons entrer dans l'univers de la craie et de ses dessous cachés comme l'illustre le schéma de présentation ci-joint.

L'exposition offre de multiples possibilités de **visites à la carte**. Selon le souhait de l'enseignant, les guides mettront l'accent sur plusieurs thèmes : la géothermie, les (autres) énergies vertes, la fabrication du ciment, une industrie éco-responsable, la géologie du Bassin de Mons, la craie et ses applications, la craie et sa formation à l'ère du Crétacé, les fossiles de la craie ...

Cette exposition est destinée au public scolaire : **élèves du primaire et du secondaire, ainsi qu'aux enseignants**. Dans la mesure de nos disponibilités, nous accueillerons également les groupes de minimum 10 personnes (visites d'entreprises, visites familiales, ...).

Toutes les visites seront guidées et animées (expériences scientifiques, supports audiovisuels, ...).

Les animations iront de la mise en série ou en parallèle de cellules photovoltaïques, aux éoliennes, en passant par des animations sur la tectonique des plaques.



Les **réservations** (pour tous les publics) et le choix des **animations pour le primaire** sont gérés par **Madame Valérie Tourneur**, animatrice à la Maison des Sciences de la Vie et de la Terre.

Valérie Tourneur, animatrice et contact pédagogique.  
La Maison des Sciences de la Vie et de la Terre asbl  
Rue d'Empire 31-7034 Obourg  
Tel. : 065/84 40 65  
Fax : 065/84 83 74  
www.msvt.be - mail: info@msvt.be ou val.msvt@gmail.com

ApplicaSciences sera votre point de contact pour la mise au point du programme des visites pour le secondaire.

D. Wynsberghe, coordinatrice  
Université de Mons - Applicasciences (Cellule de diffusion des sciences et des techniques de la Faculté Polytechnique de Mons, avec le soutien financier de la DGO 6 du SPW)  
Dominique.Wynsberghe@umons.ac.be  
www.umons.ac.be/applicasciences  
rue de Houdain, 9 à 7000 Mons (Belgique)  
Tel. : 065/37 40 61

**Contenu scientifique développé par :**  
Jean-Marie Charlet, professeur d'université  
Yves Quinif, professeur à la FPMs – Service de géologie fondamentale et appliquée

**Comité scientifique :** Prof. Jean-Marie Charlet, Prof. Yves Quinif, Dr Sara Vandycke, Prof. Jean Marc Baele - Faculté Polytechnique – Service de géologie fondamentale et appliquée

**Graphiste :** Barbara Ledoux, Espace Terre et Matériaux

**Maquettistes :** Barbara Ledoux et Gilles Quinif, Espace Terre et Matériaux

**Adaptation des textes :** Dominique Wynsberghe

**Collections :** Collections privées, Collections du Musée d'Histoire naturelle de Lille

**Financement :** Maison des Sciences de la Vie et de la Terre, HOLCIM, UMONS Service Public de Wallonie - DGO6

# À VOS AGENDAS !

✉ Dominique Wynsberghe, coordonnatrice de la cellule ApplicaSciences

## ApplicaSciences vous donne rendez-vous !

### Judi 23 février 2012 - Etudiant d'un jour en Polytech

Journée d'immersion dans le monde des ingénieurs.

Thème : Technologies de l'information (réseaux sociaux ...)

Public : élèves à partir de la 4<sup>ème</sup> secondaire

Matinée : cours en auditoire et quiz par boitiers de vote

Après-midi : visite dans une entreprise dont les activités sont en lien avec le thème du jour.

Lieu : **Faculté Polytechnique** - 9h à 17h - Accueil à partir de 8h45 :  
Auditoire 12 – rue de Houdain, 9 à 7000 Mons

Retour : Cité Universitaire – 69 Boulevard Dolez à 7000 Mons

Inscription en ligne sur [www.umons.ac.be/applicasciences](http://www.umons.ac.be/applicasciences), rubrique « étudiant d'un jour ».

Activité gratuite mais inscription obligatoire.

En collaboration avec AGORIA, Fédération de l'Industrie Technologique

## Du 19 au 25 mars 2012

### Printemps des sciences – programme de la FPMs :

**Mardi 20 mars 2012** : Fête des sciences à la Faculté Polytechnique (public primaire (à partir de la 3<sup>ème</sup> primaire) et secondaire – sur réservation)

**Du mercredi 21 au vendredi 23 mars 2012** : Rando-sciences - visites pour le public scolaire (à partir de la 5<sup>ème</sup> primaire jusqu'à la 6<sup>ème</sup> secondaire) de sites tels qu'un parc éolien, une cimenterie...

Possibilité d'organiser le transport – places limitées !

Programme détaillé à venir.

Réservations auprès de FPMs / ApplicaSciences : Dominique Wynsberghe, 065/ 37 40 61 - [Dominique.Wynsberghe@umons.ac.be](mailto:Dominique.Wynsberghe@umons.ac.be)

**WE – 24 et 25 mars 2012** : Venez nous rendre visite, nous participons au festival scientifique pour petits et grands sur la Grand-Place de Mons (Hôtel de Ville), organisé par le Carré des Sciences qui coordonne le printemps des sciences en Hainaut.

