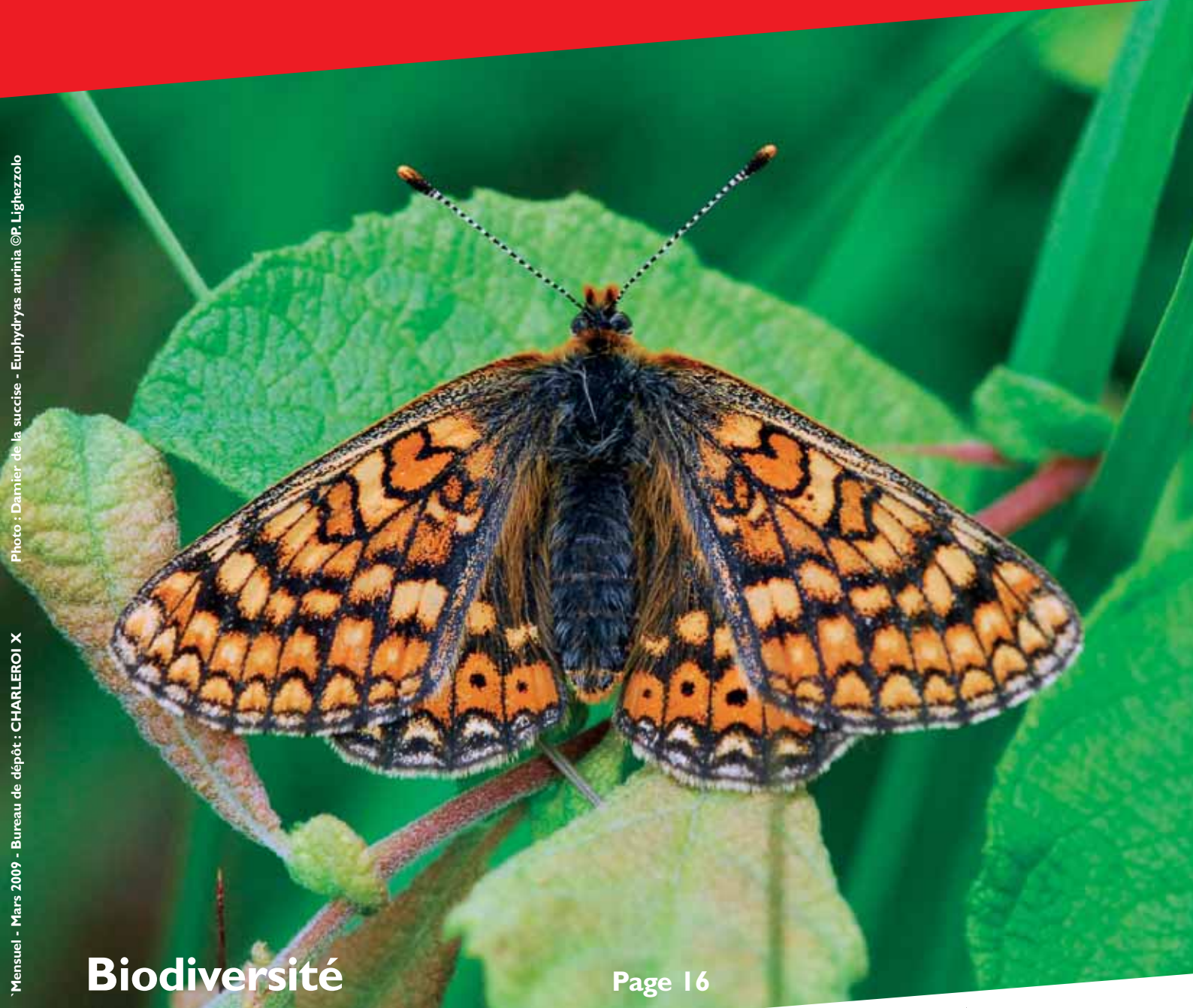




Le Journal des Ingénieurs

Belgique - België
PP.
CHARLEROI X
BC 1781

Mensuel - Mars 2009 - Bureau de dépôt : CHARLEROI X
Photo : Damier de la succise - Euphydryas aurinia ©P. Lighezzolo



Biodiversité

Page 16

**Biomatériaux
Chimie**

Page 4

Page 10

**Assemblée Générale FABI 2009
Samedi 25 avril 2009 à 9h00 à Mons**



Dans notre supplément gratuit :



Vos communications, events
& news, infos techniques et
commerciales & high level jobs



less energy more efficiency

Effective solutions for efficient business



VBO | **FEB**
Verbond van
Belgische
Ondernemingen | Fédération des
Entreprises de
Belgique

22.04.09 VBO FORUM FEB
BRUSSELS EXPO

www.energyefficiency.be

MAIN PARTNERS

BASF
The Chemical Company

Electrabel
GDF SUEZ

alpro
soya

umicore
materials for a better life

Coca-Cola

delta lloyd

colruytgroup

MWH

DERBIGUM
MAKING BUILDINGS SMART

MEDIA PARTNERS

Soyez de ceux
qui comptent. | **LEcho**
www.lesho.be

Tel mee. | **DE TIJD**
www.tijd.be

FORWARD
the energy magazine FEB

energymag
the energy magazine magazine

WITH THE GREEN SUPPORT OF

**GEERS
OFFSET**

CLIMACT



FSC certified Green Printer

Avec le soutien du Comité des Ingénieurs Belges // Met de steun van het Belgisch Ingenieurscomité

Le Journal des Ingénieurs

Mensuel N° 119
Mars 2009



Rue Hobbema 2 - 1000 Bruxelles
Tél. 02 734 75 10 - Fax 02 734 53 15
info@fabi.be - www.fabi.be

ÉDITEUR

Ir. Maximilien Le Begge

Tous droits réservés. Reproduction et diffusion interdite par quel que moyen que ce soit, sans autorisation préalable écrite de l'éditeur. Les textes et illustrations sont publiés sous la responsabilité de leur auteur.

COMITÉ DE RÉDACTION

Ir. Maximilien Le Begge

(rédacteur en chef)
Pascal-Pierre Delizée
(secrétaire de rédaction)

Marie Montes
(coordination)

RÉDACTION

Philippe Crêteur
Pascal Delizée
Ir. Olgan Durieux
Ir. Vincent Gobbe
Ir. Jean Lambelé
Ir. Christian Legrand
Ir. Régine Merz
Ir. Alison Vincent

AVEC LA COLLABORATION DE :

Ir. Fabienne Monfort-Windels
Dr Ir. François Collignon
Ir. Hervé Pirard

Tirage : 10 000 ex.

Distribution : personnalisée

Édition : mensuelle,
sauf janvier, juillet et août

Format : 210 x 297 mm full quadri



Edition & Communication

PRODUCTION

**MARKETING - PUBLICITE
ABONNEMENTS SOCIÉTÉ**

Abonnement 9 N° par an :
50€ HTVA

Contact : Lydia De Lutis

DEADLINE POUR MATERIEL PUBLICITAIRE :

le 15 de chaque mois précédant la date d'édition
Route de Mons 27e - 6000 Charleroi
Tél. +32 71 31 50 00
Fax +32 71 32 74 19
mkt@delta7.be



Après un hiver rigoureux auquel nous n'étions plus habitués, voici que le printemps est à nos portes. Que le soleil vienne chasser tous les nuages accumulés ces derniers mois et nous donne le courage et l'enthousiasme nécessaires pour aborder et résoudre les problèmes de l'année 2009 !

Si toutes les crises que nous venons de connaître sont à déplorer, elles ont le mérite de nous obliger à réagir, à trouver de nouvelles solutions, à changer de comportement.

Il est réconfortant de voir évoluer les discours dans le domaine de l'énergie et tout particulièrement dans celui de l'électricité. La publicité faite par le forum nucléaire a le mérite de poser la problématique du nucléaire de façon objective qui tranche avec les positions purement idéologiques de certains. Certes cette campagne est lancée par le forum nucléaire qui regroupe entre autres les producteurs

d'électricité et fabricants de matériel nucléaire ; elle sera donc critiquée et jugée non objective par les opposants à cette technologie. Le mérite d'une telle campagne est de poser les questions que beaucoup se posent et de donner des éléments de réponse qui peuvent éclairer le lecteur afin de se forger une opinion sur la valeur de cette énergie. Ceci ne doit pas empêcher la recherche de sources d'énergie alternatives, recherche qui doit être encouragée et subsidiée. Lors de leur promotion, il faudra également avoir l'honnêteté d'en faire connaître les avantages et les inconvénients. Leur coût réel, hors subsides, doit être connu à une époque où la protection du pouvoir d'achat semble être une priorité pour nos gouvernants et pour la majorité d'entre nous.

Le débat et la confrontation des idées est une bonne chose dans une saine démocratie, mais le temps des décisions est venu si nous voulons assurer un avenir à nos enfants et petits-enfants.

Ir. Charles Médart, Président

Sommaire

Édito	P. 3
Biomatériaux	P. 4
Polymères : bioplastiques oui, ressources alimentaires non	
Assemblée Générale	P. 9
Chimie	P. 10
Le Sol-Gel : La chimie douce au service de l'innovation technologique	
Biodiversité	P. 16
Projet Life Natura2mil : quand la Défense se met au service de la biodiversité !	



Dans notre supplément «Ingénieurs Magazine»

Vos communications, events & news, infos techniques et commerciales & high level jobs
Ingénieurs, universités, hautes écoles, associations : contactez imag@delta7.be

Membres de la FABI :



www.airbr.be



www.aimontefiore.org



ag.ovl@ovl.kviv.be



www.aims.fpms.ac.be



www.ailg.be



www.aia.rma.ac.be



www.ailv.ucl.ac.be



www.aigx.be



www.aialv.be

Polymères : bioplastiques oui, ressources alimentaires non

Par Ir. Fabienne Monfort-Windels

S'il est impossible d'imaginer un monde sans plastique, ces matériaux ne sont pas sans soulever des questions dans un contexte de développement durable, essentiellement au regard de leur origine – ils sont pour la plupart issus de ressources pétrolières, donc non renouvelables – ou à cause des déchets de post-consommation qu'ils génèrent.

De nombreux scientifiques et industriels sont à la recherche de matériaux biodégradables pour résoudre le problème des déchets, d'une part, et de matières issues de ressources naturelles renouvelables, d'autre part.

La grande majorité des bioplastiques commercialisés aujourd'hui sont à base d'acide polylactique (PLA) issu de la fermentation des sucres ou de l'amidon de maïs.

Mais, comme on l'a constaté pour les biocarburants, les bioplastiques pourraient entrer en compétition avec la production alimentaire pour l'homme ou l'animal ou avec les productions industrielles classiques. D'où le développement d'une seconde génération de bioplastiques issus d'autres sources renouvelables ou de déchets industriels.

Les plastiques peuvent être eux-mêmes issus de ressources renouvelables non alimentaires, ou renforcés de fibres naturelles.

