

Article de synthèse

LA CHIMIE VERTE

Par Khalid Riffi Tamsamani

Département de Chimie, Faculté des Sciences, Université Abdelmalek Essaâdi, Tétouan

RESUME : La chimie verte est un ensemble de principes qui ont pour but de réduire ou d'éliminer l'utilisation ou la génération de substances dangereuses émanant des processus de design, de fabrication et d'application de produits chimiques. Ces principes, au nombre de 12 "Les 12 Principes de la Chimie Verte", sont décrits ici et des exemples sont donnés pour que nos chercheurs, industriels et universitaires, l'adoptent comme une ligne de conduite au laboratoire, une règle d'éthique voire même un "Sermon d'Hippocrate" pour les Chimistes. Cet article a aussi pour but d'attirer l'attention des personnes travaillant dans des laboratoires sur les concepts suivants : minimiser les déchets à la source ; maximiser l'efficacité de l'atome ; réduire l'utilisation de réactifs toxiques ; conserver l'énergie et accroître l'utilisation de ressources renouvelables. Le Dr. Terry Collins, Professeur de Chimie à Carnegie Mellon University, avait l'habitude de dire: "La chimie doit jouer un rôle important pour maintenir une civilisation durable sur terre". Pour montrer cela, des exemples de composé verts sont présentés et discutés dans cet article.

Mots Clés : Chimie verte ; matériaux biodégradables ; carburants du futur

Tout a commencé aux Etats Unis lorsqu'en 1990, l'agence américaine de protection de l'environnement (EPA), suite aux pressions croissantes de groupes défenseurs de l'environnement épaulés par quelques sénateurs, a pour la première fois fait amender au sénat une loi dénommée «**The Pollution Prevention Act**». Cette loi «charte» en quelque sortes, est considérée comme une ligne de conduite pour une politique US en matière de prévention ou de réduction de la pollution à la source à chaque fois que cela est possible.

L'objectif ultime que la loi vise est la santé de l'homme et la protection de l'environnement. Dans cette vision, la chimie verte est justement l'utilisation de la chimie pour prévenir la pollution de l'environnement. Malgré que cela puisse paraître pour certains comme un paradoxe, il ne l'est point ! La chimie verte se doit d'appliquer des solutions innovantes à des situations réellement vécues en



terme de pollution environnementale.

Les 12 principes de la chimie verte ont été développés à l'origine par des ex agents de la EPA, Paul Anastas et John Warner, dans *Green Chemistry: Theory and Practice*. Ces principes tracent la feuille de route pour les chimistes en vue d'instaurer une logique chimie verte dans leurs actions.

Voici donc les 12 principes tels qu'ils ont été définis par leurs auteurs :

1. **Prévenir** : Envisager des synthèses chimiques non génératrices de déchets à traiter ou à gérer
2. **Maximiser l'économie atomique** : Ne pas laisser d'atomes de côté lorsqu'on fait une synthèse. Essayons que le produit final contienne une proportion maximale du produit de départ. Il faudrait qu'il n'y ait pratiquement pas d'atome non utilisé.
3. **Prévoir des synthèses chimiques moins nocives ou potentiellement dangereuses**
4. **Cœuvrer à la création de produits chimiques moins nocifs**
5. **Utiliser des solvants plus sécuritaires**: Eviter l'utilisation de solvants, agents de séparation ou autres produits auxiliaires. Si ces derniers sont nécessaires, utiliser ceux qui sont inoffensifs.
6. **Favoriser l'efficacité énergétique**: Enclencher des réactions chimiques à la température ambiante et pression normale à chaque fois que c'est possible.
7. **Utiliser des matières premières renouvelables** : généralement des produits agricoles ou des déchets émanant d'autres processus. Il faut éviter d'utiliser toute source provenant du pétrole, gaz et charbon
8. **Diminuer la génération de produits de dégradation à caractère toxiques**
9. **Utiliser des catalyseurs** : en lieu et place de réactifs stochiométrique. Minimiser les déchets en utilisant des réactifs catalytiques.
10. **Concevoir des produits biodégradables** : qui ne s'accumuleront pas dans l'environnement par la suite
11. **Analyser en temps réel pour prévenir la pollution** : Inclure dans la mesure du possible un système de contrôle et de monitoring en temps réel durant les synthèses, afin de minimiser ou éliminer la formation de produits non désirés.
12. **Pratiquer une chimie plus sécuritaire pour prévenir les accidents** : Concevoir des produits chimiques dans leur forme physique la plus stable (solide, liquide, ou gaz) afin de minimiser l'éminence d'un accident chimique qui inclurait une explosion, une prise de feu ou des émanations toxiques dans l'environnement.

