

MENS :  
une vision incisive  
et éducative sur  
l'environnement

Approche  
didactique  
et scientifique

42

Jan-Fév-Mar 09

MENS

Revue scientifique populaire trimestrielle

# La Chimie verte

## Des processus chimiques durables et respectueux de l'environnement et de hommes

Milieu  
Éducation  
Nature  
Santé

 Universiteit  
Antwerpen

**Loterie Nationale**  
créateur de chances 

# Table de matières

La Chimie verte .....	3
Une nature pure .....	2
Production de masse .....	4
Sensibilisation à l'environnement .....	6
Recyclage, réemploi, prévention .....	7
Empreinte écologique et durabilité .....	7
La chimie verte est nécessaire et possible .....	9
Les douze principes de la chimie verte .....	9
Les matières premières vertes .....	10
Paramètres d'évaluation de la chimie verte selon EcoScale .....	11
Jamais plus de déchets : 'cradle to cradle' .....	13
Réalisations avec la philosophie C2C .....	13
Battage publicitaire, Utopie, solution ultime ou commerce pur ? .....	14
essenscia publie le premier rapport sectoriel de développement durable .....	14
Et demain... ..	15

## Avant-propos

La chimie est devenue une industrie indispensable pour l'humanité d'aujourd'hui : sans cette industrie, notre vie quotidienne serait totalement différente, pour ne pas dire impossible. Les problèmes environnementaux du passé qui ont fait la une de l'actualité ont toutefois eu pour effet que la plupart des gens n'associent pas directement cette même chimie et cette industrie chimique à la sécurité et au souci de l'environnement. Les explosions des unités de production chimique de Seveso (Italie) en 1976 et de Bhopal (Inde) en 1984 ont fait des milliers de victimes. Plus récemment (déc. 2005), des tonnes de benzène cancérigène se sont déversées dans un fleuve en Chine, après une fuite dans une citerne de stockage. Suite aux déversements d'eaux usées, le Fleuve Jaune contient aujourd'hui encore trop de cette substance que pour pouvoir être utilisé comme source d'eau potable. La qualité de cette eau est à ce point mauvaise que même son utilisation comme eau industrielle est impossible. Le milieu du siècle dernier fut marqué par les scandales du mercure dans la baie de Minamata au Japon et les effets environnementaux des pesticides sur les populations de rapaces ont été à l'origine de l'ouvrage 'Silent spring' de Rachel Carson, dans lequel la préoccupation de l'environnement et la santé ont été pour la première fois déterminées comme objectifs principaux.

Cette préoccupation pour l'environnement est essentielle. Nous n'en sommes que trop conscients : la décadence de la civilisation jadis florissante sur l'île de Pâques suite à l'utilisation non avisée des ressources naturelles de l'île prouve que l'homme est en mesure d'anéantir une civilisation s'il ne tient pas compte des conséquences de ses actes. Heureusement, notre industrie chimique n'est pas aussi menaçante. De nombreux efforts sont fournis pour emprunter une autre voie. Une voie qui mène vers des processus de production plus propres, plus sûrs pour l'homme comme pour l'environnement, sans production de déchets dangereux et toxiques. Les processus dans lesquels on part de matières premières renouvelables et dans lesquels les déchets peuvent à nouveau être utilisés comme matière première. L'approche la chimie au départ de ces principes de base est appelée chimie verte.

En ma qualité de professeur en chimie parmi les centaines que compte la Flandre, faire passer ce regard novateur sur la chimie auprès de nos étudiants relève pour moi du défi. Nous-mêmes, nous avons été formés selon d'autres principes, mais tous les étudiants d'aujourd'hui connaissent les règles pour un travail en toute sécurité dans un environnement chimique. Ils connaissent les dangers pour l'homme et l'environnement des matières premières avec lesquelles ils travaillent et savent appliquer les règles de sécurité appropriées. Ils savent également avec quels produits chimiques on ne travaille plus dans les T.P. parce que les risques toxicologiques sont trop élevés. Tous les labos sont équipés de récipients permettant de trier les produits chimiques résiduels et de les recycler ou de les détruire de manière appropriée. Travailler selon ces principes de base est devenu une habitude pour ces étudiants.

Au travers de leur formation, nous pouvons lancer de jeunes gens sur le marché du travail parfaitement prêts à appliquer les idées de la nouvelle chimie verte dans leur environnement de travail chimique. De la sorte, ils contribueront à l'évolution de l'ancienne chimie, menaçante pour l'environnement, à la chimie verte, sûre et soucieuse de l'environnement.

Bonne lecture de cette édition de MENS consacrée à la Chimie Verte.

Hilde De Bondt

*Maître de Conférences en Chimie Environnementale  
Karel de Grote-Hogeschool - Dep IWT - Antwerpen*



**Bio-**  
**MENS**

© Tous droits réservés Bio-MENS 2009

'MENS' est une édition de l'asbl Bio-MENS  
A la lumière du modèle de société actuel,  
elle considère une éducation scientifique  
objective comme l'un de ses objectifs de base.

[www.biomens.eu](http://www.biomens.eu)

### Coordination académique :

Prof. Dr. Roland Caubergs, UA  
[roland.caubergs@ua.ac.be](mailto:roland.caubergs@ua.ac.be)

### Rédacteur en chef et rédaction finale :

Dr. Geert Potters, UA  
[mens@ua.ac.be](mailto:mens@ua.ac.be)

### Rédaction centrale :

Lic. Karel Bruggemans  
Prof. Dr. Roland Caubergs  
Dr. Guido François  
Lic. Liesbeth Hens  
Dr. Lieve Maesele  
Lic. Els Grieten  
Lic. Chris Thoen  
Dr. Sonja De Nollin  
Kit Ting Lau

### Abonnements et infos :

Corry De Buysscher  
Herrystraat 8b, 2140 Antwerpen  
Tél.: +32 (0)486 93 57 97  
Fax: +32 (0)3 309 95 59  
[Corry.mens@telenet.be](mailto:Corry.mens@telenet.be)

### Abonnement:

€22 sur le numéro de compte 777-5921345-56

### Abonnement éducatif: €14

Ou numéros distincts: €4  
(moyennant la mention du numéro d'établissement)

### Coordination communication Bio-Mens :

Kit Ting Lau  
Herrystraat 8b, 2140 Antwerpen  
Tél.: +32 (0)3 609 52 30  
Fax +32 (0)3 609 52 37  
[kitting@biomens.eu](mailto:kitting@biomens.eu)

### Coordination :

Dr. Sonja De Nollin  
Tél.: +32 (0)495 23 99 45  
[sonja.denollin@ua.ac.be](mailto:sonja.denollin@ua.ac.be)

### Illustrations:

Mens, Geert Potters, Wikipédia, Hilde Van Craen

### Editeur responsable :

Prof. Dr. Roland Valcke, UH  
Reimenhof 30, 3530 Houthalen  
[roland.valcke@uhasselt.be](mailto:roland.valcke@uhasselt.be)

 **Universiteit**  
**Antwerpen**



# La Chimie verte

## Des processus chimiques durables et respectueux de l'environnement et de hommes

Ce dossier a été élaboré par **Karel Bruggemans**

Pour la réalisation de ce dossier, nous sommes reconnaissants d'avoir pu utiliser les informations et commentaires fournis par Sonja De Nollin, Els Grieten, Lieve Maessele, Geert Potters, Geert Scheys et Chris Thoen.

Vous connaissez certainement des gens qui estiment que la chimie constitue une menace pour notre avenir. Ils craignent que les produits de masse que produit l'industrie chimique soient nuisibles à terme pour tout ce qui vit sur cette planète.

Vous en connaissez aussi peut-être d'autres faisant preuve de reconnaissance par rapport aux chimistes, qui ont rendu leur vie plus agréable ou même ont sauvé leur vie par la découverte de l'un ou l'autre médicament.

Comme c'est le cas pour tous les aspects de notre société, certaines applications de la science présentent aussi des côtés moins positifs. La chimie telle que nous la connaissons aujourd'hui est une science relativement jeune et au fil de son évolution, un certain nombre d'accents ont été déplacés. Dans ce dossier, nous évoquerons brièvement comment l'intérêt pour l'interaction entre la chimie et l'environnement s'est développé et où nous nous situons actuellement dans ce domaine.

### Une nature pure

Un phénomène chimique est défini comme un événement au cours duquel des substances sont transformées en d'autres substances (nouvelles). Prenons comme exemple la combustion du gaz naturel (méthane) avec le gaz d'oxygène (dans l'air).



Les substances qui disparaissent entièrement ou partiellement sont appelées réactifs ( $\text{CH}_4$  et  $\text{O}_2$ ). Celles qui apparaissent sont les produits de réaction : dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Le mot "disparaître" revêt toutefois ici une signification particulière. Il s'agit de la décomposition d'une matière et d'une recombinaison des éléments en d'autres substances. Ce faisant, tous les atomes sont conservés suivant le rapport : 1 atome de carbone, 4 atomes d'eau et 4 atomes d'oxygène, mais ils sont reliés entre eux suivant une nouvelle structure. Par consé-

quent, nous pouvons dire que des substances ont effectivement disparu, alors que la masse totale de la matière est restée inchangée. D'où l'affirmation attribuée à Lavoisier : rien ne se perd, rien ne se crée (connue comme la loi de conservation de la masse). Nous devons interpréter cette maxime comme "lors de réactions chimiques, aucun atome n'est perdu et aucun atome n'est constitué."

Ces décomposition et recombinaison d'atomes sont liées aux lois de la nature. Dans des circonstances données, seules certaines transformations chimiques sont possibles. Ni en laboratoire, ni dans l'industrie, le chimiste ne peut procéder à des fabrications selon des voies allant à l'encontre des lois de la nature. E ce sens, toute réaction chimique est un phénomène naturel.