Des manches de tournevis en nitrate de cellulose ©Rotuba



Partie I : Les résines

Les dérivés de la cellulose

Les premiers plastiques étaient issus de la transformation chimique de matières naturelles d'origine végétale comme le caoutchouc ou la cellulose, ou d'origine animale comme la caséine du lait. La cellulose, composant structurel de tous les végétaux – coton, jute, chanvre, lin, bois – est depuis longtemps une matière de choix. Le cellulose, par exemple, a été développé par J.M. Hyatt par plastification de la nitrocellulose par du camphre pour remplacer l'ivoire des billes de billard.

La cellophane, hydrate de cellulose, est toujours utilisée aujourd'hui sous forme de films dans l'emballage alimentaire. Elle possède des propriétés de barrière aux micro-organismes, aux gaz, aux odeurs. Elle est perméable à l'eau, facile à imprimer et à coller.

Synthétisé en 1865, l'acétate de cellulose a été commercialisé sous les noms de rayonne, soie artificielle, viscose... Il a été utilisé comme pellicule de film, dans des montures de lunettes et dans divers objets comme des jouets ou des ornements.

Les esters de cellulose tels que CA (acétate de cellulose), CAB (butyrate acétate de cellulose) et CP (propionate de cellulose) sont toujours utilisés à l'heure actuelle car ils peuvent répondre à une demande de matières biodégradables pour des produits plus durables que l'emballage : automobile, électronique, construction, mobilier... La firme allemande FKUR, par exemple, développe des plastiques injectables issus jusqu'à 100 % du bois des forêts européennes. L'américain Rotuba, spécialisé dans les acétates de cellulose, vient de développer un nouveau grade, Naturacell, issu de la cellulose du coton et du bois.

Bioceta est également un diacétate de cellulose fabriqué à partir de liner de coton et de pulpe de bois. Ses applications sont des emballages, des pots de fleurs, des brosses, des brosses à dents... Les propriétés de ces matériaux sont comparables à celles du polystyrène. Ils sont très rigides, résistants à la rayure et à l'impact, transparents, brillants.

La lignine

À côté de la cellulose, la lignine est l'autre constituant principal du bois et des tiges ligneuses. Elle est le plus souvent exploitée à partir des sous-produits de l'industrie du papier. La firme allemande Tecnaro commercialise Arboform, un matériau biodégradable à base de lignine et de fibres naturelles (lin, chanvre...). Elle se met en œuvre comme un plastique mais présente les mêmes propriétés que le bois. Les marchés visés sont les tableaux de bord de voiture, les boîtiers d'ordinateur ou de télévision, les GSM...



Arboform, une matière injectable à base de lignine

Toyota a développé pour un concept car présenté en 2007 des bioplastiques issus de la lignine provenant de fibres de kenaf. Ils ont été renforcés de fibres de ramie. Ils ont été choisis pour des éléments comme le capot ou le toit car leur rigidité est semblable à celle de l'aluminium.

Les dérivés cellulosiques de la biomasse

Au lieu d'utiliser des ressources forestières, il est possible de mettre à profit des déchets industriels. Ainsi, par exemple, l'Institut Scion en Nouvelle-Zélande applique un traitement microbien aux déchets liquides issus des industries du bois et de la pâte à papier pour fabriquer le bioplastique PHA (polyhydroxyalcanoate). Les travaux en sont au stade pilote.



Les déchets de l'industrie du bois, une source de matière pour les bioplastiques

Mazda Motor Corp. vient de lancer avec l'Université d'Hiroshima un projet de production de bioplastique à partir de déchets de paille de riz et de bois, projet qui devrait aboutir à des pièces automobiles dès 2013. Le procédé consiste à dériver de l'éthanol à partir de la biomasse puis de la transformer en mélange d'éthylène et de propylène et enfin de produire un polyéthylène suffisamment résistant en température, solide et durable pour fabriquer des planches de bord ou des pare-chocs.

Les autres déchets industriels

D'autres déchets peuvent nourrir des souches bactériennes qui synthétisent du PHA. À l'Université de Graz, en Autriche, par

exemple, les fermenteurs traitent du petit lait, des farines animales ou des déchets d'abattoir. En Nouvelle-Zélande, les résidus de fruits et autres sont donnés au bétail ou jetés car trop abondants : ils deviennent sources de PHA. La firme brésilienne Braskem mène des travaux pour produire du bio-PP à partir de la fermentation de feuilles et déchets de cannes à sucre. Le projet en est au stade pilote et des partenariats ont été signés avec des entreprises dans l'emballage alimentaire, l'hygiène et l'automobile.

La firme Metabolix est un des leaders de la production de PHA par fermentation bactérienne de sucre. Depuis quelques années, elle étudie la possibilité de produire directement à partir de déchets de plantes énergétiques comme le panic érigé. Cette herbe des prairies est naturellement abondante et peut pousser dans une large gamme d'environnements. Sa croissance dense, ses moissons multiples, ses conditions de croissance flexibles en font une source intéressante de bio-fuel (éthanol cellulosique). La coproduction de bioplastique est une clé du succès économique de son exploitation.

Les huiles végétales

Le Rilsan est un polymère de la famille des polyamides (PA-11) synthétisé par Arkema à partir d'huile végétale obtenue à partir des graines de ricin. Ce matériau offre un équilibre entre propriétés thermiques, mécaniques, et chimiques. On en fait, par exemple, des composants de chaussure.

Formax Quimiplan produit, elle, des éléments de chaussure en polyuréthane thermoplastique à partir de graines de ricin mais aussi de soja ou de tournesol. L'application est exigeante : les contreforts et les pointes sont essentiels au maintien de la forme et au confort du pied.

Les protéines animales

Les ressources renouvelables végétales font l'objet de nombreux travaux, mais les ressources animales offrent elles aussi des possibilités. Le sang, par exemple, ne convient pas pour l'alimentation humaine et est utilisé comme complément alimentaire bon marché pour les animaux. Pourtant, avec plus de 80 % de protéines, qui sont des biopolymères naturels, il est prometteur : des chercheurs ont mis au point des plastiques à partir des déchets d'abattoirs. Les marchés visés ne sont pas dans l'emballage alimentaire, mais plutôt celui des films agricoles, des pots d'horticulture, des articles comme les tees de golf. Une start-up néozélandaise, Novatein, est chargée de la commercialisation du matériau.

La chitine est un polysaccharide présent dans la cuticule de nombreux insectes (comme les scarabées) et dans certains champignons. Mais elle est extraite essentiellement des



Production de PHA par fermentation bactérienne © Metabolix



Ricin



Rilsan ©Arkema



Les carapaces de crustacés à l'origine de la chitine

carapaces de crustacés dans lesquelles sa concentration est très forte. La chitine a une structure chimique relativement similaire à celle de la cellulose. Cette matière et ses dérivés (chitosan) peuvent être filés pour fabriquer tissus et non tissés ; ils peuvent aussi être extrudés sous forme de films pour des applications en emballage.

Partie II : Les fibres

Les fibres naturelles rencontrent un intérêt de plus en plus important dans les polymères. Elles sont quasi toutes issues de ressources renouvelables et sont pour la plupart (sauf les fibres de bois) à croissance rapide. De nombreuses espèces sont cultivables dans nos régions et peuvent constituer une diversification intéressante pour les agriculteurs. Enfin, leur production représente une économie d'énergie par rapport à celle des fibres de verre ou de carbone classiques ; elle génère peu ou pas d'effluents nocifs.

Le coton apporte aux composites un haut pouvoir d'isolation acoustique



Les plastiques qui contiennent des fibres naturelles sont des thermoplastiques classiques mais on voit également apparaître des matrices biodégradables, comme le PLA (acide polylactique), ou les résines à base de soja : le marché de ces résines devrait exploser dans les dix prochaines années.

L'industrie la plus utilisatrice de composites à fibres naturelles, toutes techniques et toutes matrices confondues, est l'industrie automobile : garnitures de portes, plages arrière, tableaux de bord, planchers de chargement. Longtemps limitées aux pièces intérieures, les applications se développent aujourd'hui sous le capot. BMW par exemple intègre une grande quantité de matériaux renouvelables dans ses véhicules. Chaque BMW Série 7 en contient 24 kg. On peut citer des panneaux et intérieurs de portière en sisal et en lin, des éléments d'insonorisation en coton, de la laine dans les garnissages et des fibres de bois dans les dossiers de sièges. DaimlerChrysler utilise également depuis quelques années des fibres comme le chanvre, le lin, le sisal, la noix de coco pour des composants intérieurs.

La construction consomme de plus en plus de WPC (*wood/polymer composites*). Le sport et le jouet sont de plus en plus intéressés et de nombreuses autres applications se développent également : pots de fleurs, articles de bureau, pales de ventilateurs, fauteuils de jardin, palettes...

Les fibres végétales, constituées essentiellement de cellulose ainsi que de lignine sont très diversifiées du point de vue de leur origine, de leur composition chimique, de leur structure physique, des traitements appliqués et de leur prix. Elles peuvent provenir de pailles de maïs, de riz ou de blé, d'herbes telles que le bambou ou le miscanthus, de fibres libériennes comme le lin, le chanvre, le kénaf, de feuilles comme le sisal, le bananier

ou l'ananas, de graines de coton ou de kapok, de fruits comme la noix de coco et enfin de fibres de bois.

Le choix des fibres se fera sur base de critères techniques mais surtout en fonction de la proximité géographique de leur culture par rapport à la fabrication des composites : en Inde et Asie, les fibres de choix seront le jute, le ramie et le kénaf, en Europe le lin ou le chanvre, en Amérique du Sud le ramie et le sisal, etc.

Les fibres issues de graines

Des déchets de coton intégrés dans une résine thermosable forment le plancher de la Mercedes Classe A ainsi que différentes pièces de camions.

Les fibres libériennes autour de la tige de plantes comme le lin, le chanvre, le kénaf, le jute, le ramie ou le bananier

Ces fibres se caractérisent par une bonne résistance mécanique. De nombreux constructeurs automobiles utilisent des panneaux de polyoléfines renforcés de chanvre ou de lin pour des pièces intérieures d'habitacle et de coffre, des pièces extérieures comme des supports de pare-chocs, ou des éléments du compartiment moteur. Ces matières représenteraient à l'heure actuelle 3 à 5 kg dans les véhicules.



Chènevotte (chanvre) ©P.Vandendael

Le kénaf est une plante annuelle à croissance rapide qui pousse dans les zones tropicales humides mais qui est également cultivée dans le sud de l'Europe et dans la Cotton Belt aux USA. Les fibres sont utilisées pour la fabrication de cordes, de géotextiles, de panneaux de particules. La Toyota Raum, sortie en 2003, est équipée d'un panneau de protection de roue de secours en PLA renforcé de kénaf.

La firme américaine Integrated Composite Technologies fabrique également des panneaux et pièces moulées renforcés de cette fibre.