Il est vrai que lorsque l'on étudie de près ces 12 principes de la chimie verte, une philosophie claire se dégage dans l'esprit de tout chimiste. Tout d'abord, la pratique de la chimie verte est avant tout un comportement individuel mais qui devrait être élargi aux différentes instances décisionnelles de la société. L'incidence sur la vie quotidienne n'étant plus à démontrer, ce que je viens de proposer s'impose donc à haut niveau. L'exemple que j'ai donné auparavant sur l'EPA en est un bon à suivre. Il est évident que, la pression des politiciens aux USA finit par donner de bons résultats. Chez nous, il n'y a en principe aucun problème pour adopter un mode d'action différent mais au moins qu'il puisse initier un plan d'action chimie verte générateur de bien être pour le citoyen marocain! La contribution de la chimie à l'augmentation de la qualité de la vie quotidienne des citoyens est indiscutable. Malheureusement, notre pauvre chimie, ne reçoit toujours pas les éloges suffisants qu'elle mérite. A voir et entendre certains business man à l'œuvre on s'aperçoit à quel point les choses sont déformées voir incomprises. Les médias, alimentent parfois ce comportement négatif vis-à-vis de la chimie malheureusement. Regardez les fumées qui sortent de telle ou telle industrie chimique ! La pollution, la couche d'ozone, les produits toxiques, etc.. !

D'après Bernard Mathieu, Président du Comité Chimie de la SRBII de l'Université de Louvain, cette ingratitude est regrettable et injustifiée car notre monde serait bien plus dur, pauvre et triste sans la chimie. Mathieu, continu en disant : «*Sans médicaments ni molécules à effet thérapeutique, notre santé et notre vie subiraient un inimaginable retour en arrière; sans revêtements protecteurs, nos outils et nos machines seraient rapidement corrodés; sans ces colorants qui égayent les tissus ou les objets usuels, notre entourage serait bien morose; sans polymères, sans plastiques - parfois si décriés - que seraient aujourd'hui la chirurgie, l'épuration des eaux, les télécommunications, le confort journalier ? Sans la chimie, notre alimentation, notre hygiène, notre civilisation tout entière seraient modifiées, dégradées, peut-être même anéanties*».

Cependant, Il y a encore du travail à faire, car il faut bien admettre que la chimie possède une autre face dérangement. En effet, le journaliste scientifique Loïc Chauveau, dans un article intitulé



«*La chimie verte mûrit*» publié dans l'Express du 16/05/2002, nous parle d'un rapport accablant de l'observatoire français de la qualité de l'air. Ce rapport révèle la présence, dans l'atmosphère confinée des 80 maisons et des 9 écoles qu'il a étudiées, de trois substances toxiques à savoir le benzène, cancérigène avéré, le tétrachloroéthylène et le trichloroéthylène, également dangereux pour la santé. Les taux constatés étaient largement supérieurs à ce qu'ils sont dans l'air extérieur. Ces émanations provenaient des produits d'entretien (détergents...) ou de bricolage (adhésifs...). Pour lutter contre cette pollution, longtemps sous-estimée, les chimistes ont des solutions technologiques. Malheureusement, leur coût freine encore leur développement. «Ce choix pénètre lentement la mentalité des industriels, explique Didier Astruc, directeur du laboratoire de chimie organique de Bordeaux I, pionnier dans ce domaine. Mais c'est l'adoption de normes environnementales plus draconiennes qui obligera les multinationales du secteur à bouger.»

Certes, des améliorations considérables ont été apportées à ces nuisances, mais des problèmes subsistent: depuis la lancée en flèche de l'industrie automobile, l'industrie chimique lourde puise l'essentiel de ses matières premières dans les réserves pétrolières, le gaz naturel et le charbon. Les aspects énergétiques et environnementaux liés à cette contrainte induisent des effets néfastes dont les médias se font un régal d'explicitier. Je suis d'ailleurs pour l'idée que l'information soit donnée au citoyen, mais il faut que celle-ci soit correcte et non pas déformée à des fins politiques comme c'est souvent le cas.

Les émissions de CO₂ et la problématique du climat font partie des dossiers sensibles qu'il faut gérer. Les rejets de matières toxiques restent également préoccupants ainsi que la pollution (plus visuelle que dangereuse) occasionnée par les matériaux quasiment indestructibles que nous avons appris à fabriquer. Le chimiste pollueur reste une étiquette dont il est bien difficile de se débarrasser.

Revenons donc à nos moutons et précisons que c'est bien dans ce contexte difficile que l'initiative de Anastas et Warner était la bien venue. (*Green Chemistry: Theory and Practice*, edited by Paul T. Anastas and John C. Warner, Oxford University Press (2001).