L'homme n'a pas inventé les réactions chimiques. Des réactions chimiques avaient déjà eu lieu dans l'univers bien avant que la terre ne soit constituée et donc aussi bien avant que la vie n'apparaisse sur terre. On peut même affirmer que l'origine de la "vie" est due à des phénomènes chimiques. En tous points, le maintien des êtres vivants, des micro-organismes, des plantes ou des animaux (les hommes y compris) requiert un cycle continu de transformations chimiques. En ce sens, un rôle crucial est joué par la "chlorophylle", un biocatalyseur permettant aux plantes vertes de réaliser les processus chimiques nécessaires à la vie grâce à l'énergie lumineuse.

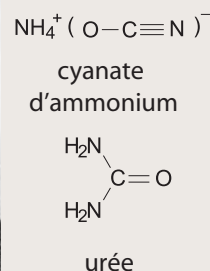
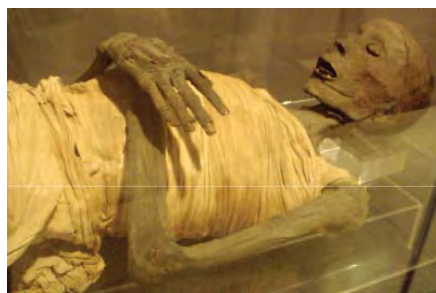
Sans ces plantes, la plupart des animaux et des personnes ne survivaient pas car elles se trouvent à la base de leur approvisionnement alimentaire. Les carnivores vivent eux aussi indirectement des plantes. Les principaux métabolismes possibles grâce à la chlorophylle pourraient être appelés "chimie verte". Mais dans ce qui suit, nous voyons que ce terme désigne quelque chose de tout à fait différent.

L'étude des phénomènes naturels de la façon dont nous les connaissons aujourd'hui, à savoir, la "méthode scientifique", n'est vieille que de quelques centaines d'années, alors que l'espèce humaine se sert déjà des transformations chimiques



Antoine Lavoisier (1743-1794)





Friedrich Wöhler (1800-1882)

depuis des milliers d'années. La fabrication des métaux comme le fer ou le cuivre à partir des minerais correspondants est une pratique chimique très ancienne. La poterie repose sur des transformations chimiques. Les vieilles momies égyptiennes constituent un aperçu de l'art de la chimie. Pour faire du vin avec du jus de raisin et transformer ce vin en vinaigre, l'homme utilise inconsciemment depuis plusieurs centaines d'années des micro-organismes permettant les transformations chimiques requises. Les alchimistes du Moyen-âge ont tenté de dévoiler les secrets de la nature, mais se sont alors retrouvés avec leurs écrits enveloppés d'un voile de mystères, ne laissant progresser la connaissance de la matière que très lentement. Toutefois, une certaine intelligence des caractéristiques et de l'identité d'un certain nombre de substances minérales, comme l'acide nitrique, l'acide sulfurique, le sel de cuisine, les composés mercuriques, le soufre, etc. a été acquise. Des produits végétaux ou animaux typiques, comme le sucre, les résines, les colorants et les fragrances sont restés longtemps beaucoup moins accessibles à la recherche et au traitement, à tel point que les savants du début du 18<sup>ème</sup> siècle étaient encore d'avis que pour la fabrication de ces substances "organiques", une énergie vitale spéciale, un "vis vitalis", était nécessaire. La surprise a donc été grande au sein du monde scientifique de l'époque, lorsque Friedrich Wöhler a réussi en 1828 à préparer de l'urée, un produit organique typique, à partir de cyanate d'ammonium, une substance minérale. L'incrédulité quant à la faisabilité de sucres propres aux êtres

humains a persisté jusqu'à ce que Kolbe prépare de l'acide acétique en 1845 à partir de minéraux et que Berthelot synthétise du gaz des marais (méthane) en laboratoire (1856). À partir de ce moment-là, les succès se sont succédé pour la chimie. De plus en plus de produits naturels peuvent être copiés, par des procédés en laboratoire qui diffèrent fortement des transformations ayant cours parmi les êtres vivants, mais qui se déroulent suivant les mêmes lois naturelles générales. Il semble ne pas exister de "vis vitalis" spécial.

Voir aussi le dossier MENS (numéro) 27 : *Chimie, la base de la vie.*

## Production de masse

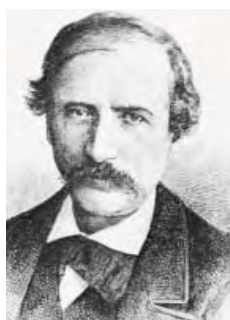
Depuis l'apparition de la chimie organique, des recherches ont constamment été menées pour trouver des méthodes permettant de copier des substances provenant du monde végétal ou animal. Et la science s'en est pas mal sortie à ce niveau. Un produit fabriqué dans un laboratoire ou une usine à partir de matières premières simples est appelé "une matière synthétique". Le terme "simple" signifie dans ce cas "composé de molécules plus petites". Les colorants, comme les composés anilines, les fragrances comme l'essence de lavande, les aromatisants comme la vanilline et les médicaments comme l'aspirine ne doivent plus être extraits des plantes : ils peuvent être préparés de façon synthétique. Même des hormones humaines comme l'insuline peuvent être produites "in vitro" (hors du corps d'un être vivant). Nous sommes

même parvenus à créer des substances utiles que l'on ne rencontre pas dans la nature. Cela vaut pour bon nombre de médicaments, mais aussi pour des matériaux de construction et des textiles. Depuis que Leo Baekeland a introduit en 1907 un brevet sur la bakélite, l'offre de matériaux synthétiques, les plastiques, a énormément augmenté. Peu de temps après, le monde était pour la première fois confronté aux fibres de nylon et aujourd'hui, l'afflux de nouveaux matériaux synthétiques ne peut plus être arrêté.

Dans tous les domaines de la société, on tire un profit de l'énorme développement des possibilités offertes par la chimie. Pour la construction et la production d'articles utilitaires, on dispose de plastiques appropriés; pour les vêtements et les chaussures, on utilise des matières synthétiques; les prestations sportives sont sans cesse plus précises grâce aux nouveaux matériaux synthétiques (comme des chaussures et des perches souples, des vélos et des voiles plus solides...), les laboratoires produisent des médicaments plus efficaces; de nouvelles méthodes d'emballage assurent une meilleure hygiène, etc.

Dès que de nouvelles matières ou de meilleures méthodes de fabrication sont découvertes, dont on attend un succès commercial, on essaie de passer à une production de masse. Les procédés de laboratoire sont transformés en procédés industriels. Ce faisant,

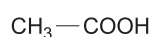
les facteurs économiques jouent un rôle essentiel.



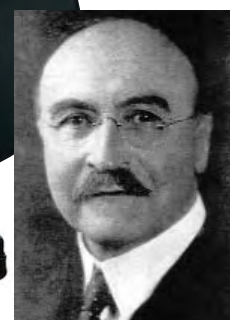
Marcellin Berthelot (1827-1907)



Adolph Kolbe (1818-1884)

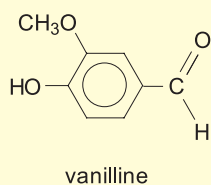


acide acétique



Leo Baekeland (1883-1944)





## Cadre 1 Les dangers chimiques et physiques dans l'industrie alimentaire

L'industrie alimentaire ne fait pas partie de l'industrie chimique mais elle en couvre de nombreux aspects. Lors de la récolte, du traitement, du conditionnement et de l'emballage de denrées alimentaires, des opérations chimiques sont appliquées. Etant donné que par définition, ce secteur peut avoir un impact important sur la santé de la population, une attention particulière est accordée à la sécurité.

On constate en premier lieu les dangers microbiologiques. Ceux-ci peuvent généralement être écartés par des procédés de stérilisation ou de pasteurisation.

Les pollutions chimiques et physiques ne peuvent être limitées dans les aliments que par une surveillance stricte des chaînes de production : de la matière première jusqu'à la consommation.

Lors de l'achat de matières premières brutes et de matières auxiliaires, on veille surtout à la pureté en ce qui concerne les toxines naturelles, les résidus de pesticides et les métaux lourds.

Lors du traitement, des changements chimiques peuvent survenir et occasionner la présence de contaminants résultant du processus, à savoir des substances nuisibles qui interviennent lors du traitement, mais ne doivent pas se retrouver dans le produit fini. Il peut s'agir d'un mélange avec le liquide de refroidissement, des graisses ou des additifs, mais aussi des éclats de verre ou de petites pierres.

Un emballage endommagé peut être une source de danger, mais l'emballage lui-même peut éventuellement être sujet à une décomposition chimique, comme de l'oxydation ou une migration de matières. Même si tout semble en ordre à l'œil nu, il est toujours possible qu'une migration de matières nuisibles de l'emballage vers les denrées alimentaires ait eu lieu. (Voir Mens 56)

Un étiquetage inexact ou incomplet peut s'avérer dangereux pour l'utilisateur, par ex. si celui-ci est allergique à l'une ou l'autre composante. Ainsi, certaines personnes peuvent tomber malades au contact de très petites quantités de glutamate (en anglais : monosodiumglutamate = MSG) ou de sulfite.

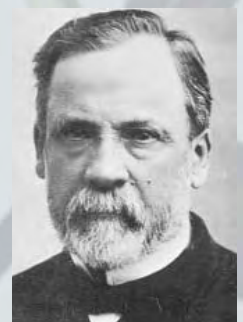
Durant l'entreposage et le transport, les marchandises peuvent être exposées à des polluants spécifiques. Lorsque des bouteilles en plastique contenant de l'eau sont stockées pendant longtemps à proximité d'un réservoir de pétrole, l'odeur de celui-ci peut pénétrer dans la bouteille et atteindre l'eau.

Les consommateurs eux-mêmes peuvent créer des situations dangereuses par une utilisation peu judicieuse.

Ainsi par exemple, des substances nocives peuvent voir le jour lorsque de la graisse de friture est utilisée trop longtemps ou en préparant des produits à une température trop élevée. Lorsque des haricots ne sont pas cuits assez longtemps, les toxines présentes par nature ne sont pas éliminées.

La quantité d'une denrée alimentaire consommée détermine finalement le risque, tout comme la nature et la quantité de pollution présente dans le produit.