Chez General Motors, un mélange de kénaf et de lin est utilisé dans les panneaux de portes des Opel Vectra et les fibres de bois sont adoptées dans les dossiers de la Cadillac DeVille et dans les planchers de chargement du GMC Envoy et du Chevrolet TrailBlazer.

Des résines biodégradables renforcées de lin, de chanvre ou de ramie sont développées par la Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR). Les matériaux à base de ramie ou de lin atteignent 50 % de la rigidité des plastiques renforcés de fibres de verre et ceux qui sont renforcés de chanvre arrivent à 100 %. Les applications envisagées, hors automobile, se situent dans le secteur de la construction ferroviaire, dans l'industrie du meuble et dans celle des loisirs.

Pour des applications en électronique, NEC Corp. a développé un bioplastique plus résistant en température et plus rigide que les matériaux biodégradables traditionnels en renforçant des PLA par des fibres de kénaf.

La firme Camira Fabrics développe des textiles à partir d'orties, plantes à croissance rapide, qui ne nécessitent ni pesticides ni herbicides et qui poussent dans des terrains souvent inutilisables pour d'autres cultures.

DaimlerChrysler a mis au point un PP renforcé de fibres naturelles pour le panneau de la roue de secours de la Mercedes Classe A. La fibre choisie est l'abaca, issue d'un bananier et qui se caractérise par une grande résistance en traction et une élasticité élevée. Ces fibres (appelées aussi chanvre de Manille) sont traditionnellement utilisées dans la fabrication de cordages. La plante arrive très vite à maturité en 18 à 24 mois et produit 600 à 1 300 kg/ha.

Les fibres du même bananier, associées au chanvre et à un liant, font un matériau idéal pour des pistes de skateboard durables (Skatelite). La firme Lamin-Art produit sous pression des mélaminés décoratifs pour les aménagements intérieurs de magasins et autres.

Pailles de maïs, de riz ou de blé, tiges herbacées comme le bambou ou le miscanthus

Le bambou est une plante à croissance extrêmement rapide. Il atteint sa hauteur en 3 à 4 ans ; il pousse dans un grand nombre d'environnements et en particulier au Japon, en Chine, en Asie du S-E.

Mitsubishi développe des PBS (polybutylène succinates), obtenus par fermentation du sucre issu de la canne à sucre ou du maïs, renforcés de fibres de bambou qui apportent au matériau sa rigidité.

La firme Transmare Compounding située aux Pays-Bas a lancé fin 2008 une nouvelle gamme de produits renforcés de fibres végétales. Le matériau phare est un composite à matrice PLA chargé de 30 % de fibres de bambou. Les fractions végétales peuvent aller de la fibre longue à la poudre. Elles sont résistantes, légères, durables et ne reprennent pas d'humidité.



Textile obtenu à partir d'orties © P.Vandendael



Fibres de bananier



Non-tissé de fibres de bananier © P.Vandendael



Bambous

Les nouveaux compounds peuvent être mis en œuvre par injection, extrusion, compression comme les composites classiques. Les applications sont elles aussi similaires (téléphonie, bureautique, automobile...)

L'herbe à éléphant, *Miscanthus*, rencontre un succès grandissant. C'est une herbe vivace qui atteint un développement de 3 m. L'Université de Warwick étudie son utilisation comme renfort dans une résine biodégradable, le Biopol.

Feuilles de sisal, d'agave ou d'ananas

Des chercheurs japonais ont mis au point un plastique renforcé de fibres d'agave, plante mexicaine multiusage. Ces fibres coûtent le quart ou le cinquième des fibres de verre. La matrice est un polyester qui se dégrade lentement dans le sol (10 ans).

Fibres de coco

Les fibres de coco sont utilisées pour le renforcement de composites dans les corps de motos en Inde, dans des boîtes aux lettres, dans des pièces de camion et des panneaux de particules.

Une équipe de chercheurs de l'Université de Baylor s'est spécialisée dans l'identification de produits pour valoriser les déchets de coco disponibles dans des régions côtières proches de l'Équateur. Une des voies est l'utilisation de ces fibres dans les pièces intérieures d'automobile. Cette solution est étudiée avec Waco, un fournisseur de non-tissés pour le secteur des transports.

Ces déchets sont disponibles en abondance et pour un prix très faible. Une introduction sur le marché pourrait rapidement augmenter les revenus des agriculteurs pauvres des régions concernées.

Fibres de bois

D'une part, les grandes forêts s'épuisent, et d'autre part la consommation de bois aug-

mente avec l'industrialisation de pays comme la Chine, l'Inde, le Brésil et l'augmentation du niveau de vie en Europe de l'Est. Le bois disponible ne sera pas suffisant pour satisfaire cette demande. Pourtant, les consommateurs demandent de plus en plus des matériaux naturels.

Dans un arbre, la moitié de la matière seulement est transformée en planches. Le reste est brûlé ou utilisé dans les panneaux de particules, les litières pour animaux ou le mulch agricole. Mais en pratique, beaucoup de déchets peuvent être exploités en combinaison avec des polymères pour former des composites qui résistent 20 ans à l'extérieur, sont recyclables et peuvent être brûlés pour récupérer de l'énergie.

Ceci explique que le marché des composites bois/polymères (WPC) est en forte croissance. Les WPC contiennent un fort pourcentage de bois et peuvent remplacer ce matériau, avec une durabilité à l'extérieur semblable à celle des plastiques et avec des frais de maintenance très réduits.

Dans le passé, les fibres de bois étaient utilisées comme charges à bas coût sous forme de farine, le broyage ayant détruit tout leur potentiel de renforcement. Aujourd'hui, on les utilise sous forme de fibres plus longues.

En fait de matrice, le polymère le plus utilisé en Europe est le PP vierge alors que c'est le PE, souvent recyclé, qui représente la plus grande part du marché mondial.

La situation en Europe est différente de celle des États-Unis : les applications y démarrent plus lentement. Une trentaine d'entreprises s'y partagent le marché : Tech-Wood, PPT, Polyplank, Kosche, Deceuninck, Fasalex, Pallmann, GOR... Aux États-Unis, les applications vont des tables de pique-nique aux sols industriels en passant par les planchers et bardages. En Europe, 50 % des WPC sont destinés à l'automobile, où ils sont en concurrence avec d'autres fibres naturelles.

Les avantages

Les fibres naturelles ont aujourd'hui le vent en poupe car elles véhiculent une image positive de ressource renouvelable et proposent une esthétique séduisante. Par rapport aux fibres de verre classiquement utilisées pour



Agaves



Ir. Fabienne Monfort-Windels

Fabienne Monfort-Windels est responsable de l'information, de la veille technologique et de la Cellule Brevets chez SIRRIS. SIRRIS est le nouveau nom du CRIF-WTCM, le centre collectif de recherche et d'innovation de l'industrie technologique belge. Depuis sa fondation en 1949, le Centre a pour objectif d'aider les entreprises à accroître leur compétitivité par l'innovation. Il assume quelque 5 000 missions par an, dans plus de 2 000 entreprises dont les 90 % sont des PME.

renforcer les matières plastiques, elles présentent des avantages techniques.

Les fibres naturelles comme le lin et le chanvre ont une densité de 1,5 g/cm³, et sont donc 40 % plus légères que les fibres de verre, ce qui représente 10 à 20 % de poids en moins dans un composite. Elles permettent de fabriquer des matériaux à capacité d'absorption élevée, notamment pour l'isolation phonique.

Contrairement aux fibres de verre, les fibres naturelles sont faiblement abrasives, ce qui diminue l'endommagement des outils de mise en œuvre et augmente leur longévité. Elles sont plus souples et le risque de rupture au moulage est faible. D'autre part, leur manipulation ne provoque pas d'irritation de la peau ou des voies respiratoires.

Elles sont peu endommagées en cas de recyclage, ce qui n'est pas le cas des fibres de verre. En cas d'incinération, elles laissent moins d'imbrûlés. Elles sont biodégradables.

Leur prix, relativement bas par rapport aux fibres de verre, est stable.

Par contre, les fibres naturelles posent des problèmes de constance de qualité et parfois de vieillissement. Elles sont

sensibles à l'humidité, aux hautes températures et aux UV.

Les travaux en cours partout dans le monde consistent à mettre au point des traitements pour réduire ces inconvénients sans toucher aux avantages des fibres naturelles.

Conclusion

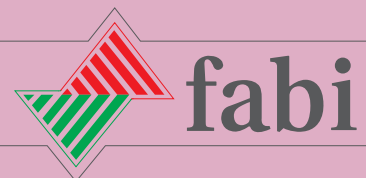
Aujourd'hui, l'argument du développement durable est encore un facteur mineur dans la sélection des matériaux. Le futur des composites renforcés de fibres naturelles dépendra essentiellement des questions de coûts des matières, de poids des composants et de facilité de mise en œuvre par des techniques bien établies. Les fibres naturelles et les matrices biopolymères pourraient gagner en importance notamment parce que leur disponibilité augmente et que leur mise en œuvre progresse. Les exigences légales relatives à l'environnement, notamment à la limitation des émissions de CO₂ poussent dans le même sens.

Les filières doivent encore trouver un rythme industriel de manière à garantir un approvisionnement régulier, tant en qualité qu'en quantité.



Assemblée Générale

Samedi 25 avril 2009 à 9h00



ORDRE DU JOUR

1^{ère} partie : Assemblée Statutaire

- 09h00 – Accueil des participants
- 09h15 – Rapport d'activité de l'exercice 2008
Approbation des comptes de l'exercice 2008
et décharge aux Administrateurs
Approbation du Budget 2009
Fixation de la cotisation 2010
Élections statutaires
- 10h15 – Pause-café

2^e partie : Séance Académique

- 10h45 – Monsieur Ir. Jean-Pol Poncelet, ancien Ministre, Senior Vice-President AREVA, Sustainable Development and Continuous Improvement nous entretiendra sur le thème :
**Climat, Développement, Énergie :
quelles convergences ?**
- Question time
- 12h00 – Cocktail apéritif

BULLETIN D'INSCRIPTION à l'Assemblée Générale FABI 2009

Faculté Polytechnique de Mons - Salle Académique (1^{er} étage) - Boulevard Dolez 31 - 7000 Mons

Par e-mail : fabi@fabi.be, par fax : 02 734 53 15 - Par courrier à la FABI - Rue Hobbema 2 - 1000 Bruxelles

Nom et Prénom : AE :

Société :

Adresse :

Tél. : Fax : E-mail :

assistera

Date :

sera accompagné(e) de personne(s)

n'assistera pas

Signature :