## Stages FPMs-Jeunes :

**Du 3 au 5 avril 2012** – stages de 2 à 3 jours pour les élèves du secondaire (de la 1<sup>ère</sup> à la 6<sup>ème</sup>)

Objectif : La Polytech propose une douzaine de stages dans ses labos afin de découvrir en petit groupe les différentes facettes des sciences de l'ingénieur et de la recherche appliquée.

Catalogue à venir.

**Enseignants, n'oubliez pas nos conférences !**  
Nos chercheurs et professeurs (de la Polytech mais aussi des autres Facultés et Instituts de l'UMONS) se déplacent dans votre établissement scolaire pour présenter, à vos élèves, des exposés d'une ou deux périodes de cours sur des thématiques liées aux sciences de l'ingénieur.

Catalogue bientôt en ligne



UMONS  
Université de Mons

L'Espace Terre & Matériaux  
de la Faculté Polytechnique  
présente

du 04 mars au 26 juin 2011



Illustrations: B. Clarys

**EXPOSITION**

**DU MAMMOUTH À L'AGRICULTURE**  
L'Homme préhistorique dans son environnement

Exposition prolongée pour les établissements scolaires  
du **20 septembre** au **18 novembre 2011**,  
du **lundi** au **vendredi**.  
**Uniquement sur rendez-vous**





POLYTECH  
MONS



espace  
TERRE & MATÉRIAUX

Rue de Houdain 9 - 7000 Mons  
TEL : +32 (0)65 37 46 02 Fax : +32 (0)65 37 46 10  
ap@umons.ac.be  
[www.umons.ac.be](http://www.umons.ac.be)



AGORIA



FPMs

# PHOTO-REPORTAGES

☒ Giancarlo Zidda, Unité Audiovisuelle

## Polytech Mons Day (22/10/2011)



## Mise à l'honneur des Professeurs Marc Delhaye, Guy Guerlement et Marcel Rémy (31 août 2011)



## Réception de la Ducasse de Mons 2011



## PROCLAMATION DE LA PROMOTION 2010-2011



**VOUS SOUHAITEZ...**

**PARTICIPEZ À...**

**Participer à un stage**

**ÉTUDIANT D'UN JOUR EN POLYTECH 2012**

■ **Carnaval 2012 – Jeudi 23 février 2012**

Thème abordé : Social Network

**STAGES FPMs – JEUNES 2012**

■ **Pâques 2012 – du 3 au 5 avril 2012**

Stages et journées proposés dans les différents domaines des sciences de l'ingénieur

**Visiter une exposition**

**LE BASSIN DE MONS, QUELLE ÉNERGIE !**

**LES DESSOUS DE LA CRAIE: CIMENT, EAU ET GÉOTHERMIE**

Exposition permanente au Jardin géologique d'Obourg - Visites guidées pour les groupes scolaires par des professeurs et des ingénieurs de la Faculté Polytechnique

**Vous informer sur les études et l'examen d'admission**

**JOURNÉES PORTES OUVERTES 2012 DE L'UMONS**

**À Mons:**

■ **Mercredi 8 février de 9 à 17h** : visites de laboratoires et services (quatre campus: Archi, Polytech, Sciences, Warocqué)

■ **Samedi 17 mars de 9 à 12h30** : visites de laboratoires et services (quatre campus)

■ **Samedi 5 mai de 9 à 12h30** : matinée d'informations (quatre campus)

*Pour la Polytech, matinée spéciale sur les études et les métiers de l'ingénieur civil (parcours et témoignages de jeunes ingénieurs diplômés)*

■ **Samedi 25 juin de 9 à 12h30** : matinée spéciale Inscriptions (dernière limite pour l'examen d'admission)

**À Charleroi (38-40 bd Joseph II):**

■ **Mercredi 9 mai de 14 à 18h** : après-midi d'informations Futurs Etudiants

*La Polytech organise la 1<sup>ère</sup> année de bachelier Ingénieur civil à Charleroi*

**Également à l'UMONS**

**PARTICIPATION DE L'UMONS AUX SALONS SUR LES ÉTUDES:**

■ Salon SIEP de Charleroi : **3 et 4 février 2012**

■ Salon de Lille : **du 13 au 15 janvier 2012**

■ Salon SIEP de Namur : **10 et 11 février 2012**

■ Salon SIEP de Tournai : **2 et 3 mars 2012**

■ Salon SIEP de Liège : **du 8 au 10 mars 2012**

■ Salon SIEP de La Louvière : **20 et 21 avril 2012**

**Faire le plein des sciences**

**PRINTEMPS DES SCIENCES 2012 À L'UMONS**

**À Mons, du samedi 19 au dimanche 25 mars** à l'Hôtel de Ville de la Grand-Place de Mons - Festival scientifique pour petits et grands

**À la Polytech:**

■ **Mardi 20 mars** : « Sciences en fêtes, faites des sciences » - Expérimenter les sciences de l'ingénieur.

■ **Du 21 au 23 mars** : « Rando-sciences » - Excursions scientifiques thématiques dans l'industrie»

**Des stages rhétos et journées découverte entreprise sont organisés sur simple demande**

<http://www.umons.ac.be/polytech>

Pour toute information complémentaire à l'une de ces activités, nous vous invitons à contacter la Cellule de Diffusion des Sciences de la Polytech par mail ([applicasciences@umons.ac.be](mailto:applicasciences@umons.ac.be)).