<http://www.bardahl.nl/De-chemische-gevaren.932.0.html>



Louis Pasteur (1822-1895)



L'industrie doit surtout produire de manière efficace, c'est-à-dire pour un coût aussi bas que possible. En d'autres termes, il faut rechercher des matières premières bon marché et des installations impliquant moins de main-d'œuvre. En effet, les employés coûtent cher or les investisseurs exigent à juste titre un rendement.

Les méthodes de production de masse ont rendu de nombreuses matières accessibles à de vastes couches de la population qui ne peuvent se permettre des produits exclusifs chers. La "croissance économique" continue a donné lieu à un inéluctable effort dans le monde au sein du commerce et de l'industrie.



Nous avons de plus en plus pris conscience que l'atmosphère, les océans et la surface de la terre ne sont pas EXTENSIBLES à L'INFINI et ne peuvent donc assimiler qu'une quantité limitée de toxiques et autres déchets.

Dans les années 50 du siècle passé, certains chercheurs ont commencé à se demander à voix haute si l'exploitation éffrénée des matières premières naturelles pouvait encore durer longtemps. Des prévisions ont été établies en rapport avec l'épuisement des minerais et autres minéraux. C'est surtout le Rapport du Club de Rome, "Halte à la croissance ?", publié en 1972, qui a fait grand bruit. Une équipe internationale d'experts, sous la direction



de Dennis Meadows, avait brossé un tableau très sombre de la situation des stocks de combustibles fossiles, métaux et autres matières premières.

L'industrie requiert beaucoup d'énergie, surtout sous la forme de combustibles fossiles (charbon, gaz naturel et pétrole), mais ces stocks sont aussi limités. Est-il bien raisonnable de brûler sans réfléchir ce mélange de précieux composés (du carbone) organiques que nous appelons "pétrole" ? La raison pour laquelle ce type de questions est de plus en plus souvent posé se résume en un seul concept : la sensibilisation à l'environnement. Les objectifs économiques ont été de plus en plus confrontés à des valeurs écologiques.



Consommer globalement plus est devenu possible, mais c'est aussi devenu une nécessité économique. Le niveau de vie continue d'augmenter et des professionnels de la publicité inventifs ont toujours su créer de nouveaux besoins. Mais pour contrarier cette tendance, des slogans tels que "Oui à la décroissance" ont été lancés. Voir également le dossier MENS numéro 19 : Les écobilans

## Sensibilisation à l'environnement

Tout comme la révolution industrielle a mené à la production de masse, cette dernière a abouti à un problème de déchets. Nous pouvons attribuer cette situation à différentes causes, comme :

- Lorsqu'on produit beaucoup en un même endroit, les déchets s'y entassent également, dans des concentrations gênantes.
- Vu que les produits finis sont souvent devenus meilleur marché, on accorde moins d'attention aux pièces de rechange. Réparer revient parfois plus cher que remplacer. Nous nous retrouvons ainsi dans une société de prêt-à-jeter.
- Le souci de l'hygiène a fortement augmenté. Mais il y a un revers à l'utilisation de Pampers, aux emballages individuels d'aliments, au lavage et rinçage surabondant de textiles, etc.

### Cadre 2 - Premier souci : l'environnement

Le fabricant belge de détergents, lessives, produits d'entretien et produits de soins personnels, Ecover, s'est attaché au maximum à la valeur écologique de ses produits finis.

Les détergents pour vaisselle à la main Ecover se distinguent des autres par le fait qu'ils ne moussent pas plus que nécessaire. En effet, la mousse ne nettoie pas la vaisselle. Dans les tablettes pour lave-vaisselle, aucuns phosphates ne sont ajoutés en raison de leurs effets nuisibles pour l'environnement.

Les lessives donnent aussi d'excellents résultats à basse température. Pour pouvoir réaliser cela de façon écologiquement responsable, elles contiennent du savon à base végétale et un détergent à base d'huile de colza. De cette façon, elles peuvent garantir une faible toxicité pour la vie dans l'eau et une biodégradabilité complète.

L'absence de mousse, sans avoir recours à des inhibiteurs de mousse comme la silicone, joue également un rôle important.

Les lessives courantes contiennent des agents blanchissants optiques qui adhèrent au linge pendant le lavage. Elles font que le linge a l'air plus blanc qu'il ne l'est en réalité, mais ne contribuent pas à l'action nettoyante de la lessive.

Dans sa production de produits d'entretien, Ecover s'efforce d'alourdir le moins possible le système d'épuration de l'eau.

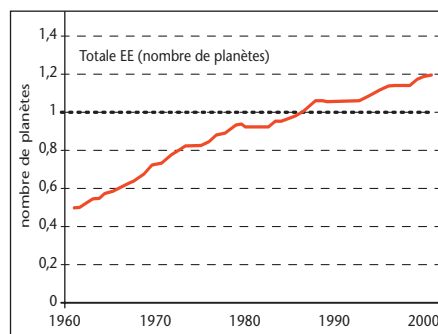
Les produits finis se présentent naturellement dans un emballage écologique. Pour les produits liquides, la société a opté pour des bouteilles et étiquettes en polyéthylène et des bouchons en polypropène. Ces deux matériaux peuvent tous deux être entièrement recyclés. Pour en faire encore plus pour l'environnement, il reste alors possible de remplir à nouveau les emballages existants. De cette façon, on ne crée pas de déchets inutiles ! Les poudres sont emballées dans du carton recyclé à 95 %. Après utilisation, vous pouvez les aplatiser et les trier avec les déchets papier.

Pour plus d'informations, veuillez contacter Ecover Belgium nv



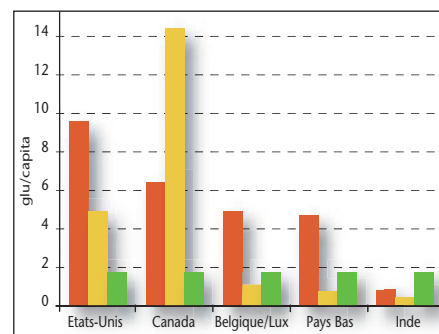
## Recyclage, réemploi, prévention

Dans l'industrie, les tentatives tendant à limiter autant que possible la montagne des déchets et la contamination de l'environnement se déroulent en parallèle-



La figure ci-dessus nous révèle le nombre de terres dont nous avons eu besoin au cours de ces dernières années pour satisfaire de façon durable à tout ce dont l'humanité a besoin. À un moment donné au cours des années quatre-vingt, ces besoins ont dépassé notre seule et unique terre. Autrement dit, à ce moment, nous ne consommons plus notre terre de façon durable, mais présumons trop de ce que notre planète aura encore à offrir aux générations futures.

lement aux efforts demandés par les citoyens. On entend par recyclage des marchandises le fait que les objets devenus inutilisables sont décomposés en leurs divers composants puis ces derniers sont à nouveau transformés en éléments d'objets similaires ou différents. Ainsi, des



Nous comparons ci-dessous "l'empreinte écologique" (EE, ligne orange) d'un habitant des USA, du Canada, de Belgique, des Pays-Bas et d'Inde. Il est clair que le mode de vie dans certains pays requiert beaucoup plus de matières premières que la vie dans d'autres pays. Les lignes jaunes indiquent ce que vous recevriez si chaque pays disposait strictement de sa propre superficie. Les lignes vertes indiquent la "part honnête de la terre" - dont disposerait chaque personne sur terre si nous répartissions de façon équilibrée toute la surface disponible entre tous les hommes ?

bouteilles en verre utilisées sont à nouveau fondues et transformées en de nouvelles bouteilles ou des plastiques sont triés, broyés et transformés en nouveaux objets en plastique. Tous les déchets PVC d'une entreprise sont remis en production par le biais du recyclage.



On va parfois même plus loin encore : les matériaux d'emballage comme les bouteilles, les caisses, les palettes et les conteneurs sont réutilisés (après un nettoyage minutieux). Toutefois, les emballages réutilisables ne sont pas non plus toujours avantageux pour l'environnement : tout dépend de la distance de transport, du poids et du niveau de recyclage de l'alternative à usage unique. Avec une bonne dose d'inventivité, la quantité de matières résiduelles peut souvent être limitée. Voir aussi les dossiers MENS numéros 6, 14, 19, 25, 40 et 56 ainsi que le site Web [www.biomens.eu](http://www.biomens.eu)

### Cadre 3 - Des plantes qui aiment l'argent

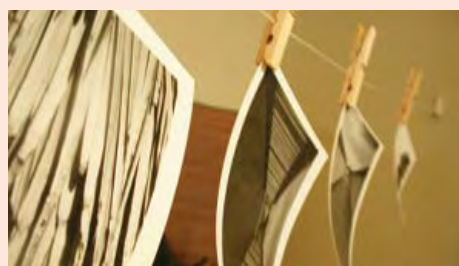
On n'utilise plus d'argent dans la photographie numérique, mais il existe encore toujours une photographie professionnelle où les anciens procédés avec sels d'argent sont appliqués. L'eau de rinçage des films ou du papier photographique contient d'importantes quantités d'argent qui peuvent en grande partie être récupérées par des procédés d'électrolyse. Certaines entreprises sont spécialisées en ce sens.

Les eaux usées qui ne contiennent qu'une faible concentration de sels d'argent et autres, mais ne peuvent toutefois pas être évacuées ainsi, peuvent se débarrasser de leur charge ionique par le biais d'une épuration biologique. Le labo photo anversoïse ASAP Photographic Services (Boomsesteenweg 255 -259 Wilrijk) a reçu notamment pour cela l'Award *Duurzaam Ondernemen* (prix Entreprendre de façon durable) en octobre 2007.

Dans ce procédé, l'eau impure est conduite le long de sortes de roseaux, herbes, myosotis des marais et menthe aquatique vivant en symbiose avec des bactéries qui assimilent les ions métalliques. Cette épuration biologique est tellement efficace que l'eau usée purifiée alimente finalement en eau fraîche un petit étang contenant des carpes Koi (carpes japonaises).

Cette installation n'est pas la seule raison pour laquelle l'entreprise a été primée. Elle travaille en outre avec un maximum d'eau de pluie, des panneaux solaires pour chauffer l'eau de rinçage, de bonnes isolations pour réduire la consommation d'électricité et les temps de travail sont rassemblés pour ainsi perdre le moins de temps de travail possible et minimiser les trajets domicile-travail.