Le Sol-Gel : la chimie douce au service de l'innovation technologique

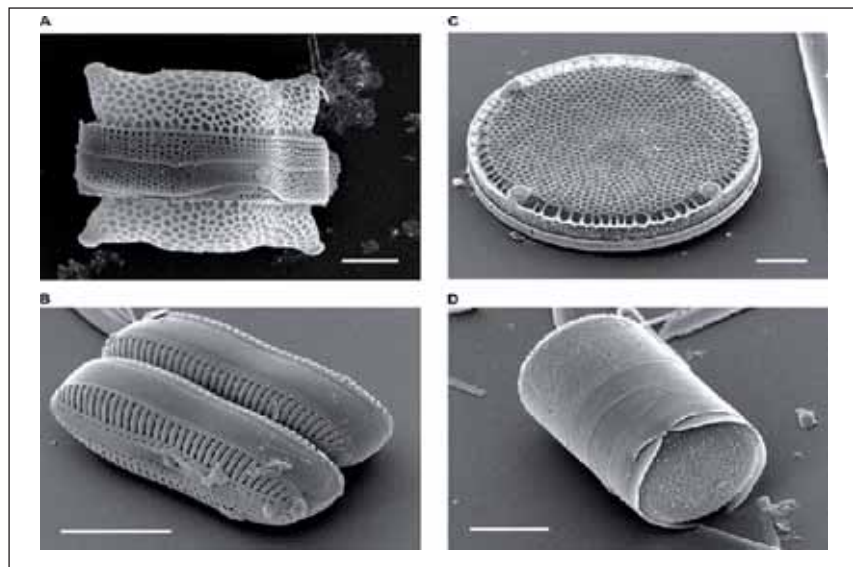
Par Dr Ir. François Collignon

Contrairement aux procédés industriels de fabrication des verres ou des céramiques, nécessitant de très hautes températures et des réactifs solides, la nature a, depuis des centaines de millions d'années, créé de tels matériaux dans des conditions beaucoup plus douces. Par exemple, les diatomées élaborent de fines architectures de verre à partir de la silice dissoute dans les océans sans passer par des étapes de fusion¹. Les diatomées sont des algues unicellulaires de 2 μm à 1 mm qui présentent un squelette externe en silice. La photo 1 illustre quelques architectures possibles synthétisées par ces diatomées.

Ces processus de « biominéralisation » font intervenir des réactions chimiques connues depuis le XVII^e siècle² et appelées plus tard polymérisation « sol-gel »³.

Cette chimie du « sol-gel » permet de construire un réseau solide inorganique, par exemple de silice, à partir de réactifs en solution.

Photo 1 : Les diatomées sont des microalgues de 2 μm à 1 mm et présentent un squelette inorganique externe



Les procédés Sol-Gel ou procédés de « chimie douce », permettent de réaliser des objets de petite dimension tels que des films (appelés « coating » dans le jargon), des fibres, des particules, voire des monolithes de quelques centimètres (photo 2).

En d'autres mots, on peut obtenir de petits matériaux sans nécessairement passer par une étape de fusion. Cette méthode ancestrale de polymérisation inorganique est com-

Photo 2 : Xérogels colorés mis sous forme de monolithes ou de films minces (échantillons F. Chaput, CNRS-École polytechnique)



patible avec la chimie organique. Cela permet l'élaboration de matériaux hybrides organo-minéraux qui débouchent sur des applications industrielles pouvant se positionner sur des marchés niches souvent à hautes valeurs ajoutées.

Bien que le procédé sol-gel présente beaucoup d'avantages sur les procédés conventionnels, l'inconvénient majeur réside dans la grande teneur en groupes hydroxyles (OH) ainsi qu'en impuretés organiques qui sont indésirables pour certaines applications, par exemple pour obtenir des fibres optiques de bonne qualité.

Cependant, la relative simplicité du procédé, particulièrement pour obtenir des produits à composition très homogène ou des revêtements, rend cette technique attractive.

Principes

Réactions chimiques élémentaires

Le mécanisme chimique de transformation peut se décomposer en deux principales étapes^{4,5} :

- L'hydrolyse du précurseur qui correspond à la réaction d'activation (figure 1).
- La condensation - polymérisation qui est l'étape de croissance des chaînes (figure 2).

Afin d'obtenir une vitesse de réaction appropriée, on ajoute à la formulation un catalyseur ou, au contraire, un inhibiteur de réaction.

Réactifs à mettre en œuvre

La solution de départ est constituée en général par :

- un ou plusieurs précurseur(s),
- un solvant (en général un alcool),
- éventuellement un catalyseur (acide, basique, ou des ions fluor),
- de l'eau.

Chaque composé doit être dosé précisément pour aboutir aux propriétés du gel désiré.

La nature du matériau souhaité impose le précurseur. Le choix du solvant et du catalyseur est alors dicté non seulement par les propriétés chimiques du précurseur, mais aussi par des contraintes environnementales (traitement des effluents gazeux et liquides).

Le précurseur est le réactif central de la formulation et c'est également celui qui dicte le coût du produit réalisé.

À cela s'ajoute d'autres éléments dans la formulation tels que :

- des tensio-actifs (« savon »),
- des agents à greffer ou à encapsuler (médicament, pigments, arômes),
- des complexants (acide acétique ou acide citrique) pour moduler les vitesses de gélification.

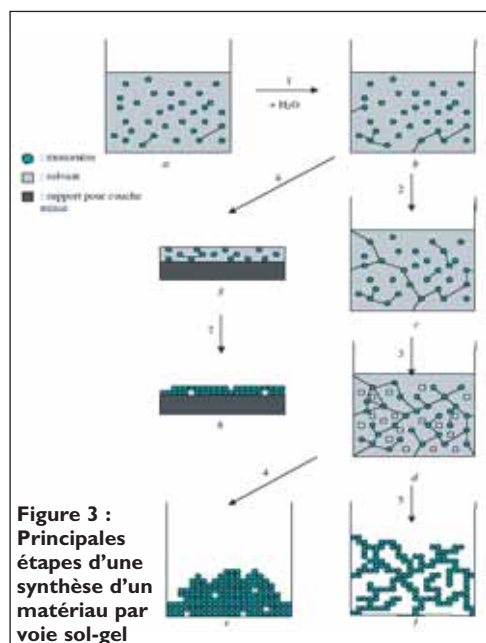


Figure 3 : Principales étapes d'une synthèse d'un matériau par voie sol-gel

Figure 1 : Exemple de réaction d'hydrolyse du tétraorthosilicate

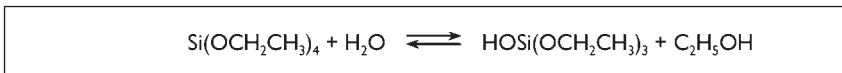
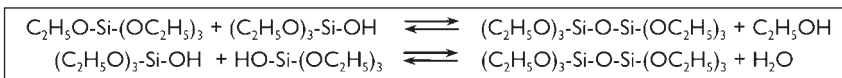


Figure 2 : Exemple de réactions de condensation (gélification) pour le tétraorthosilicate



Description du procédé

La première étape consiste en une solution liquide qui contient des alcoxydes métalliques partiellement dissous dans un solvant (a). L'adjonction d'eau (1) entraîne l'hydrolyse et les réactions de polymérisation. Il se forme des oligomères et des polymères en solution (b) (figure 3⁶). En réagissant entre eux – c'est-à-dire en se condensant (2) – on peut obtenir un gel (c). Au niveau moléculaire, les réactifs restants et les espèces non liées au gel peuvent toujours diffuser et réagir (polymérisation, dépolymérisation et greffage au réseau). En vieillissant, le gel se densifie et se contracte car les réactions de condensation continuent (3). Par greffages successifs le gel devient plus dense (d) et on peut observer une expulsion du solvant, phénomène appelé « synérèse ».

Diverses méthodes de séchage peuvent ensuite être employées :

- Le gel peut être séché dans des conditions douces (4). Il durcit en se compactant : c'est un xérogel (e) (formation de verres et céramiques denses).
- Le solvant peut être évaporé dans des conditions supercritiques (5) (vitesse d'évaporation importante et constante) pour former un gel très peu compact : c'est un aérogel (f).
- Lorsque l'on n'en est encore qu'à l'étape du sol, il est possible de répandre le sol sur une

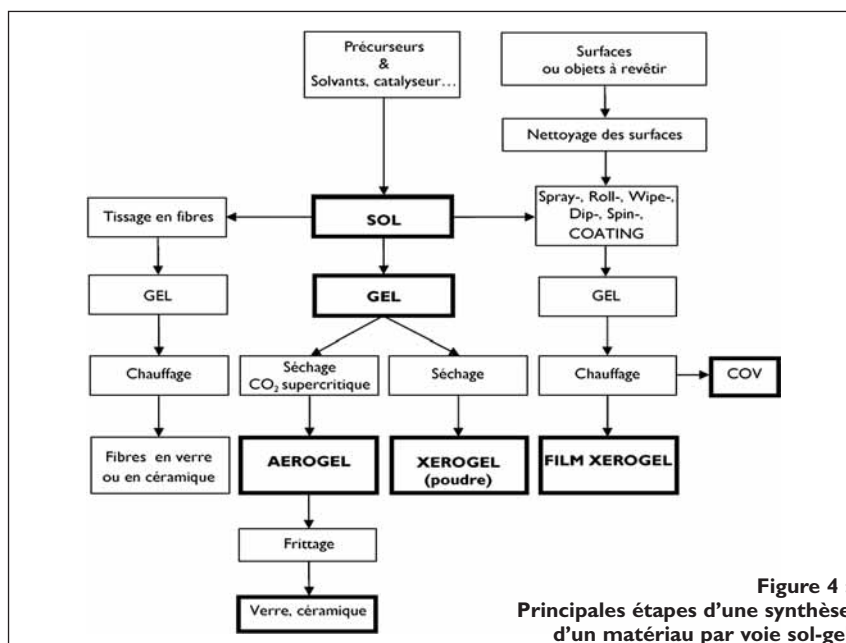


Figure 4 : Principales étapes d'une synthèse d'un matériau par voie sol-gel

État physique	Exemple	Société (exemple)
Précurseurs	Silanes	Dow Corning (Seneffe, Belgique)
Sol	Solution formulée avec les additifs et les solvants	Nanoxid, Matrio (Liège, Belgique)
Gel	Vitres anti-feu Pyrobel®	AGC Flat Glass Europe (Seneffe, Belgique)
	Abrasifs	3M, Norton (USA)
Xérogel (poudre)	Catalyseur	C-Teams (en création, Belgique), Grace (D)
	Nanosphères creuses pour formulation crèmes solaires	Sol-Gel Technologies (Israël)
Aérogel	Tapis hyper-isolant	Aspen Aerogel (USA)
Fibres	Isolants pour câbles à haute tension	3M (USA)
	Coating sur verre	Pilkington Deutschland GmbH, Schott Glaswerke (D)
	Coating sur acier	Nippon Steel Corp. (Japon), ...
Film Xérogel (coating)	Coating anti-rayures sur polycarbonate (« verre » de lunette)	Essilor (France), ...
	Coating anti-trace de doigts sur meubles de cuisine en aluminium	Nanoxid (Belgique)

Tableau 1 : Exemples d'applications commerciales pour les différentes étapes de la transformation de la solution liquide (sol) en gel puis en solide

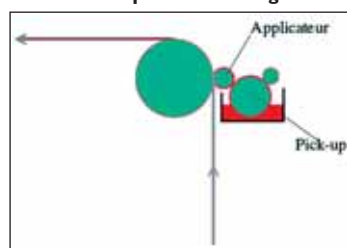
surface (6 et 7) pour former des films de xérogels en couches minces (par exemple les techniques de déposition décrites plus loin) (h). Dans ce cas, la préparation et le nettoyage de la surface à revêtir peut s'avérer critique.