On peut définir la philosophie Chimie Verte comme la recherche d'une évolution de l'industrie chimique qui prend en compte le respect de l'environnement et l'image que donne la science d'elle-même, par une redéfinition de tous les paramètres qui gouvernent les procédés de synthèse et de fabrication. L'idée de développement durable est au cœur de ces préoccupations. La chimie verte passe d'abord par l'utilisation de molécules dérivées du pétrole moins nocives. Elle cherche aussi - et surtout - à les remplacer par des substances d'origine végétale. «Pétrole ou plantes, **les molécules sont les mêmes**, explique Joël Barrault, directeur de recherche au laboratoire de catalyse en chimie organique du CNRS. Seule différence: les chaînes carbonées issues des huiles végétales présentent une structure qui **se décompose plus rapidement dans la nature.**» Par hydrolyse ou méthanolyse, les huiles de tournesol ou de colza se transforment en produits de base de la chimie, comme les acides, les esters méthyliques et le glycérol, ou en dérivés, comme les alcools gras ou le sel d'ammonium quaternaire. Ces molécules sont déjà utilisées comme «tensioactifs» dans de nombreux articles de la vie quotidienne explique Loïc Chauveau. Sans eux, impossible de lier eau et huile et donc de fabriquer de la pâte dentifrice, des produits cosmétiques ou des détergents. Les huiles de coprah ou de palme entrent dans la composition de 70% des crèmes de soin. L'huile de ricin est, quant à elle, présente dans les shampooings pour bébés. En effet, elle est amphotère (neutre) et ne pique pas les yeux.

Dans des travaux récents, Joël Barrault a mis au point avec son équipe une nouvelle famille issue du sucre de betterave et d'une huile végétale. Ces sucro-esters biodégradables vont s'imposer, dit le professeur, dans les adoucissants et les émulsifiants. Car ils ne sont pas toxiques, que ce soit par contact cutané ou ingestion directe. Même l'industrie alimentaire pourra les intégrer à ses cycles de fabrication.»

Malgré les efforts de certains chercheurs, je pense qu'il y a encore du chemin à parcourir en matière d'applications de la chimie verte. Si l'on prend le cas de la France par exemple, la production annuelle de diester, biocarburant issu du colza et du tournesol, ne dépasse pas 300 000 tonnes, soit à peine plus de 1% du gasoil consommé. A croire l'avis d'experts

en la matière, ce pourcentage va augmenter dans les années avenir. Cet optimisme provient du fait qu'il existe un projet de directive européenne qui veut imposer un taux obligatoire d'adjonction de biocarburant (2 % en 2005 et 5,75 % en 2010). Espérons le, et surtout que cela se propage chez nous simultanément !

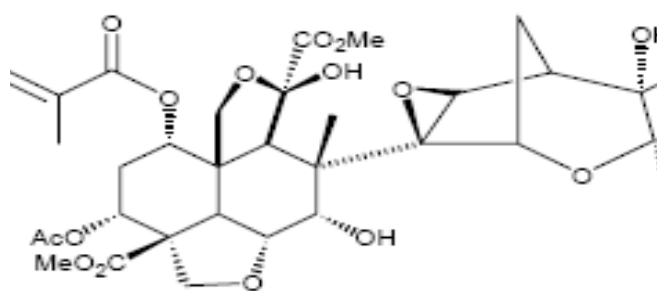
Dans un autre volet, notons l'apparition récente de lubrifiants non polluants pour des usages précis, comme l'entretien des moteurs de hors-bord ou des chaînes de tronçonneuse. Ce lubrifiant, sera très bénéfique pour certains métiers fort utilisateurs d'huiles tels que les forestiers et les mécaniciens sans compter l'intense consommation d'huiles à l'échelle industrielle. L'utilisation d'un lubrifiant biodégradable est sans aucun doute bénéfique pour notre écosystème. Comme d'habitude, les Allemands qui sont à l'avant-garde de tout amendement écologique, ont voté en 2000, des incitations fiscales et réglementaires pour favoriser l'usage d'huiles biodégradables. Les Suédois par exemple, ont développé un arsenal de mesures incitatives allant de la publication d'une liste de produits indésirables au bannissement de certaines molécules nuisibles à l'environnement. Toutefois, d'après Bernard Mahieu, de l'Université de Louvain, en l'absence d'une politique commune et de textes législatifs universellement acceptés, le combat est inégal pour les partisans d'une chimie résolument verte. C'est le rôle justement d'instances internationales comme la FAO, l'OMS et le PNUD de construire un cadre légal réaliste qui permettra aux entreprises chimiques d'utiliser les produits les plus sûrs et les procédés les moins agressifs pour l'environnement, sans mettre en péril leur rentabilité.