Voir aussi <http://www.asap-fotolab.be>



## Empreinte écologique et durabilité

Chaque être vivant exerce un impact sur son environnement. Vivre signifie par définition "se maintenir". Ce processus se déroule toujours au détriment d'éléments extérieurs aux êtres vivants. Par son mode de vie organisé socialement, l'homme exerce une influence considérable sur la nature qui l'entoure. S'il continue à se comporter à la légère, l'issue pourrait bien un jour s'avérer fatale pour diverses formes de vie, l'homme y compris. À la fin du siècle dernier, les Canadiens William Rees et Mathis Wackernagel ont proposé une méthode pour "mesurer" l'influence de l'homme sur l'environnement. Pour tout ce qu'il consomme et les déchets qu'il laisse derrière lui, on calcule la quantité de terre nécessaire pour réparer ce dommage environnemental. C'est ce qu'ils ont appelé l'empreinte écologique. Pour le Belge moyen, il faudrait 5 ha, alors que la surface terrestre disponible ici ne permet qu'une empreinte de 1,7 ha par personne. Nous vivons dans ce pays, mais aussi dans le reste de l'Occident, bien au-dessus de nos moyens, et ça ne peut plus continuer. Nous devons veiller à ce que notre descendance puisse encore



profiter des richesses naturelles. D'où le concept de "développement durable".

Dans le rapport "Notre avenir à tous" (Our common future) publié en 1987 par la Commission des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement, figure la définition suivante :

"Le développement durable est un développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs." Elle est appelée définition Brundtland, car Madame Brundtland, alors premier ministre norvégien, était présidente de cette commission. À la base du développement durable se trouve le souci des trois P : personnes, planète et profit (ou prospérité). Il s'agit donc d'un compromis entre réussite économique, protection de l'environnement et besoins sociaux. Bon

#### Cadre 4 - Le programme Responsible Care

En 1985, l'industrie chimique a pris spontanément une initiative à l'échelle mondiale visant à conjuguer ses efforts pour promouvoir le respect de l'environnement et des hommes dans ses activités. Les entreprises se sont engagées à tendre constamment à de meilleures performances dans le domaine de la santé, la sécurité et la protection du milieu de vie. Elles vont régulièrement évaluer la situation et révéler les résultats de ces évaluations au public.

Leur premier souci concernait la situation des terrains industriels et la protection des travailleurs. Ensuite, une plus grande attention a été accordée à la sécurité des produits et à la santé des consommateurs.

Tous les aspects relatifs à la sécurité, la santé et l'environnement ont fait l'objet d'une communication étendue avec tous les intéressés : syndicats, autorités, population locale, ONG (organisations non gouvernementales), etc.

Étant donné que les circonstances évoluent sans cesse, le programme Responsible Care doit constamment être adapté. Pour suivre l'évolution de la législation, de nouvelles stratégies sont développées. Des propositions sont également formulées pour apporter des améliorations aux lois et règlements existants.

Entre 10 et 15 % de l'ensemble des investissements du secteur sont consacrés à la protection de la santé des hommes et de la nature.



#### Cadre 5 - Le règlement européen REACH

Il y a quelques années, les membres de l'Union européenne en sont arrivés à la constatation que la politique en matière de substances dangereuses diffère fortement d'un pays à l'autre. Les autorités n'étaient pas au courant de toutes les situations dangereuses dans les entreprises. Les utilisateurs eux-mêmes n'étaient pas toujours suffisamment informés des risques liés à un produit déterminé. Des dizaines de milliers de substances en circulation, on ne connaissait pas assez les effets négatifs éventuels pour les hommes et l'environnement. Par conséquent, les États ont travaillé à l'élaboration d'un règlement européen en la matière.

Le 1er juin 2007, le règlement européen REACH est entré en vigueur. Cette abréviation signifie "*Registration, Evaluation, Authorisation and Restrictions of Chemicals*" (enregistrement, évaluation et autorisation des substances chimiques).

L'élément essentiel de Reach est que chaque entreprise connaisse en principe les risques de toutes les substances qu'elle produit, traite ou transmet aux clients, et établisse des mesures pour gérer ces risques (mesures qui doivent également être prises pour l'entreprise elle-même). Ce règlement est tourné vers trois groupes qui se voient attribuer des obligations spécifiques : les fabricants (ou importateurs), les distributeurs et les utilisateurs.

Fabricants et importateurs ont l'obligation d'enregistrer les substances avec une série de données relatives à la sécurité pour les hommes et l'environnement. Différents délais et différentes exigences s'appliquent à la consistance de ces données. Celles-ci dépendent notamment du volume et de l'ampleur du danger que représente la substance. Les informations relatives aux risques et aux mesures pour gérer ces derniers doivent être transmises aux entreprises de la chaîne de commercialisation. Les utilisateurs de substances doivent indiquer à leurs fournisseurs pourquoi et comment ils vont utiliser les produits.

Pour les substances les plus préoccupantes, une interdiction a été introduite, excepté si l'UE (sous de strictes conditions) accorde une autorisation de production et d'utilisation. Font notamment partie de ces substances très préoccupantes, celles qui s'avèrent cancérigènes, mutagènes, présentant des effets perturbateurs endocriniens, susceptibles d'engendrer une bioaccumulation et celles qui sont toxiques. Dans des cas spécifiques, l'utilisation de ces produits est nécessaire et donc autorisée sous certaines conditions.

Pratiquement toutes les substances sont couvertes par Reach, même celles qui, en tant que telles, ne sont pas commercialisées mais traitées dans des fabrications comme les peintures et les encres, ou dans des objets, comme des plastifiants. Seules les catégories spéciales, comme les substances radioactives, constituent une exception.

Le fait que l'introduction de ces règles a rencontré une résistance importante de la part des entreprises ne doit surprendre personne. Certains inconvénients sont en effet liés au système.

- L'enregistrement requiert un travail administratif relativement important : recherche des propriétés de toutes les substances utilisées, notation et transmission des données... Il en résulte des frais pour les entreprises. On peut toutefois s'attendre à ce que l'échange de données implique des économies sur le long terme.
- On touche au secret de certains processus chimiques. Si toutes les substances utilisées (et leurs quantités) sont révélées, il n'est pas difficile de découvrir la méthode de production.
- L'Europe dispose alors d'une législation plus sévère que les autres continents, ce qui peut nuire à la position des entreprises européennes en matière de concurrence.

Toutes ces objections ont été rejetées par l'UE, mais les entreprises éventuellement concernées se sont vu promettre le soutien nécessaire des institutions européennes et nationales.





Paracelsus von Hohenheim  
(1493-1541)



Paul T. Anastas



John C. Warner

nombre de gouvernements se sont engagés à prendre des mesures susceptibles de rendre cet objectif réalisable. La Belgique s'est même vu attribuer un Secrétaire d'État à l'Énergie et au Développement durable. Par secteur, des décisions concrètes doivent être prises dans tous les pays des Nations unies. L'industrie chimique en Belgique fournit des efforts considérables pour adapter ses processus de production dans un développement durable. Elle a enregistré une avance spectaculaire dans le domaine de la conservation de l'environnement, la consommation énergétique efficace, la sécurité et la santé. Le secteur s'est engagé par le programme "Responsible Care" à améliorer continuellement ses performances dans ces domaines.

## La chimie verte est nécessaire et possible

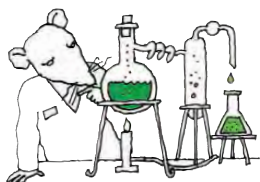
La nécessité de trouver des directives pour une industrie chimique qui soit respectueuse des hommes et de l'environnement tout en étant économiquement responsable a conduit à une description de ce que l'on entend par "chimie verte". Les Américains Paul T. Anastas et John C. Warner peuvent être considérés comme les pionniers de cette histoire. En 1998, ils publiaient un livret novateur : "Green Chemistry, Theory and Practice" (Oxford University Press – Chimie verte, théorie et pratique). Dans celui-ci, ils décrivent systématiquement de quelle façon la pratique chimique peut être infléchie pour devenir une activité "durable". Pour ce faire, un certain nombre d'idées anciennes doivent tomber. Ainsi, on ne peut plus accepter l'affirmation que la pollution ou les toxiques disparaissent par dilution (dilution is the solution to pollution). Les hautes cheminées servaient surtout à répartir les gaz et particules sur un territoire le plus vaste possible. Depuis Paracelsus (Philippus Aureolus Theophrastus Bombastus von Hohenheim – 1493-1541), nous savons en effet que la toxicité est une question de concentration. Mais il est établi aujourd'hui qu'un toxique est un toxique et doit

autant que possible être évité. On parle en effet de bio-accumulation (accumulation de substances dangereuses dans des espèces animales ou des variétés végétales déterminées) et de toxicité chronique (toxicité en cas d'exposition prolongée). En outre, l'industrie ne doit pas uniquement tenir compte des sous-produits toxiques. Au cours d'un processus chimique, des produits intermédiaires sont souvent formés et peuvent s'avérer dangereux, même s'ils disparaissent ensuite par une nouvelle transformation en d'autres substances. L'éventuelle toxicité des solvants et catalyseurs doit également être prise en compte. En outre, l'innocuité d'un réactif ne constitue pas encore la garantie d'un processus respectueux de l'environnement : le réactif lui-même pourrait être préparé suivant un procédé très préjudiciable.

La valeur d'une technique chimique n'est plus exclusivement mesurée en fonction de son efficacité. Les aspects de durabilité jouent un rôle crucial dans l'appréciation d'une technique. Depuis longtemps, un procédé économe en énergie n'est pas seulement intéressant d'un point de vue économique, la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, et donc l'impact environnemental, est également pris en compte aujourd'hui.