Les figures 3 et 4 illustrent les différentes étapes du procédé en fonction du type de produit souhaité (coating, poudre, nanoparticules, aérogel, fibres...).

Exemples

La méthode sol-gel offre donc des possibilités de synthèse de matériaux très divers. En pratique, les fournisseurs de produits chimiques trouvent des débouchés dans la vente des précurseurs, des produits semi-finis comme des solutions formulées et « prêtes à l'emploi », voire des gels comme le commercialise AGC Flat Glass Europe dans ses vitrages Pyrobel®. De même, les différents états de la transformation de la solution liquide en un solide trouvent des applications industrielles, militaires ou médicales. Le tableau 1 illustre quelques applications commerciales pour les différents états physiques de la transformation de la solution liquide et les produits commerciaux disponibles sur le marché.

Figure 5 : Illustration d'un revêtement par roll-coating



Une diversité abondante dans les choix de la méthode de revêtement

Dans la pratique industrielle, différentes méthodes de déposition peuvent s'offrir à l'entrepreneur. Elles sont explicitées plus loin.

Le coil-coating ou roll-coating ou enduction laminaire

On fait défiler le substrat sur un rouleau dont une partie baigne dans la solution. Ce procédé permet de traiter de grandes surfaces, ce qui conduit à son utilisation quelques fois en sidérurgie.

Le revêtement par des solutions sol-gel sur des tôles métalliques s'effectue industriellement en continu suivant : le coil-coating (ou roll-coating) sur de l'acier inox ou de l'aluminium.

La figure 5 illustre le trempage des feuilles (verso uniquement) par la méthode du roll-coating.

Centrifugation ou spin-coating

Cette méthode consiste à centrifuger une solution déposée en excès sur une (petite) surface⁸. Cette technique a l'avantage d'être facilement mise en œuvre pour des investissements modérés. Elle donne d'excellents résultats sur les substrats plans de petites surfaces (quelques cm²). Cette méthode de dépôt peut être décomposée en quatre phases schématisées sur la figure 6 :

- 1) le dépôt de la solution ;
- 2) le début de la rotation : la phase d'accélération provoque l'écoulement du liquide vers l'extérieur du support ;
- 3) la rotation à vitesse constante permet l'éjection de l'excès de liquide sous forme de gouttelettes et la diminution de l'épaisseur du film de façon uniforme ;
- 4) l'évaporation des solvants les plus volatils qui accentue la diminution de l'épaisseur du film déposé.

Le dip-coating ou « trempage-tirage »

Cette méthode consiste simplement à immerger le substrat dans la solution contenant le « sol » et à le retirer dans des conditions très contrôlées et stables pour obtenir un film d'épaisseur régulière (figure 7).

Lors de la remontée, le liquide va s'écouler sur le substrat. À la fin de l'écoulement, le substrat est recouvert d'un film uniforme et poreux.

L'épaisseur des couches résulte de six forces :

- 1) la viscosité du sol,
- 2) la pression,
- 3) la force de traction,
- 4) la force de gravitation,

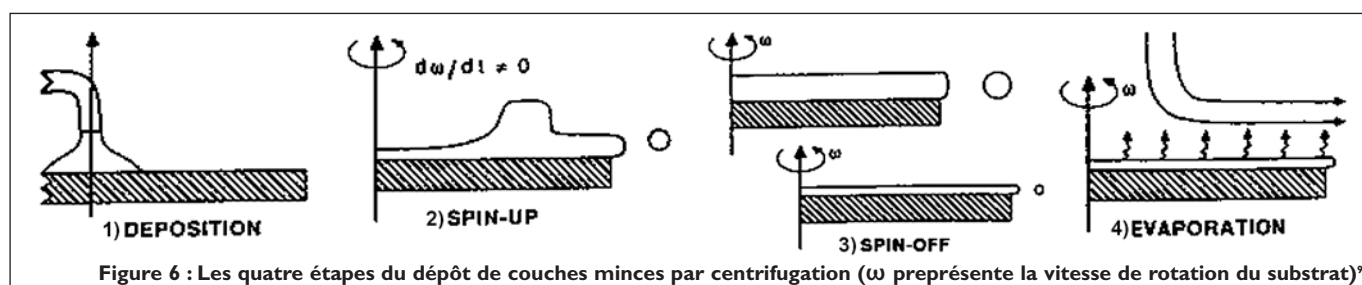


Figure 6 : Les quatre étapes du dépôt de couches minces par centrifugation (ω représente la vitesse de rotation du substrat)

5) la résultante des forces de tension superficielle,

6) le gradient de tension de surface.

Sans entrer dans les détails, tant les démonstrations théoriques que la pratique industrielle ont montré que plus la vitesse de retrait est rapide, plus l'épaisseur du revêtement est élevée.

L'aérosol-gel ou le *spray-coating*

Ce procédé consiste à générer un brouillard de solution et à l'amener jusqu'au support

où il se dépose. Cette technique est intéressante pour recouvrir des objets de géométrie complexe. Cependant son utilisation est plus difficile à mettre en œuvre pour des grandes surfaces. Pour cette raison, une variante consiste à simplement utiliser un pistolet de peinture (ou aérographe) pour le dépôt du *coating*. Les conditions d'utilisation sont, dans ce cas, proches d'une cabine de peinture pour les carrosseries. Le principal inconvénient de cette technique est la perte d'une partie de la solution.

Le revêtement « anti-traces » de doigt¹⁰ pour l'ameublement en aluminium d'une cuisine s'effectue industriellement en vaporisant une solution sol-gel (**Spray-Coating**). Le xérogel appliqué combine la dureté et la transparence du verre avec les avantages des laques organiques sans modifier la technique d'application. On peut créer des couches totalement transparentes, dures et dont l'épaisseur ne varie qu'entre 1 et 3 μm , laissant la surface et la structure du métal visible.

Autres méthodes

D'autres méthodes peuvent être occasionnellement utilisées.

Par exemple, des petites **lavettes** imprégnées (*Wipe-Coating*) de solutions sol-gel sont actuellement proposées pour revêtir des tôles en aluminium (société Nalco Techbond).

L'utilisation d'un **petit pinceau** (*Brush-Coating*) a aussi été rapporté pour la restauration de verres très anciens, comme par exemple pour la mosaïque du Jugement Dernier ou la mosaïque de la Porte d'Or de la cathédrale de Prague. C'est la seule mosaïque gothique située au nord des Alpes. Cet ancien ouvrage d'art (1371 !) est constitué d'environ un million de petits cubes de verre multicolores (appelés « tessères ») et fut en effet revêtu d'un film sol-gel il y a quelques années.

Le revêtement de petites perles en verre peut se réaliser dans une **bétonneuse**.

On peut par ailleurs signaler deux méthodes supplémentaires employées en électronique et microélectronique : il s'agit du **ink-coating** (ou revêtement par jet d'encre, sorte de *micro spray-coating*) et du **stamping-coating**. Ces micro-revêtements peuvent éventuellement subir une « cuisson » ultérieure par exemple par irradiation sous UV.

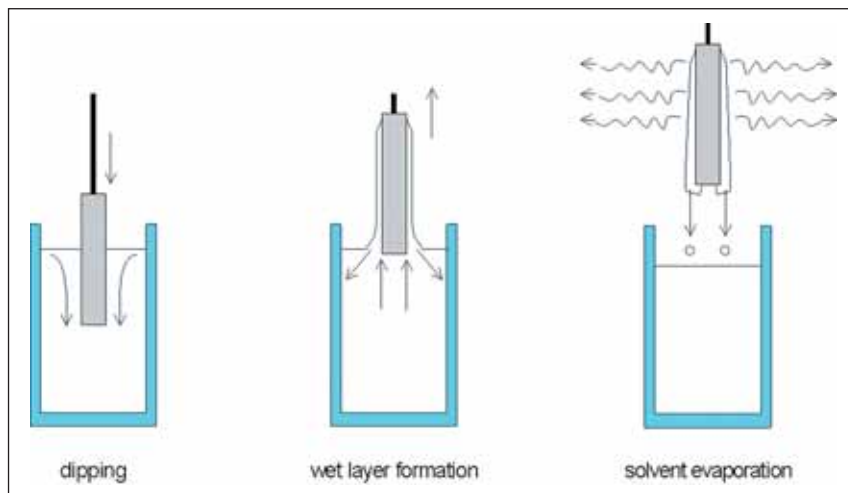


Figure 7 : Dépôt de couches minces par *dip-coating* : le substrat est immergé dans la solution et remonté à vitesse constante

Quelles méthodes de revêtement faut-il privilégier ?

En pratique le choix de la méthode de recouvrement dépend du type de la surface à revêtir (métal, plastique, verre, bois...), de sa morphologie (surface bien plane ou objet complexe...) et naturellement du prix de la solution. Les bonnes pratiques d'applications industrielles de peinture peuvent s'appliquer dans le cas des revêtements sol-gel. Parmi ceux-ci, on peut par exemple citer une bonne aération des locaux et, d'une manière générale, les précautions d'usage de sécurité et d'hygiène.

Dans certains cas, des précautions plus poussées peuvent être mises en place lors de l'application du *coating* (secteur nucléaire, électronique, aérospatial...).

Nul besoin d'un chirurgien pour appliquer le revêtement !

Certains revêtements trouvent des applications dans le domaine de l'électronique ou de l'optique. Par exemple, des recherches sur les revêtements sol-gel sont en cours au Commissariat à l'Énergie atomique (CEA, France) pour des applications potentielles dans le domaine très stratégique de la fusion atomique. Afin de garantir la qualité des revêtements, l'application doit être effectuée sur une surface propre et dans un milieu où la température, l'humidité, la pression et surtout la teneur en particules présentes dans l'air doivent être maîtrisés.

Pour cette raison, le revêtement est opéré dans des salles blanches avec des opérateurs qui portent des **combinaisons blanches qui ne produisent pas ou peu de poussières**. Afin de protéger les dépôts, les opérateurs doivent porter des **masques pour absorber les aérosols expirés**. Contrairement à ce que laisse supposer la photo 3, il ne s'agit nullement donc de réaliser les manipulations par un coûteux chirurgien ou un introuvable infirmier !

Le revêtement s'effectue en **salle propre** ISO 6 à ISO 3. En général, une salle blanche



Photo 3 : Exemple de *spin-coating* réalisé en salle propre au Commissariat à l'Énergie atomique (crédit photo : CEA/LR)

Figure 8 : Montants estimés des différents marchés pour la technique sol-gel pour les années 2007 et 2012.