Le coût de revient, relativement élevé, représente actuellement une des contraintes qui freinent l'application de la chimie verte. D'après Frédéric Fabre, dirigeant de Novance, filiale des chimistes Rhodia et Aventis et de Sofi Protéol, filière agricole d'oléagineux, cette situation pourrait s'arranger avec la hausse du prix du pétrole. Fabre nous rassure en disant : « ...Ainsi, avec un baril à 25 dollars, dans dix ans, les lubrifiants verts devraient représenter 20% du marché, contre de 1 à 2% aujourd'hui. » La perspective donc d'un épuisement des réserves mondiales de pétrole devrait accélérer la baisse des prix de la chimie verte. Chaque pays doit donc

mettre sur pied des cellules de réflexion chargées de trouver les mécanismes de collaboration accrue entre **experts académiques et partenaires industriels**. Dans la pratique, une telle collaboration requiert de la flexibilité de part et d'autre afin de syntoniser deux pensées différentes, mais une innovation incessante issue des centres d'excellences est indispensable. Le lancement de produits verts réellement significatifs sur le marché en dépend. Aux pouvoirs publics de se mettre au diapason.

Dans ce qui suit, nous aimerions donner quelques exemples de cas concrets d'alternatives chimiques qui révolutionneront, peut-être, notre futur proche:

I- L'Azadirachtine du margousier : un insecticide naturel biodégradable



Azadirachtine

Ce «biocide», peut être isolé du margousier en concentrations assez importantes et être solubilisé sans problème en solution aqueuse. A de faibles concentrations, la molécule peut contrôler efficacement la tordeuse de bourgeons d'épinette. Le grand avantage de l'azadirachtine est qu'elle n'est pas nocive envers les animaux. (Référence : A.W. Thomas, G.M. Strunz, M. Chiasson, T.H. Chan, *Entomol. Exp. Appl.* 62 (1992) 37). Reste à dire que l'azadirachtine est encore sous- exploitée et par conséquent, il lui reste du chemin avant le grand triomphe.

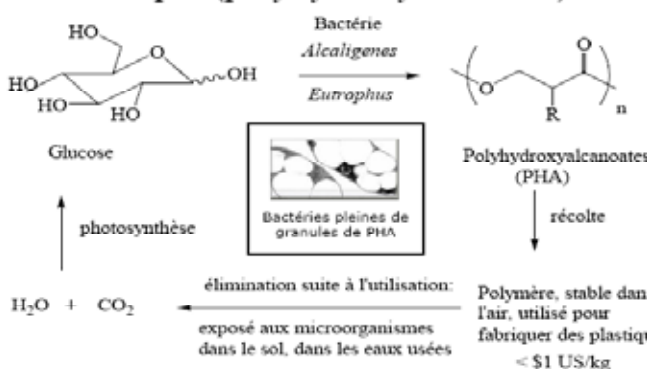
II- Les polymères biodégradables : Quels sont les enjeux ?

1. le polymère du futur doit être robuste, possédant les propriétés mécaniques nécessaires pour l'application requise
2. après son utilisation, le polymère devrait se dégrader facilement en composantes bénignes

qui seraient converties en eau et en CO₂ par la flore environnementale

Les polymères biodégradables naturels nous en connaissons : amidon, cellulose et polyhydroxyalcanoates (voir figure Biopol) en sont quelques exemples. Quand aux polymères biodégradables de synthèse, il y a le copolymère de vinyle cétone (photolabile) et le polyéthylène glycol (oxydable). Pour information, le Biopol ne date pas d'aujourd'hui, il a bien été développé par ICI en 1980, et est exploité par la firme américaine Metabolix Inc. (www.metabolix.com). Le travail de longue alène que Métabolix a passé dans la recherche, mise au point et commercialisation de nouveaux plastiques naturels à base de ressources naturelles renouvelables telles que la canne à sucre et l'huile végétale, a été couronné de succès. En effet, cette firme vient tout juste (juin 2005) de décrocher le prix Présidentiel américain dénommé : *The 2005 Presidential Green Chemistry Challenge Award*. Cette haute distinction, reconnaît le succès de la firme à transformer le rêve biologique de la technologie du plastique naturel, biodégradable dans tout environnement d'utilisation, en une véritable réalité commerciale. Je dis rêve biologique, parce que la fermentation de ces ressources naturelles est à la base du secret de réussite de Metabolix (pour plus de détail, vous pouvez vous référer au site web : metabolix.com). Espérons donc, que l'ère du plastique pétrochimique arrive à sa fin dans un avenir proche.