**Chimie verte signifie :**

**PROCESSUS CHIMIQUES DURABLES ET RESPECTUEUX DES HOMMES ET DE L'ENVIRONNEMENT**



## Les douze principes de la chimie verte

Anastas et Warner ont résumé les principes de la chimie verte dans une sorte de "12 commandements de l'industrie chimique". Nous pouvons les décrire comme suit :

- Il vaut mieux éviter les déchets plutôt que de devoir les traiter par la suite.
- Dans les processus de synthèse, la masse des réactifs doit autant que possible se retrouver dans les produits finis. On veille ainsi en effet à une masse inutile aussi petite que possible.
- Les synthèses doivent autant que possible utiliser et générer des substances qui ne sont pas toxiques pour l'homme et la nature.
- Choisir des réactifs aussi efficaces que possible.
- Utiliser le moins d'adjuvants possible (par ex. des solvants) et de préférence pas d'adjuvants toxiques.
- Éviter le gaspillage d'énergie, notamment en préférant travailler à température ambiante.
- Préférer les matières premières renouvelables.
- Ne suivre aucun détour inutile du produit de départ jusqu'au produit fini.
- Rechercher toujours un catalyseur adapté.
- Créer surtout des produits finis dégradables et veiller à ce que les produits recyclés soient eux-mêmes sans danger pour l'environnement.
- Organiser des points de contrôle dans le processus, de manière à ce que les substances dangereuses puissent être décelées dès leur apparition.
- Choisir les substances et l'état des substances de manière à ce que le risque d'accident (explosion, incendie) soit minimal.

Ces 12 règles constituent un bon fil conducteur mais elles ne peuvent être des "règles d'or" fixes. Ce ne serait pas très sensé de remplacer un processus chimique sur la base d'un produit intermédiaire toxique par un processus "plus vert" qui consomme plus d'énergie ou de remplacer des combustibles fossiles par des renouvelables lorsque ce changement serait au détriment de l'approvisionnement en denrées alimentaires et de la biodiversité.



### Cadre 6 Exemple de technologie chimique verte innovante

La société Solvay construira d'ici la fin 2009 en Thaïlande une usine de grande envergure pour la production d'épichlorhydrine sur la base du processus Epicerol® respectueux de l'environnement.

La demande d'épichlorhydrine a augmenté beaucoup plus fortement que la croissance de l'économie mondiale au cours de ces dernières années et connaît actuellement en Chine une augmentation de plus de 20 % par an. L'épichlorhydrine est un composant essentiel dans la production des résines époxydiques qui sont de plus en plus utilisées en électronique, éléments automobiles, avions et éoliennes.

Le nouveau processus de production est basé sur la transformation de la glycérine, un sous-produit renouvelable de l'huile de colza pour l'industrie du biodiesel.

Le processus Epicerol® s'est vu attribuer un "Innovation Award" (prix de l'innovation) en 2007 à Québec City lors de la réunion annuelle de l'"American Oil Chemists Society" (AOCS) et a été proclamé "Innovation chimique au service de l'environnement" en 2006 en France par le Ministère français de l'Industrie, en recevant le trophée Pierre Potier.

*Vous trouverez plus d'informations sur [www.solvay.com](http://www.solvay.com)*



## Les matières premières vertes

Dans leur livre "Green Chemistry" (la chimie verte), Anastas et Warner soulignent l'importance des matières premières "renouvelables" pour remplacer les produits pétroliers.

On observe par exemple une demande importante de polymères pour la fabrication d'une vaste gamme de matières synthétiques. L'utilisation de monomères traditionnels comporte certains risques pour l'environnement et pour la santé de la population. Ceux-ci peuvent être évités en partant de matières premières biologiques davantage respectueuses de l'environnement comme les polysaccharides. Les variétés de féculs de céréales et plantes à tubercules (par ex. les pommes de terre), ainsi que la cellulose de diverses fibres végétales en sont quelques exemples. Les polymères synthétiques fabriqués à partir de polysaccharides, n'occasionnent en outre aucune nuisance pour l'environnement après leur période utile car ils sont biodégradables. Un travail intense est actuellement en cours pour mettre au point des méthodes permettant d'utiliser des algues marines comme produit de base pour des polymères.

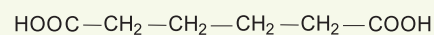
Des produits industriels intermédiaires importants peuvent être fabriqués à partir du glucose, un monosaccharide provenant notamment des fruits comme le raisin, mais aussi facilement constitués à partir de disaccharides comme notre sucre habituel (saccharose). L'industrie a par ex. besoin de grandes quantités d'hydroquinone, catéchol et acide adipique. Traditionnellement, ces produits intermédiaires sont fabriqués à partir de



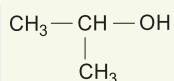
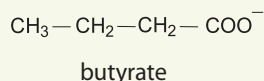
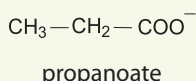
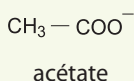
benzène, connu comme étant carcinogène. La biosynthèse des produits de base mentionnés à partir du glucose réduit dans une large mesure la présence de substances toxiques. Le procédé se déroule donc également dans l'eau, ce qui implique un risque moindre par rapport au travail dans des solvants organiques.

Pour utiliser utilement les déchets d'origine animale ou végétale, différentes technologies sont élaborées. Ces biomasses contiennent des déchets ménagers, des boues d'égout, du fumier et des déchets agricoles. Après traitement à la chaux, cette matière peut être transformée par des micro-organismes dans des cuves de fermentation anaérobies en sels d'acides gras volatiles tels que l'acétate de calcium, le propanoate de calcium et le butyrate de calcium. À leur tour, ces sels peuvent être transformés en substances chimiques utilisables de trois façons. À l'aide d'acides forts, les acides organiques (acide acétique, acide propanoïque et acide butyrique) sont libérés des sels. En chauffant, on peut en extraire des cétones et par hydrogénation, les alcools correspondants : isopropanol, isobutanol et isopentanol.

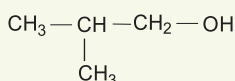
L'introduction de cette technologie des déchets peut faire en sorte que le besoin en maïs soit nettement moindre. Et en ce sens, c'est avant tout l'environnement qui y trouve son compte car la culture de maïs requiert beaucoup d'engrais chimiques, d'herbicides et de pesticides (danger pour les eaux souterraines) ainsi qu'un traitement intense du sol (dommages structurels).



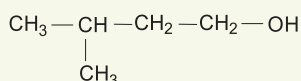
acide adipique



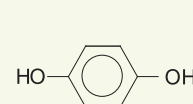
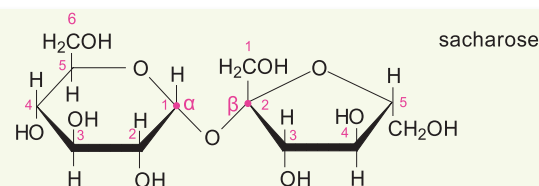
isopropanol



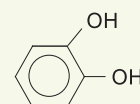
isobutanol



isopentanol



1,4-dihydroxybenzène  
(= hydroquinone)



1,2-dihydroxybenzène  
(= catéchole)



## Cadre 7 - Les bioplastiques : bien plus que des matières synthétiques dégradables

Le long de nos routes et dans nos cours d'eau, on aperçoit souvent des plastiques qui traînent sous la forme de sachets à provisions, bouteilles et gobelets. Il s'agit ici encore d'un des inconvénients de la production de masse de matériel bon marché : après utilisation, on le traite souvent avec négligence. Pour réagir contre cette tendance, l'industrie des bioplastiques s'est développée.

La qualification de "bioplastique" en ce qui concerne un polymère synthétique a clairement pour but d'être "biologique", c'est-à-dire, respectueuse de l'environnement. Mais dans le contexte européen, il n'existe aucune description officielle de ce qu'un bioplastique peut désigner. Il n'existe pas non plus de définition légale du terme "dégradable" ou encore "biodégradable". Les emballages industriels doivent toutefois en Europe satisfaire à des conditions strictes pour pouvoir porter l'étiquette "compostable". Il ressort d'une étude de FostPlus que le consommateur belge accorde un plus grand intérêt à l'utilisation de matières premières renouvelables qu'à la compostabilité d'un produit fini. Cet écheveau de termes mérite bien quelques éclaircissements.

Un polymère est au fond toujours dégradable : dans des circonstances adaptées de température, pression, présence d'un bon catalyseur ou d'adjuvants, les molécules concernées peuvent être transformées en molécules plus petites : des monomères ou des particules encore plus petites. La combustion est également une forme de dégradation.

Si la fragmentation en molécules plus petites peut être exécutée par des (micro)organismes vivants, on dit que cette matière est biodégradable. Elle peut être abandonnée dans la nature et lentement "disparaître" par elle-même. Pratiquement toutes les substances organiques entrent ici en ligne de compte, en ce compris certains polymères synthétiques. Les composés anorganiques ou minéraux comme le marbre et les métaux sont plus rarement "décomposés" par des bactéries, des mousses ou d'autres plantes plus hautes.

La biodégradabilité de ces substances peut souvent être accompagnée d'un grand point d'interrogation. Il s'agit généralement d'acide polylactique (PLA – polylactic acid). Ces polymères sont effectivement dégradables, mais seulement à 60°C et 70 % d'humidité. Les abandonner simplement dans la nature n'est donc pas une option acceptable : seules des installations de compostage industrielles fournissent ces conditions.

La dégradabilité d'un matériel organique peut être mise à profit de deux manières. Par le traitement aérobie, on veille à ce que les organismes qui apprécient l'oxygène transforment les déchets en dioxyde de carbone, eau et compost (un amendement pour le sol). En l'absence d'air, il est d'autre part possible, à l'aide de bactéries anaérobies, de préparer du méthane, un gaz qui peut ensuite être brûlé pour en extraire de l'énergie.

Au niveau mondial, différents bioplastiques compostables sont fabriqués, par ex. des gobelets, des bouteilles, des tasses et d'autres emballages. Les bioplastiques contemporains sont essentiellement focalisés sur leur compostabilité. On ne peut pas parler jusqu'à présent d'un franc succès car les installations de compostage refusent le matériel d'emballage qui ne peut, avec une absolue sécurité, être décomposé biologiquement. Le compost ne peut contenir aucun résidu de plastiques habituels ou d'autres matériaux transitoires. Ce serait en outre un non-sens de créer des instruments de laboratoire de compostage si, après les avoir utilisés, il reste encore des substances chimiques dangereuses. Utiliser de grandes quantités d'eau pour rendre ce matériel à nouveau propre n'est de toute évidence pas non plus une option respectueuse de l'environnement.