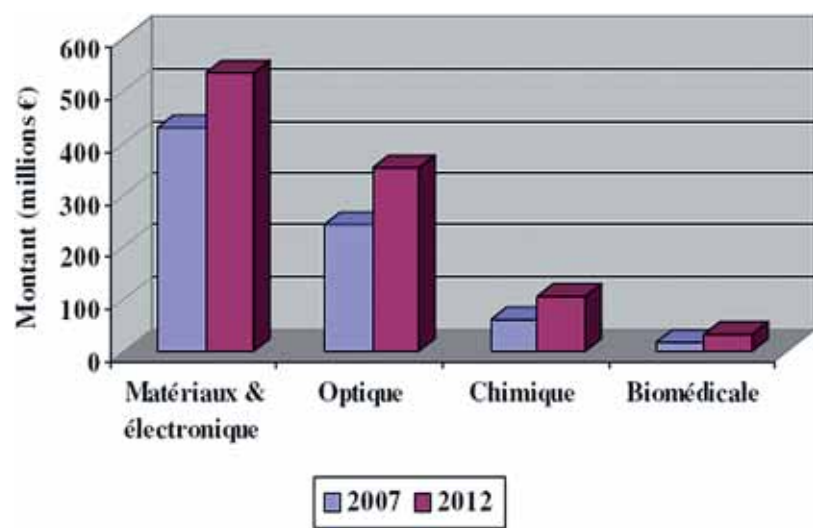


Figure 9 : Taux de croissance annuel estimés des différents marchés pour la technique sol-gel pour les années 2007 et 2012

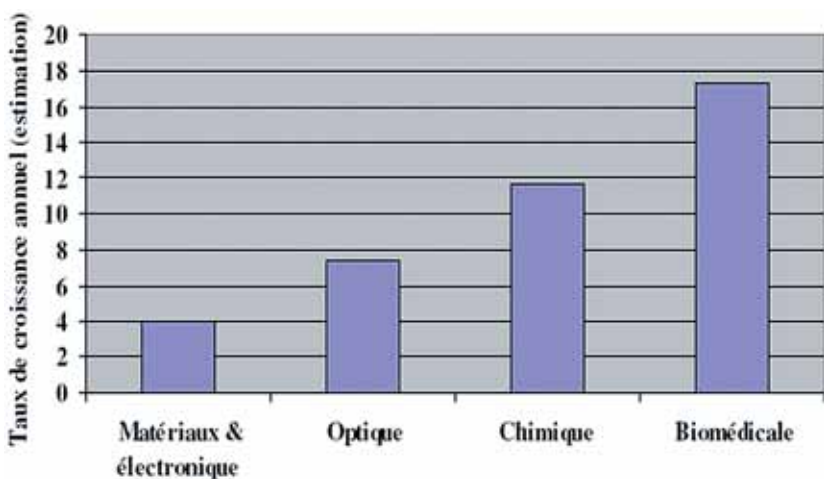
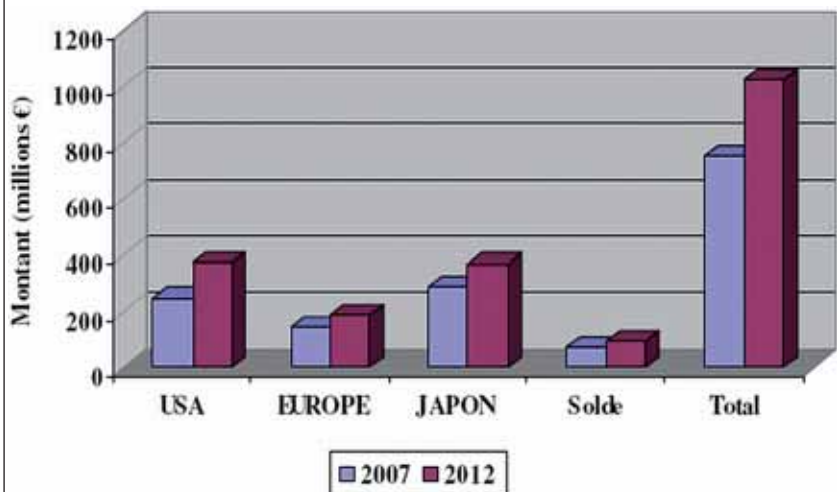


Figure 10 : Marché potentiel global pour les applications sol-gel



est « ISO 5 » ce qui signifie qu'il y a moins de 100 particules par ft³ (28,31 litres). Pour information, il y a plus d'un million de particules par ft³ en milieu urbain.

La salle doit être **sur-pressurisée** afin d'éviter que l'air extérieur ne « pollue » la salle propre. Le flux d'air arrive par les plafonds et est aspiré via le sol ou la partie inférieure des murs. On effectue un apport continu de 10 à 20 % d'air neuf, filtré selon les exigences requises.

Pour réaliser les traitements de l'air on utilise une « CTA » (ou centrale de traitement d'air) avec régulation de température et d'hygrométrie. La « CTA » est une salle de volume similaire à la salle propre où on réalise le revêtement.

Si il n'y pas de **centrale de traitement d'air** disponible pour diverses raisons (manque de capitaux, essais pilotes, réalisation de prototypes, etc.) on peut utiliser un « **plafond soufflant** ». Le plafond soufflant est un caisson monté sur pieds ou fixé au plafond et est relativement bon marché (3 000 €/m²). L'air est aspiré dans la pièce à travers des pré-filtres puis soufflé dans le volume de travail au travers de filtres absolus.

Perspectives économiques

Actuellement, les applications industrielles sont en plein essor tant du point de vue des domaines d'application que de la répartition géographique.

Les matériaux issus de la technologie sol-gel se retrouvent dans diverses activités industrielles à savoir :

- les matériaux : verres, céramiques, aérogels isolants, fibres, abrasifs et revêtements (films xerogel) qui représentent la majorité des applications dans le monde ;
- les applications chimiques qui reprennent les synthèses de catalyseurs et de membranes ;
- les applications optiques qui incluent des revêtements optiques, des synthèses de fibres optiques ;
- les matériaux à usage électronique pour la synthèse de revêtements diélectriques, ferromagnétiques et de matériaux électrochromiques ;
- les applications médicales et cosmétiques qui comprennent la formulation de médicaments, le développement de nouveaux traitements, des formulations cosmétiques, des tissus osseux artificiels, la dentisterie...

Les applications médicales et cosmétiques, bien qu'encore peu nombreuses sur le marché, sont promises à un développement important. Elles nécessiteront cependant les contraintes de production les plus sévères (les *Good Manufacturing Practices* ou *GMP* du secteur pharmaceutique).

Le diagramme de la figure 8 résume, en millions d'euros, les montants estimés de ces dif-

férents marchés entre les années 2007 et 2012.

Tous ces marchés présentent un taux d'accroissement annuel important. Les applications chimiques et biomédicales présentent les taux d'accroissement les plus élevés (figure 9).

Au niveau planétaire (figure 10), le marché potentiel global pour les applications sol-gel sont réparties de façon hétérogène. Les plus grandes zones de déploiement sont situées aux États-Unis (33 % en 2007) et au Japon (38 % en 2007).

L'Europe, principalement grâce aux intenses activités R&D menées en Allemagne, est le troisième marché mondial et possède le second taux de croissance annuel au monde (5 %). En France, des groupes pionniers tel que Gottardi, Scholze, Zarzycki (Montpellier) et Livage (Paris) possèdent une grande expertise tant théorique que pratique.

La Région wallonne, de par sa proximité géographique à ces deux pays, de ses jeunes sociétés émergentes dans le domaine, de ses universités et centres de recherche, devrait pouvoir bénéficier de ce secteur en croissance.

Conclusion

La rédaction d'un cahier technologique sur le sol-gel a été financée par la Région wallonne¹¹ en vue de faire connaître cette technique auprès des PME et industries wallonnes, belges et européennes pour le recouvrement ou l'obtention de matériaux massiques. Plus précisément, ce cahier vise à combler un manque d'informations technologiques exprimé par diverses industries identifiées par Innovatech (<http://www.innovatech.be>) et la « grappe technologique » sur les revêtements. D'autre part, ce document s'inscrit également dans la philosophie du sommet européen de Barcelone de 2002, visant à doter l'Union européenne d'une économie compétitive basée sur la connaissance.

Ce document est disponible gratuitement sur les sites internet de la DG TRE, du Certech et du Commissariat à l'Énergie atomique :

<http://recherche-technologie.wallonie.be/fr/menu/ressources/publications/index.html?PROFIL>

<http://www.solgel.fr/fr/accueil.htm>
<http://www.certtech.be/>

Ce cahier s'adresse à toutes les entreprises désireuses de maîtriser cette technologie pour accroître leur compétitivité.

Il est également disponible sur demande par courriel à info@certech.be ou par demande écrite à Certech, rue Jules Bordet, Zone Industrielle C, B-7180 Seneffe.

Pour conclure, nous dirons que les produits issus de la technologie sol-gel proviennent de hautes technologies et possèdent de grandes valeurs ajoutées. Le Sud de la Belgique a des nombreux atouts pour bénéficier des fruits de cette croissance.

Références

- ¹ http://www.canalu.education.fr/canalu/producteurs/universite_de_tous_les_savoirs/dossier_programmes/les_confereces_de_l_annee_2006/la_chimie_et_la_vie/la_chimie_du_solide_a_l_ecole_de_la_nature
- ² von Helmont en 1644 a dissous du sable, des pierrailles et de l'argile dans de l'eau alcaline. L'acidification de cette solution lui donna un précipité appelé verre à eau « water glass » dont la masse était égale à celle des silicates originaux.
- ³ Graham en 1864 fut le premier à utiliser le terme sol-gel.
- ⁴ Brinker C.J., Sherrer G.W., *Sol-Gel Science, the Physic and Chemistry Sol-Gel Processing*, Academic Press, San Diego, 1989.
- ⁵ Livage J., Barboux P., Navabi M., Judeinstein P., *Solid State Ionics*, 1989, 135, 131.
- ⁶ Sébastien Sallard, PhD thesis, École Normale Supérieure de Cachan (2004)
- ⁷ Luc Langer, NANOXID sprl, communication personnelle
- ⁸ C.J. Brinker, A.J. Hurd, G.C. Frye, P.R. Shunkand and C.S. Ashley, *J. Ceram. Soc. Japan* 99, 862 (1991)
- ⁹ D.E. Bornside, C.W. Macosko, L.E. Scriven, *J. Imaging Technol.* 13, 122 (1987)
- ¹⁰ Nanoxid sprl, Belgique
- ¹¹ Avec le soutien de la Ministre de la Recherche et des Technologies nouvelles



Dr Ir. François Collignon

Après avoir obtenu son diplôme d'ingénieur chimiste et des industries agricoles en 1994, F. Collignon a effectué une thèse de doctorat sur la synthèse d'éthers additifs d'essences sans plomb à l'Université catholique de Louvain (UCL). Durant quatre années, F. Collignon a travaillé pour deux projets industriels au *Centrum voor Oppervlaktechemie en Katalyse de la Katholieke Universiteit Leuven (KUL)* sur la synthèse de catalyseurs par voie sol-gel et sur l'adsorption de catalyseur organométallique. Depuis 2003, F. Collignon est Chef de projets et assistant au management de la qualité au Certech. Son domaine d'activité est la physico-chimie de surface des matériaux inorganiques, les revêtements, la catalyse hétérogène et la définition de procédés. Il travaille notamment pour le compte de clients actifs tant dans le domaine pharmaceutique que de la rudologie. Il est l'auteur de deux brevets, d'une douzaine d'articles internationaux et de deux livres dont le cahier technologique sol-gel.

Le Certech

Le Centre de Ressources Technologiques en Chimie (Certech asbl) offre des prestations de service aux petites et grandes entreprises impliquées directement ou indirectement dans des activités faisant appel au secteur chimique : automobile, construction, emballage, alimentaire, pharmaceutique, médical, cosmétique, énergie, environnement...

Les services incluent les analyses à façon, la résolution de problèmes, les contrats de recherche, le développement et l'amélioration de produits et procédés...

Bien que Certech soit actif dans des domaines extrêmement diversifiés, il a développé une expertise clé dans :

- la formulation, l'analyse et l'utilisation de matériaux plastiques ;
- la synthèse de composés chimiques organiques et inorganiques ;
- le criblage à haut débit d'agents actifs (ex. : catalyseurs) ou de formulations ;
- le diagnostic et le traitement de la qualité de l'air extérieur et intérieur ;
- l'évaluation des émissions de composés organiques volatils en provenance de revêtements et de matériaux.

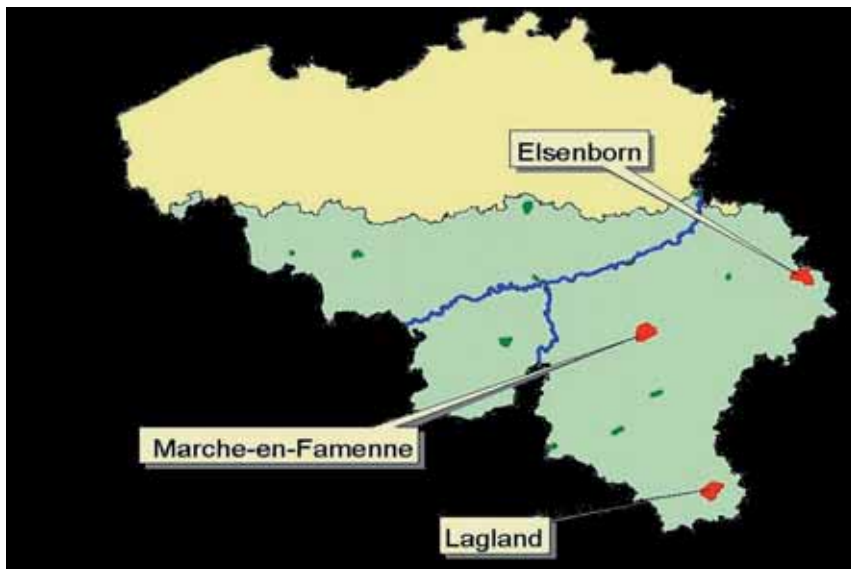
Projet Life Natura2mi quand la Défense se au service de la biodi

Démarré depuis janvier 2006, ce projet se déroule dans les camps militaires d'Elsenborn, Lagland (Arlon) et Marche-en-Famenne. Il vise à restaurer des habitats naturels et plus globalement à protéger et gérer l'importante biodiversité de ces domaines militaires, sans remettre en cause leur usage opérationnel.

Contexte historique, écologique et géographique

Suite au constat global de perte rapide de biodiversité, les gouvernements de l'Union européenne ont adopté en 1992 une loi permettant de protéger les habitats et les espèces les plus menacés d'Europe. Cette législation s'intitule la Directive Habitats. Elle vient compléter la Directive Oiseaux, adoptée en 1979. La création du réseau de sites Natura 2000 est au coeur du dispositif de ces deux directives. Ces sites protègent des milieux naturels vulnérables, comme les zones humides, qui à leur tour offrent un cadre de vie aux animaux et plantes qui en dépendent. Ce ne sont pas uniquement les milieux naturels qui sont concernés, mais également les milieux dits « semi-naturels » qui, pour perdurer, dépendent d'une gestion par l'homme (par exemple certains types de prairies).

Localisation des 3 camps en Belgique



Depuis plusieurs décennies, les scientifiques et les naturalistes qui ont eu l'opportunité d'étudier les espèces animales et végétales présentes dans les trois domaines militaires de Lagland, Elsenborn et Marche-en-Famenne ont reconnu leur intérêt écologique de premier plan. Ceci a notamment justifié l'intégration de ces 7 937 ha au sein du réseau européen Natura 2000, tant pour la présence d'habitats communautaires que d'espèces reconnues comme menacées. Par ailleurs, la haute valeur écologique des domaines militaires en Flandre a également conduit à la mise en place d'un important projet Life, dit Danah, dans 12 domaines militaires du nord du pays. Ce projet se terminera en 2009 alors qu'en Wallonie c'est fin 2010 qu'il doit s'achever.

Que ce soit d'un point de vue géographique ou écologique, ces camps sont fort éloignés et leur dénominateur commun est à la fois leur vocation militaire, ainsi que leur statut de protection Natura 2000.

Ainsi, à Lagland, près d'Arlon, le camp est caractérisé par un substrat de sables podzoliques couverts par une mosaïque de landes sèches (landes à bruyère, pelouses à corynéphores...) ou humides (tourbières) évoluant vers la chênaie-hêtraie. Les espèces animales les plus spécifiques du camp sont notamment l'engoulevent (*Caprimulgus europaeus*), l'alouette lulu (*Lullula arborea*), le lézard des souches (*Lacerta agilis*) ou encore le crapaud calamite (*Bufo calamita*). Le camp abrite également le marais du Landbruch, réserve gérée par l'association RNOB via une convention avec la Défense.

À Marche-en-Famenne, le camp, sur substrat schisteux, se partage entre une vieille chênaie, une forêt alluviale et des anciennes prairies fauchées ou pâturées jusqu'aux années 70, lors de la création du camp. Il abrite une avifaune particulièrement intéressante, citons par exemple la pie-grièche écorcheur (*Lanius collurio*), la pie-grièche grise (*Lanius excubitor*), le tarier pâtre (*Saxicola torquata*) et plus rarement le râle des genêts (*Crex crex*).

Le domaine d'Elsenborn, du fait de son altitude élevée en Belgique, compte de nom-

! : met versité !

Par Ir. Hervé Pirard

breuses prairies submontagnardes, telles les nardaies à fenouil, mais également des landes sèches à bruyère et des landes humides. Ce camp, créé en 1893, est actuellement un véritable conservatoire d'un paysage typique des XVIII^e et XIX^e siècles, modelé par des anciennes pratiques agropastorales. Il abrite une faune et une flore des plus remarquables, dont de nombreuses espèces devenues rares, voire menacées de disparition en Belgique.

Un usage multifonctionnel des camps...

Les trois camps militaires étant intégralement propriété de l'État belge et très peu soumis aux enjeux économiques, le projet LIFE bénéficie donc d'un contexte particulièrement favorable pour axer ses actions sur la conservation de la biodiversité. De plus, les activités militaires sont relativement circonscrites dans les camps et peu intensives à l'échelle de l'ensemble du domaine. Seules les activités cynégétiques y sont pratiquées par adjudication à des sociétés de chasse (civiles) avec lesquelles un dialogue est engagé afin de trouver des compromis acceptables par tous, notamment en ce qui concerne les populations de sangliers. Le camp de Marche-en-Famenne comprend également deux concessions de pêche.

Dans le camp d'Elsenborn, l'exploitation forestière ne concerne que les zones enrésinées. Elle se limite à récolter le bois (coupes d'éclaircies et coupes à blanc) et à favoriser leur transformation progressive en forêts feuillues. Il n'y a plus d'exploitation forestière dans les zones feuillues qui sont destinées à devenir une réserve forestière intégrale, de même qu'à terme les zones actuellement enrésinées. De par leur superficie, la richesse et la diversité des habitats naturels qui s'y sont maintenus, les terrains d'entraînement militaires constituent des éléments essentiels du réseau Natura 2000. La limitation d'accès, la non utilisation d'engrais et de pesticides, les méthodes de gestion pratiquées depuis longtemps par les militaires ont permis le maintien d'habitats naturels en régression dans le domaine civil. Bien que parfois spectaculaires, les activités militaires pratiquées sur ces ter-



Prairie à fenouil à Elsenborn

rains exercent un faible impact sur le milieu naturel. Elles sont, en effet, limitées à la fois dans le temps et dans l'espace : seules certaines zones bien délimitées sont accessibles aux exercices (pistes de char, position de tir, stands d'exercice...), la majeure partie de ces domaines étant constituée de zones de sécurité et de zones tampon.

Étant donné que la variété des biotopes et des paysages, et plus particulièrement des milieux ouverts, est nécessaire à l'organisation des activités d'entraînement, les autorités militaires se sont engagées dans une politique de gestion durable des zones naturelles, en étroite collaboration avec la Division de la Nature et des Forêts de la Région wallonne.

La reforestation naturelle, menace principale !

La diminution progressive des activités militaires au cours des dernières décennies dans les camps a entraîné une recolonisation ligneuse des zones ouvertes qui retournent peu à peu à l'état forestier, menaçant ainsi de disparition toute une série de milieux particulièrement intéressants au niveau de la biodiversité, mais également d'un point de vue paysager.

Les principales actions de restauration déjà réalisées ou à venir sont liées à la réouverture des milieux naturels. Un budget important est consacré à des déboisements, soit de massifs forestiers, soit de buissons ou de bosquets, ou encore afin d'enlever des semis d'épicéas qui colonisent progressivement des hêtraies. L'étrépage, essentiellement de landes sèches, est une autre technique de restauration employée, essentiellement à Elsenborn. Elle consiste à enlever mécaniquement (avec une pelleteuse en général) l'horizon humifère superficiel du sol afin de favoriser la repousse de certaines plantes. Enfin, une série d'actions plus spécifiquement liées aux milieux humides sont mises en œuvre, notamment le bouchage de drains, le creuse-

Lande à bruyère à Lagland



Prairie maigre de fauche à Marche-en-Famenne





Comparaison d'une zone, avant et après déboisement, à Elsenborn



Ir. Hervé Pirard

Ir. Hervé Pirard a 40 ans et est ingénieur agronome, eaux et forêts, issu de la Faculté universitaire de Gembloux (FUSAGx-91). Il est en outre titulaire d'une licence en Gestion du Développement (ULg-95), d'un diplôme d'études approfondies (DEA) en Sciences agronomiques et Ingénierie biologique (FUSAGx-2002), il a suivi une formation sur la Législation environnementale (UCL-96) ainsi que de nombreuses autres formations complémentaires, tant en Belgique qu'à l'étranger. Son parcours professionnel l'a amené à diriger, gérer, évaluer et coordonner de multiples projets en Belgique ainsi qu'au Sénégal et en Côte d'Ivoire. Il est actuellement coordinateur du projet Life Natura2mil. Il est l'auteur, seul ou en collaboration, de plusieurs publications scientifiques et de rapports concernant des programmes et des projets. Fils d'agriculteur, il a l'expérience pratique de la gestion d'un troupeau de 300 brebis et l'habitude du travail de terrain.

ment de mares, ou encore l'aménagement de catiches (abris pour la loutre). Ces différents travaux sont réalisés via l'assistance extérieure d'entrepreneurs privés et nécessitent une étroite concertation avec les autorités militaires afin de pouvoir réaliser ces travaux hors des périodes de tirs, pour des raisons sécuritaires évidentes.