La génération suivante de bioplastiques sera dès lors surtout axée sur l'utilisation de matières premières renouvelables. Dès la conception, le matériel de base le plus respectueux de l'environnement est donc recherché. Ce faisant, l'accent est davantage mis sur la durabilité que sur la dégradabilité. Avec des plantes agricoles comme le maïs, qui peuvent servir à l'alimentation humaine, nous allons faire moins de matières synthétiques à l'avenir. L'attention se portera davantage sur les déchets organiques et sur les plantes qui n'occupent pas de terres agricoles normales, comme les algues marines.

## Paramètres d'évaluation de la chimie verte selon EcoScale

L'appréciation des procédés de fabrication chimiques, surtout les nouveaux, est un élément essentiel de la chimie verte. L'entreprise ostendaise EcoScale a proposé de comparer systématiquement entre elles les différentes méthodes de synthèse. (*paru dans le Beilstein Journal of Organic Chemistry, 2006. 2 N°3*)

Nous soulignons quelques aspects de cette méthode. Les facteurs suivants, qui ont une influence sur la durabilité, le respect de l'environnement et la valeur économique d'un processus de production sont notamment évalués:

### Économie d'atomes

On entend par là : le rapport entre la masse molaire du produit de synthèse et la somme des masses molaires de tous les produits finis dans l'équation chimique stœchiométrique.

Il s'agit d'une mesure de la quantité de réactif se retrouvant dans le produit fini.

En cas de réactions d'addition, les molécules additionnelles peuvent théoriquement être entièrement assimilées par le substrat : l'économie d'atome est alors équivalente à un sur 100 %. Les réactions de substitution présentent nécessairement une économie d'atomes inférieure. L'objectif consiste à choisir les chemins réactifs offrant l'économie d'atomes la plus importante possible.

### Facteur environnement

Il s'agit du rapport entre la masse des sous-produits et la masse totale des produits finis. On observe ainsi par ex. que le facteur environnement est trente fois inférieur pour l'alkylation du benzène avec un catalyseur hétérogène plutôt qu'avec un catalyseur homogène. Une nouvelle méthode de synthèse pour citrate de sildénafil (viagra®) produit 6 kg de déchets par kg de produit utile, tandis que pour d'autres procédés industriels, la moyenne est de 20 à 100 kg.

### Quotient environnemental

Pour tenir compte de la nocivité des sous-produits, le facteur environnement est multiplié par un quotient environnemental Q. Pour le sel de cuisine (NaCl), on peut établir que  $Q = 1$ , tandis que les métaux lourds présentent un Q oscillant entre 100 et 1000. Il existe un programme informatique reprenant le quotient environnemental de toutes les substances.

### Rendement de masse effectif

Ce facteur indique le rapport de la masse du produit souhaité sur la masse des sous-produits toxiques. Il doit donc tenir



Le sel est récolté sous forme de relativement gros cristaux précipitant au fond de la mince couche d'eau saturée

compte de la toxicité pour l'environnement.

### Intensité de la masse

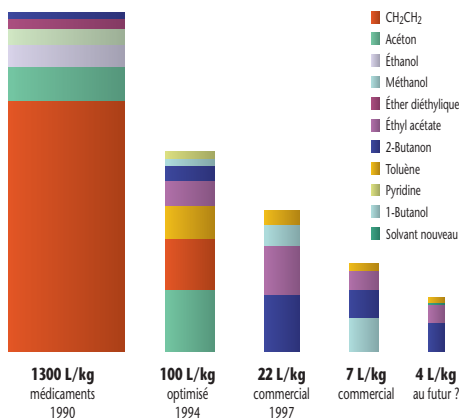
Ce facteur tient compte de la masse totale de toutes les substances qui ont été utilisées dans le processus. Il s'agit du rapport de cette masse sur la masse du produit fini. Dès lors, les solvants, les adjuvants d'extraction et les adjuvants de cristallisation sont également pris en compte.

### Profil du processus

Certains éléments davantage axés sur l'économie sont pris en compte, comme le prix de revient des matières premières, les brevets, les mesures de sécurité requises, les équipements spéciaux, etc.

### Calcul de la "valeur verte" selon EcoScale

L'objectif est de soumettre chaque nouveau procédé chimique à un test d'évaluation puis seulement de faire un choix. Cette évaluation est exprimée en points. Un procédé idéal reçoit cent points. Si une substance A (un substrat) réagit à (ou en présence de) une substance B bon marché pour donner le produit fini C avec 100 % de rendement à la température ambiante avec un risque minimal pour l'opérateur et un effet minimal sur l'environnement, ce procédé reçoit 100 points. Pour l'évaluation de la "valeur verte" d'une synthèse par ex., des points sont retirés (de 100) pour chaque écart par rapport à la situation idéale. Ces points négatifs peuvent se rapporter à six aspects différents du procédé :



La figure ci-dessous nous indique la quantité de déchets produite par les processus de production successifs du Viagra (ainsi que le type de déchets qui était et est produit).

1. le rendement
2. le prix des réactifs
3. la sécurité
4. la nécessité de techniques et instruments spéciaux
5. la température de fonctionnement et la durée du processus
6. la préparation, l'épuration et la méthode de décomposition.

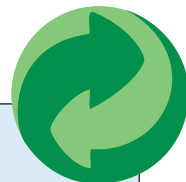
Sur la base d'une échelle détaillée de "points de pénalité" pour des éléments de ces six aspects, un EcoScale est calculé pour un procédé étudié en soustrayant de 100 la somme des points de pénalité. Pour donner une idée :

- Des matières premières très chères coûtent 5 points
- Des substances toxiques coûtent 5 points, explosives, 10
- Travailler sous haute pression peut coûter 3 points
- Un fort refroidissement ou réchauffement coûte 2 à 5 points
- Une distillation ou sublimation coûte 3 points
- La séparation chromatographique classique coûte 10 points.

On peut par exemple comparer de cette façon deux méthodes pour transformer un halogénure d'aryle (par ex. bromobenzène ou iodobenzène) en un amide primaire (par ex. benzamide). Assez bien de médicaments sont des dérivés du benzamide.

L'une reçoit 47 points de pénalité (donc un score de  $100 - 47 = 53$ ) et l'autre reçoit 68 points de pénalité (score 32). Dans le cadre de la chimie verte, c'est le premier procédé qui doit être préféré.

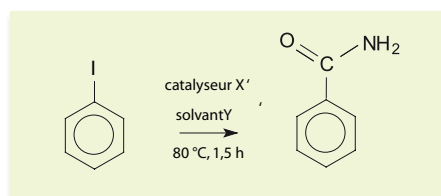
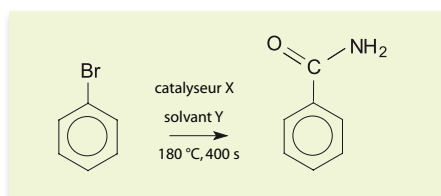
Pour comparer entre eux deux ou plusieurs modes de fabrication, il peut donc s'agir d'un instrument intéressant. Mais le score donne également en soi une indication de la "valeur verte" d'un système. Ainsi, on peut qualifier une méthode de synthèse de remarquable si elle obtient un score de plus de 75, acceptable si elle totalise plus de 50 et inadéquate si le résultat est inférieur à 50.



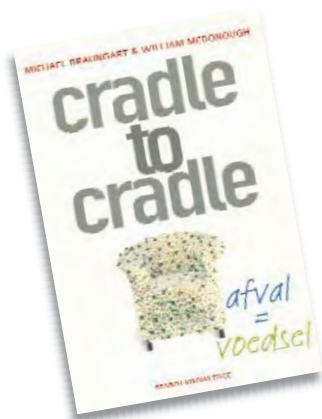
### Cadre 8 Le point vert

La législation de l'Union européenne stipule que chaque État membre doit mettre en place une instance chargée du recyclage des matériaux d'emballage. L'Allemagne a été la première à le faire. Les entreprises qui paient une contribution pour l'élimination des emballages utilisés peuvent l'indiquer sur leurs produits par le biais d'un "grüne Punkt". Il s'agit d'un logo vert illustrant deux flèches tournant l'une autour de l'autre. En Belgique, ce "point vert" signifie que l'entreprise qui a lancé le produit sur le marché paie une contribution à FostPlus pour la collecte sélective, le tri et le recyclage des déchets d'emballages ménagers. Le point vert, qui est par ailleurs souvent imprimé en noir et blanc, ne donne donc aucune indication sur la réutilisabilité, la recyclabilité ou la compostabilité de l'emballage, sans même parler du contenu.

Les trois régions belges, Wallonie, Flandre et Bruxelles-Capitale, ont conjointement mis en place une organisation pour la planification et la réglementation du traitement des déchets d'emballage : la Commission Interrégionale de l'Emballage. Celle-ci a reconnu Fost Plus comme seul organisme agréé pour la reprise des déchets d'emballages d'origine ménagère. En ce qui concerne les déchets d'emballages des entreprises, l'organisme agréé est Val-I - PAC.







## Jamais plus de déchets : "cradle to cradle"

La méthode la plus drastique pour ne pas charger l'environnement avec toutes sortes de déchets consiste à veiller à ce que tous les produits soient conçus en gardant en vue l'une ou l'autre forme de récupération. Si toutes les matières que nous utilisons peuvent être indéfiniment réutilisées ou peuvent finalement se voir attribuer une fonction utile dans la nature, par ex. comme aliment pour les êtres vivants, l'avenir de la terre est assuré. Telle est l'idée de base dont sont partis le chimiste Michael Braungart et l'architecte William McDonough dans le livre qu'ils ont écrit en 2002 et qui trouble encore toujours le monde industriel : *"Cradle to cradle : Remaking the Way We Make Things"* ("Du berceau au berceau", les mille et une vies des objets).