Concernant les actions d'information-formation, l'équipe Life en place et ses partenaires en assure la majeure partie, appuyée ponctuellement par des experts extérieurs. Toutes les occasions de pouvoir sensibiliser les utilisateurs militaires à la richesse des camps d'un point de vue biodiversité, mais également à leur fragilité, sont saisies. Des outils didactiques d'information et de formation sont en cours d'élaboration et seront diffusés largement au niveau de la Défense. Enfin, des actions plus ponctuelles à destination du public civil, souvent les riverains des camps, sont menées afin de sensibiliser les populations locales à l'importance des camps du point de vue de la biodiversité, ainsi que la nécessité de mener des actions de restauration et de gestion adaptées à ces biotopes de haute valeur. Ces actions comprennent également un rappel des règles d'accès aux domaines militaires, pour des raisons évidentes de sécurité.

Par ailleurs, un volet important du projet est consacré à l'information, la sensibilisation et la formation des usagers principaux des domaines, à savoir les militaires. Il paraît capital, pour assurer la durabilité des actions menées, de disposer à la fin du projet d'une équipe militaire compétente en gestion et conservation de la biodiversité. Ceci implique également que les plus hautes autorités de la Défense soient pleinement conscientes des enjeux majeurs en terme de biodiversité, et de l'importance des camps militaires en Belgique dans le réseau Natura 2000.

En guise de conclusion...

Si l'objectif de réduction de la perte de biodiversité pour 2010, fixé dans l'agenda international, coïncide avec la fin du projet, nous constatons déjà qu'il est impossible d'isoler les terrains militaires concernés, entièrement inclus dans le réseau Natura 2000, du contexte plus global régional, national, européen et mondial. La perte globale de biodiversité, malgré le haut potentiel écologique

et le contexte socio-économique favorables des domaines militaires, se fait également ressentir, comme nous le montre malheureusement l'exemple du damier de la succise (*Euphydryas aurinia*), introuvable depuis deux ans à Marche-en-Famenne. Si des « noyaux de biodiversité » importants subsistent dans les périmètres du projet, et sont renforcés suite aux différents travaux de restauration menés, il est impératif de recréer ou d'améliorer le réseau écologique global de la région afin que les camps ne deviennent pas des « musées vivants », mais soient les moteurs d'une reconquête de la biodiversité.

Par ailleurs, nous avons également commencé une démarche d'intégration de la biodiversité des camps militaires à travers des modes de gestion par pâturage et fauchage qui se basent sur les Mesures Agri Environnementales (MAE) et associent des agriculteurs locaux. Nos différentes actions, dans la mesure des contraintes de sécurité et d'accès spécifiques à ces zones d'exercices de la Défense, associent les partenaires locaux (contrat de rivière, naturalistes, chasseurs...) ou d'autres projets financés par la Commission européenne (projet Life « Loutre »).

Il est encore trop tôt pour pouvoir quantifier l'impact du projet sur la biodiversité, mais la somme des indicateurs mis en place dans les trois camps nous permettra d'évaluer nos actions à la fin du projet. Il est déjà certain que nous avons un impact non négligeable en terme de prise de conscience, par les utilisateurs des camps, de la richesse environnementale et patrimoniale que représentent ces domaines militaires.

Crédit photographique : H. Pirard, R. Dahmen, P. Lighezzolo
Photo de couverture : Damier de la succise - *Euphydryas aurinia* Crédit : P. Lighezzolo

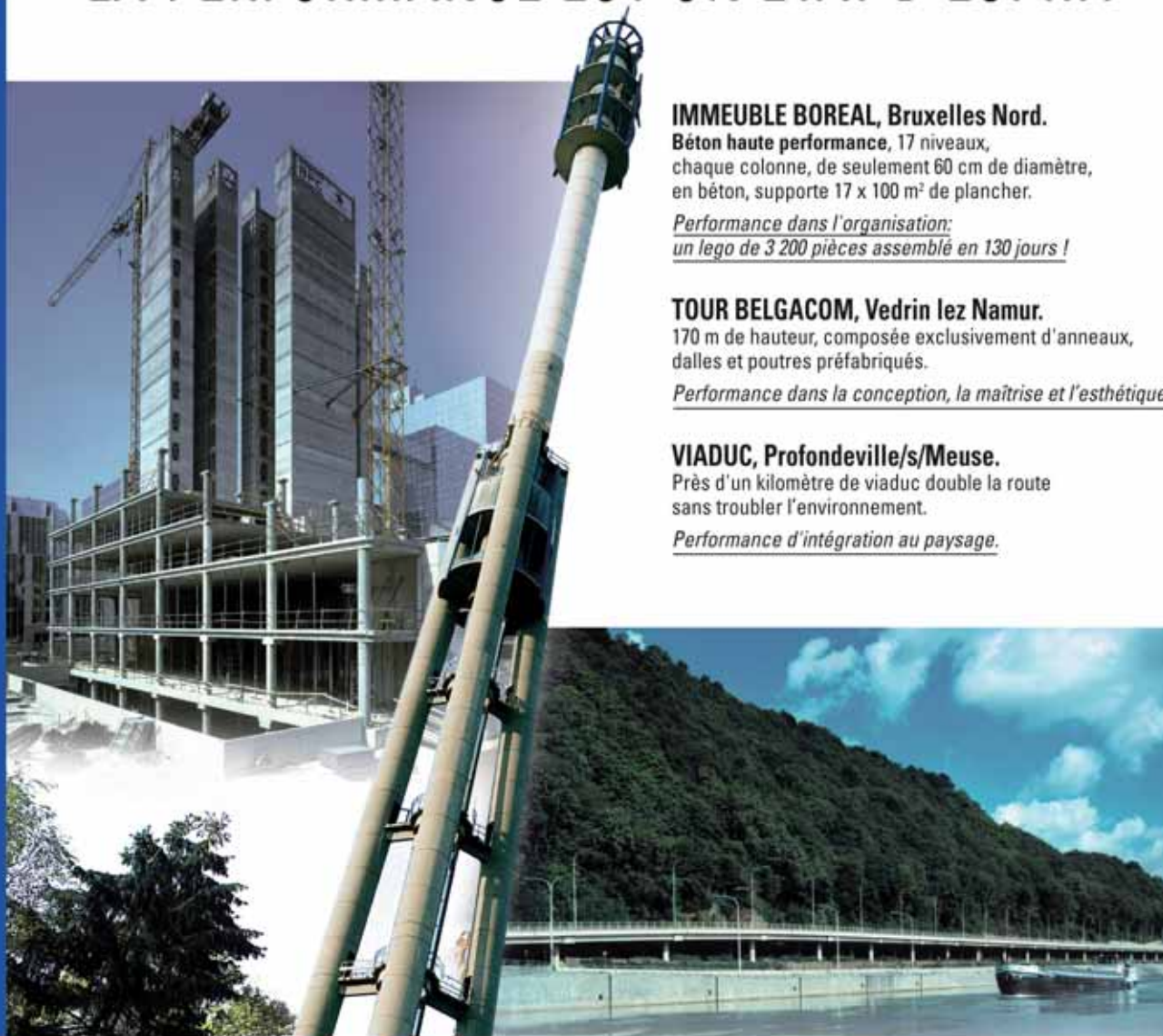
Pour en savoir plus

Le projet Life Natura2mil est un projet relativement important cofinancé par l'Union européenne, la Région wallonne et la Défense (50/33/17). Il réunit des partenaires aussi variés que la DGARNE (Service public de Wallonie), la Défense et les asbl RNOB et Ardenne & Gaume, sans citer ici les multiples collaborations avec d'autres associations. Son exécution s'étend sur la période 2006-2010. Le projet a son site Internet donnant tous les détails sur le projet, ses objectifs, son calendrier et sa réalisation ainsi que de multiples liens vers le programme Life de l'UE, le réseau Natura 2000, etc.

<http://natura2mil.be>

RONVEAUX

LA PERFORMANCE EST UN ETAT D'ESPRIT



IMMEUBLE BOREAL, Bruxelles Nord.

Béton haute performance, 17 niveaux, chaque colonne, de seulement 60 cm de diamètre, en béton, supporte 17 x 100 m² de plancher.

*Performance dans l'organisation:
un lego de 3 200 pièces assemblé en 130 jours !*

TOUR BELGACOM, Vedrin lez Namur.

170 m de hauteur, composée exclusivement d'anneaux, dalles et poutres préfabriqués.

Performance dans la conception, la maîtrise et l'esthétique

VIADUC, Profondeville/s/Meuse.

Près d'un kilomètre de viaduc double la route sans troubler l'environnement.

Performance d'intégration au paysage.

bienvenue sur notre site web : www.ronveaux.com

RONVEAUX CONSTRUCTION :



de la conception au montage, tous les éléments préfabriqués en béton armé, précontraint, préfléchi, Flexstress © ... pour le bâtiment, les ouvrages d'art et les tours télécom.
E-mail: bat@ronveaux.com

RONVEAUX ELECTRICITE :



distribution électrique, télédistribution, télécommunication, éclairage, conceptions industrielles et électro-mécaniques, sécurité, maintenance.
E-mail: elec@ronveaux.com

Ronveaux

LA PERFORMANCE EST UN ETAT D'ESPRIT

rue Rebonmoulin, 16 - B-5590 Ciney
Tél.: 083 21 29 01 - Fax: 083 21 29 10
E-mail: info@ronveaux.com



Hautes technologies



Hautes ambitions



Du raffinage à la pétrochimie en passant par les lubrifiants, Total déploie pour l'ensemble de la Belgique des activités de production aussi importantes que variées. Voilà pourquoi de nombreuses opportunités de carrière se présentent aux ingénieurs de tous profils.

Pour découvrir la variété et la richesse des postes à pourvoir au sein de Total, surfez sur

www.careers.total.com



TOTAL

Pour vous, notre énergie est inépuisable