Au lieu de profiter d'un matériau du berceau jusqu'à la tombe (from the cradle to the grave), ils ne veulent voir aucune fin à son utilité : il n'y a pas de "tombe", mais un nouveau berceau. D'où l'expression *"cradle to cradle"*, du berceau au berceau, souvent abrégée *"C2C"*. Chaque produit doit être conçu de manière à ce que la vie des matériaux qu'il comporte se poursuive simplement – à l'infini – en un cercle éternel du berceau vers le berceau. Les restes, de quelque nature que ce soit, doivent être soit biodégradables (ces déchets sont une nourriture pour la nature), soit constituer la base pour de nouveaux produits de la même qualité, ou mieux encore, d'une qualité supérieure. Recycler devient alors *"up-cycle"* (améliorer en recyclant). Par conséquent, deux cycles sont donc possibles : le cycle biologique et le cycle technique. Dans le premier cas, les déchets sont transformés en aliments, dans le deuxième cas, de nouvelles matières premières sont créées.

Braungart et McDonough défient le monde de concevoir des produits plus intelligents et rendre les processus de production propres et pleinement éco-efficaces. De cette façon, les matériaux peuvent se retrouver dans les cycles biologique ou technique et restent indéfiniment réutilisables.



Les trois questions de base qui doivent être posées concernant les "déchets" pour découvrir si un produit a été conçu suivant le concept C2C sont :

1. est-ce à manger ?
2. est-ce biodégradable ou recyclable sans perte de qualité ?
3. est-ce à brûler pour générer de l'énergie ?

Dans la "philosophie" C2C, il ne s'agit pas uniquement des substances. Des produits entièrement finis sont directement visés, des crayons aux bâtiments industriels. Tout, depuis le début, doit être conçu en gardant à l'esprit l'élimination des déchets. Ça ne devrait pas nous étonner : l'un de ces deux pionniers est en effet architecte (McDonough).

La nouvelle mission de conception que Braungart et McDonough proposent dans leur livre devrait notamment mener à la réalisation de ce qui suit :

- des bâtiments qui, tout comme les arbres, produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment et purifient leurs propres eaux usées
- des usines qui évacuent des eaux usées d'une qualité semblable à de l'eau potable

- des produits qui ne deviennent pas des déchets inutiles lorsque leur durée d'utilisabilité est terminée, mais que vous pouvez jeter pour qu'ils servent de nourriture aux plantes et aux animaux, ou que vous pouvez renvoyer dans les cycles industriels pour servir de matières premières de haute qualité à de nouveaux produits
- un transport qui améliore la qualité de la vie et fournit des marchandises et des services
- un monde d'abondance au lieu d'un monde de frontières, pollution et déchets.

## Réalisations avec la philosophie C2C

(voir aussi [www.c2c.duurzaamheid.nl](http://www.c2c.duurzaamheid.nl))

Les promoteurs de *"cradle to cradle"* ont déjà remporté quelques succès dans le monde de l'industrie.

Ainsi, le constructeur automobile Ford a conçu un prototype d'un véhicule tout terrain C2C.

À titre expérimental, Unilever a conçu un sachet qui est non seulement dégradable mais contient également des engrais et des semences de variétés de plantes menacées. Ainsi, abandonner ses déchets n'est plus nuisible pour l'environnement, mais contribue au contraire positivement au maintien d'une flore variée.

Herman Miller a créé une chaise de bureau recyclable à 96 % et dont les matériaux peuvent être décomposés jusqu'au niveau moléculaire.

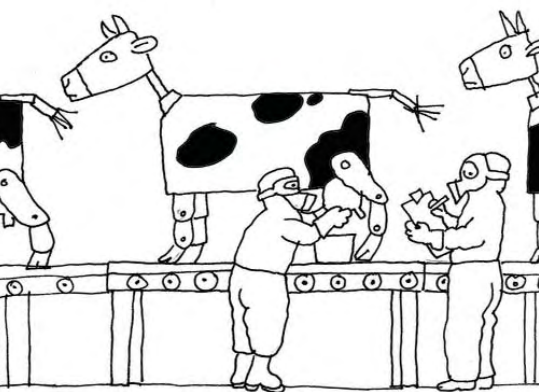
Voir aussi [www.hermanmiller.be/policy53](http://www.hermanmiller.be/policy53)

Trigema, le plus grand fabricant de T-shirts en Allemagne a développé avec Michael Braungart T-shirt entièrement compostable.

Les chaussures de sport Nike Considered sont conçues suivant le C2C.

Voir aussi [www.nikeresponsibility.com/#environment-design](http://www.nikeresponsibility.com/#environment-design)





Le fabricant de tapis Desso a introduit des mesures politiques à chaque stade du processus de production, susceptibles de déboucher sur des produits soit entièrement biodégradables, soit recyclables comme matière première pour de nouveaux produits. Ensuite, l'entreprise a lancé un projet pilote où les tapis usagés des clients sont récoltés pour être à nouveau traités.

Voir aussi [http://www.desso.com/CO\\_DESSO\\_als\\_lichtend\\_voorbeeld\\_van\\_het\\_Cradle\\_to\\_Cradle-concept\\_NL.html](http://www.desso.com/CO_DESSO_als_lichtend_voorbeeld_van_het_Cradle_to_Cradle-concept_NL.html)

L'usine de textile suisse Rohner fabrique des tissus en fibres synthétiques dans toutes les couleurs de l'arc-en-ciel. La retaille était considérée par les autorités comme un déchet chimique dangereux. Le matériau de base synthétique a alors été remplacé par un matériau naturel – même nutritif – et biodégradable à base de coton. Après de longues discussions avec Braungart et des tests approfondis par Ciba Geigy (entreprise chimique faisant aujourd'hui partie du groupe pharmaceutique Novartis), les colorants toxiques ont été remplacés par seize colorants. Avec ceux-ci, ils peuvent créer absolument tout l'arc-en-ciel, et ces substances sont tout à fait inoffensives pour les plantes et les animaux – ainsi que les hommes. Les déchets pleinement compostables sont aujourd'hui transformés en feutre et vendus aux agriculteurs locaux



qui en recouvrent les plantes en hiver. Les eaux usées quittent l'usine plus propres qu'elles n'y sont arrivées. Le textile peut, une fois usé, servir d'engrais.

## Battage publicitaire, utopie, solution ultime ou commerce pur ?

"Cradle to cradle" a résonné partout dans le monde. Les réactions ont été de frénétiquement enthousiastes à impitoyablement négatives.

Sous l'intitulé "L'usine chimique idéale : utopie ou réalité de demain ?" Jaap Schouten du TU Eindhoven parlait en avril 2008 de façon très critique au sujet de Cradle to Cradle

Voir : [www.chem.tue.nl/scr](http://www.chem.tue.nl/scr)

Sous l'intitulé "Cradle to Cradle est une fausse piste" Karel Bijsterveld écrivait dans "Building Business" (le 9 juillet 2008), notamment :

"La revendication d'une croissance sans retenue me semble un non-sens dangereux. Ça ne sert à rien. C2C se limite en effet à l'aspect matériel, l'innovation du produit. Ce n'est pas mal, mais C2C amorce à peine des pistes pour l'aménagement du territoire de notre pays. C'est l'ancien répertoire auquel on a ajouté un toit vert, l'aménagement du territoire multiple, ça fonctionne. En ce sens, C2C n'est pas une voie principale, tout au plus une voie secondaire." Et de plus : "Peter van Vliet, président d'INSnet, fondation pour promouvoir le développement durable, a trouvé fâcheux qu'il ne soit pas tenu compte des frais de transport et d'énergie supplémentaires qui allaient découler du C2C."

Voir aussi : [www.cradletocradle.nl/home/898\\_cradle-to-cradle-is-een-dwaalspoor.htm](http://www.cradletocradle.nl/home/898_cradle-to-cradle-is-een-dwaalspoor.htm)

Dans le périodique "Trouw", l'opinion suivante était proposée pour que les lecteurs envoient leurs commentaires :

"Cradle to Cradle est un battage publicitaire irréfléchi".

"Nous ne devons pas nous laisser endormir trop facilement.... Il est presque inévitable que la technosphère augmente par rapport à la biosphère... L'utilisation de substances dégradables simples n'est pas une garantie de succès. Si l'on en élève suffisamment la concentration, tout est toxique. ... Le fumier de quelques vaches dans le pré maintient le sol fertile, mais trop de fumier intoxique le sol et l'eau potable.

Les conséquences des systèmes C2C pour le transport (le démontage et la réutilisa-



tion des produits entraînent plus de transport) et l'utilisation de l'énergie (le recyclage requiert beaucoup d'énergie) restent la plupart du temps inexpliquées.

Il est clair tout au moins que C2C mène à des résultats durables."

Toutes les appréciations ont donné lieu à de vives réactions, aussi bien positives que négatives. L'éternel recyclage semble en effet être un mouvement perpétuel. Mais C2C tient effectivement compte, cela dit en passant, de la fourniture d'énergie nécessaire pour que le cycle continue à tourner. Rien n'échappe, il est vrai, aux lois de la thermodynamique : pour une amélioration, il faut de l'énergie.

## essenscia publie le premier rapport sectoriel de développement durable

Le développement durable s'inscrit au cœur de la mission (1) de essenscia, la fédération des industries chimiques et des sciences de la vie. Déterminée à traduire son intention en actes concrets, la fédération de la chimie et des sciences de la vie fait aujourd'hui un pas de plus en annonçant la future publication de son premier rapport de développement durable. Ce document couvrira aussi bien les dimensions économiques et sociétales



perpetuum mobile





que les prestations environnementales du secteur. essenscia sera ainsi le premier secteur belge à publier, de manière officielle, un rapport aussi large incluant l'ensemble des paramètres essentiels pour ses activités.

Un premier set d'indicateurs pertinents pour le secteur est en cours d'élaboration. Il se base sur la méthodologie GRI (*Global Reporting Initiative*), qui a été développée par les Nations Unies afin d'assurer un « reporting » standard pour des multinationales soucieuses d'évaluer leurs progrès en matière de durabilité. Outre le choix des indicateurs, la méthodologie GRI prescrit une série d'analyses afin de garantir, au terme du processus, la publication d'un rapport de durabilité pertinent et alimenté par les contributions de stakeholders directement concernés.

Dans sa méthode de travail, essenscia a choisi de croiser ses propres analyses avec les rapports de durabilité publiés par certaines de ses entreprises membres, avec des indicateurs sélectionnés par d'autres organisations belges et internationales ainsi qu'avec des rapports similaires publiés à l'étranger. Elle a ensuite tenu à valider le choix des indicateurs retenus en interne par des experts extérieurs et reconnus. A ce stade du processus, essenscia consulte divers stakeholders issus du monde académique, des syndicats et des ONG.

Outre les indicateurs classiques tels que la contribution du secteur au PIB, à l'emploi direct et indirect ou encore les émissions dans l'air, l'eau, le sol et les déchets de tous types, la fédération souhaite publier des données concernant le transport, la mobilité ainsi que les produits et les services rendus par le secteur dans son ensemble, depuis les produits issus de la chimie de base et de la pétrochimie, jusqu'aux produits de grande consommation tels que les détergents et les peintures en passant par les produits

phytosanitaires. essenscia entend démontrer que les entreprises de la chimie et des sciences de la vie fournissent des solutions durables à d'autres acteurs économiques grâce à des produits et services qui permettent d'augmenter la qualité de vie, tout en minimisant les impacts négatifs sur l'environnement. Ce rapport de durabilité sera publié au troisième trimestre 2009. Il s'inscrit dans la continuité de l'initiative, *The Essence of Life*, menée en partenariat avec *Living Tomorrow* et visant à montrer aux jeunes les contributions de la chimie, des matières plastiques et des sciences de la vie au développement durable (voir annonce en page 16).

Plus d'infos : [www.essenscia.be](http://www.essenscia.be).

## Et demain...

Dans ce qui précède, nous avons pu constater que les questions auxquelles les chimistes cherchent une réponse ont fortement évolué au fil des années. Ils ont tout d'abord cherché des moyens de copier des substances intéressantes de la nature. Puis, ils ont trouvé des substances qui n'apparaissaient pas dans la nature. Ensuite, ils ont essayé de réaliser les processus de production les plus responsables d'un point de vue économique. Dans la recherche chimique fondamentale et l'industrie chimique, il n'est dûment tenu compte des facteurs sécurité humaine et conservation de la nature que depuis peu. Cette tendance va sans nul doute encore s'intensifier pendant de longues années, mais nul ne peut cependant prédire dans quelle direction la science va finalement guider la société.

Peut-être allons-nous nous retrouver au milieu des organismes génétiquement modifiés. Une société britannique évolue à tous égards en ce sens. Des bactéries vivant normalement dans des tas de compost et y produisant de l'acide lactique à

partir de toutes sortes d'hydrates de carbone, bon pour la production éventuelle de bioplastiques (PLA), ont été transformées en bactéries produisant de l'éthanol par l'implantation des gènes adaptés. Ces TM 242 se nourrissent de déchets industriels et agricoles, de résidus alimentaires, de papier, de certains plastiques, etc., tandis que de l'éthanol est isolé. Ce procédé ouvre de nouvelles perspectives en termes de production énergétique bon marché. Mais peut-être est-il plus sensé de transformer tout d'abord l'éthanol en substances synthétiques utiles et d'en brûler plus tard les déchets pour générer de l'électricité...

Il y a encore du pain sur la planche pour les chimistes !

*The purpose of life is life itself. Well, I would happily say the same thing about sustainable development. I would happily say the same about civilization. I would say that civilization is a collection of knowledge, expertise, rules and values that protect us against a barbaric existence.*

*From that perspective, sustainable development is part of civilization. This means that non-sustainable development - development that cannot last - i.e. the development we are experiencing today, is playing into the hands of a barbaric existence.*

André Comte-Sponville, philosophe

Au cours du séminaire "Sustainable Development" du "Solvay's European Works Council" à La Roche-en-Ardenne, 2005.

## Dossiers de MENS en rapport avec ce sujet

- 1 L'emballage est-il superflu ?
- 4 Le chlore, comment y voir clair
- 5 Faut-il encore du fumier ?
- 6 Sources d'énergie
- 7 La collecte des déchets : un art
- 8 L'être humain et la toxicomanie
- 9 Apprenons à recycler
- 10 La Chimie : source de la vie
- 14 Manger et bouger pour rester en pleine forme
- 15 Pseudo-hormones : la fertilité en danger
- 16 Développement durable : de la parole aux actes
- 17 La montée en puissance de l'allergie
- 20 Le recyclage des plastiques
- 21 La sécurité alimentaire, une histoire complexe.
- 22 Le climat dans l'embaras
- 24 Biodiversité, l'homme fauteur de troubles
- 25 La biomasse : L'or vert du 21<sup>ème</sup> siècle
- 35 De l'énergie à foison
- 36 Un petit degré de plus. Quo vadis, la Terre?



# The Essence of Life



## Ouverture au public à partir du 22 avril !

Le mardi 21 avril 2009, **essenscia**, la fédération des industries chimiques et des sciences de la vie lance son partenariat avec **Living Tomorrow**

au cours d'un grand événement. Ce jour marquera également l'inauguration d'un parcours thématique « The Essence of Life », spécialement développé pour les jeunes. Cette visite guidée interactive est consacrée aux contributions de l'industrie chimique, des matières plastiques et des sciences de la vie au développement durable.

**LIVING TOMORROW**  
Where visions meet

PROGRAMME ET INSCRIPTIONS POUR LE 21 AVRIL :  
**www.essenscia.be**

PLUS D'INFOS SUR THE ESSENCE OF LIFE :  
**www.the-essence-of-life.be**



**essenscia**

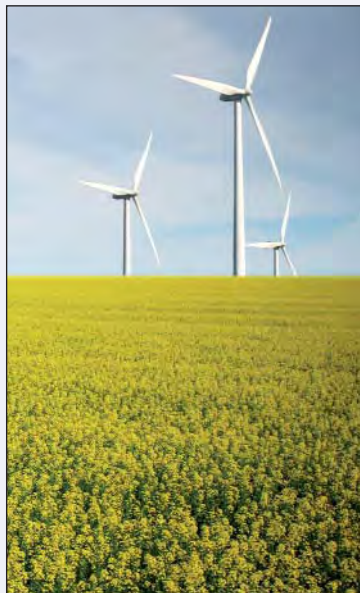
where chemistry meets life sciences

PARTENAIRES :



## De la graine de colza à l'électricité éolienne

Un sous-produit naturel du biodiésel servant à produire des résines époxy protège les ailes des éoliennes



La glycérine naturelle est à présent utilisée comme matière première dans la production d'épichlorhydrine, l'un des éléments constitutifs des résines époxy pour les revêtements de surface appliqués pour la protection des ailes des éoliennes.

Le processus de fabrication novateur dénommé **Epicerol®** récemment développé par Solvay (39 applications brevetées) présente l'avantage d'utiliser la glycérine naturelle comme matière première au lieu du propylène, un dérivé du pétrole.

Ce nouveau process réduit significativement l'impact environnemental, en particulier au travers d'une réduction massive des émissions de sous-produits chlorés ainsi que d'une diminution importante de la consommation d'eau. Cette innovation a remporté le trophée du prix Pierre Potier de l'« Innovation en Chimie au bénéfice de l'environnement ».

Une première usine **Epicerol®** tourne à présent en France et une seconde débutera ses activités en Thaïlande en 2010.

La glycérine naturelle est un sous-produit de la fabrication du biodiésel à partir de la graine de colza. Au niveau mondial, d'aucuns s'attendent à ce que de grandes quantités de ce sous-produit soient générées dans un avenir proche en raison du développement de ce biocarburant.



www.solvayhse.com

a Passion for Progress®

## "MENS" à venir : Exotes



"MENS" en rétrospective : [www.biomens.eu](http://www.biomens.eu)

- |  |   |
|--|---|
| 1 L'emballage est-il superflu ?                    | 22 Le climat dans l'embarras                              |
| 2 Le chat et le chien dans l'environnement         | 23 Au-delà des limites de la VUE                          |
| 3 Soyez bons pour les animaux                      | 24 Biodiversité, l'homme fauteur de troubles              |
| 4 Le chlore, comment y voir clair                  | 25 La biomasse : L'or vert du 21ème siècle                |
| 5 Faut-il encore du fumier ?                       | 26 La nourriture des dieux : le chocolat                  |
| 6 Sources d'énergie                                | 27 Jouer avec les atomes: la nanotechnologie              |
| 7 La collecte des déchets : un art                 | 28 L'or bleu : un trésor exceptionnelle !                 |
| 8 L'être humain et la toxicomanie                  | 29 Animal heureux, homme heureux                          |
| 9 Apprenons à recycler                             | 30 Des souris et des rats, petits soucis et grands tracas |
| 10 La Chimie: source de la vie                     | 31 Illusions à vendre                                     |
| 11 La viande, un problème ?                        | 32 La cigarette (ou) la vie                               |
| 12 Mieux vaut prévenir que guérir                  | 33 La grippe, un tueur aux aguets ?                       |
| 13 Biocides, une malédiction ou une bénédiction ?  | 34 Vaccination : bouée de sauvetage ou mirage ?           |
| 14 Manger et bouger pour rester en pleine forme    | 35 De l'énergie à foison                                  |
| 15 Pseudo-hormones : la fertilité en danger        | 36 Un petit degré de plus. Quo vadis, la Terre?           |
| 16 Développement durable : de la parole aux actes  | 37 L'énergie en point de mire                             |
| 17 La montée en puissance de l'allergie            | 38 TDAH, lorsque le chaos domine                          |
| 18 Les femmes et la science                        | 39 Une société durable... plastiques admis                |
| 19 Viande labellisée, viande sûre ! ?              | 40 Aspects d'évolution - Darwin                           |
| 20 Le recyclage des plastiques                     | 41 Les maladies sexuellement transmissibles               |
| 21 La sécurité alimentaire, une histoire complexe. |   |

Universiteit  
Antwerpen

Loterie Nationale  
créateur de chances 6