Un exemple de polymère biodégradable : le Biopol (polyhydroxyalcanoate)



(D'après une présentation de Joelle Pelletier, de l'Université de Montreal)

III- Qu'en ai t'il du diesel du futur ?

Et bien sachez que les huiles végétales ne sont pas uniquement utilisées dans l'alimentation... Elles sont employées dans de nombreux secteurs d'activité «non alimentaire» dans le cadre d'une pratique citoyenne de la chimie verte. Les carburants avec le **Diester**, biocarburant pour moteurs diesel fabriqué à partir de dérivés d'huiles végétales, en sont un bel exemple. Le Diester s'utilise en mélange dans le gasoil, en toutes proportions et dans tous les moteurs diesel de série. D'après les chiffres, un français sur deux possédant une voiture diesel roule au Diester sans le savoir (en mélange à 5%) et plus de 4000 bus et véhicules des collectivités locales ont déjà parcouru 200 millions de kilomètres avec du Diester en mélange à 30%! Il en existe d'autres utilisations prometteuses tels que dans les lubrifiants, les peintures, les vernis et encres ainsi que dans le domaine des cosmétiques, des détergents et des lessives.

D'après les experts, comparé au diesel, le biodiesel permet de réduire de 40% l'émission de particules fines, tout en produisant un résidu non-toxique et biodégradable. Par ailleurs, son transport et sa manutention sont faciles, le biodiesel étant moins inflammable que le diesel. Les mêmes experts, soulignent qu'il faudra utiliser d'autres plantes (colza, sésame) que le soja dont la production ne peut assurer qu'une fraction des besoins en biodiesel. Une étude menée par le National Renewable Energy Laboratory de Golden (Colorado) affirme que la récupération de graisses issues des restaurants couvrirait largement ces besoins. Quant au National Biodiesel Board de Jefferson City (Missouri), il estime à 120 millions de litres en 2002 la production de biodiesel

Le Diester, biocarburant pour véhicule diesel, est le principal dérivé non alimentaire produit en France. Il s'agit d'un ester méthylique d'huiles végétales (EMHV) obtenu selon l'équation suivante: 1 tonne d'huile végétale + 0,1 t de méthanol = 1t de Diester + 0,1 t de glycérine. Son utilisation limite l'impact de l'effet de serre. Elle réduit par 3,5 les rejets de gaz carbonique dans l'atmosphère par rapport à un gasoil dérivé du pétrole.

En mélange à 30%, le Diester diminue de nombreux polluants comme les fumées noires, les

particules et les hydrocarbures imbrûlés. Exempt de soufre, il améliore en outre le fonctionnement des pots catalytiques tout en diminuant les pluies acides sur nos forêts.

Tout ces développements avancent à une allure tellement rapide que l'on se demande ce que nous citoyens des pays du sud pouvons apporter à cette mouvance verte ? Et bien, nous pouvons faire beaucoup de choses à commencer par faire valoir sur le plan international notre savoir-faire en matière agricole. Tout d'abord, sachez que l'Etat français donne actuellement, des aides importantes aux agriculteurs qui acceptent de s'impliquer dans la production des plantes qui servent à la production de biocarburants. En plus, le biocarburant une fois fabriqué, est exonéré d'impôts sur la vente. Voyez-vous où je veux en venir ? Et bien, il me semble que nos pouvoirs publics à commencer par les ministères de l'environnement, de l'agriculture et du département de l'enseignement supérieur de la formation des cadres et de la recherche scientifique, devraient en totale syntonie s'impliquer dans une politique incitatrice de culture de toute plante agricole servant de matière première à la production

de biocarburants. Un effort de recherche et de développement pourrait être encouragé dans ce sens, je pense notamment aux grandes compétences de nos ingénieurs agronomes et de nos chimistes et biologistes toute spécialités confondues. Seulement, une chose est certaine, il faut agir le plus rapidement possible. Si l'on ne saisi pas cette occasion maintenant, d'autres le feront et dans une autre région du monde. La Chine, ça vous fait penser à quelque chose ? Dans les prochaines années, les notions de développement durable et de chimie verte continueront à prendre une place toujours plus importante auprès des industriels et des pouvoirs publics. Ces notions sont des moteurs forts de développement économique et écologique pour l'industrie chimique en stimulant notamment l'arrivée sur le marché de nouveaux produits.

J'aimerais conclure cet article sur la chimie verte avec une phrase citée par Bernard Mahieu, de l'Université de Louvain qui dit : «*Les chimistes sont parmi les personnes les plus aptes à relever les défis d'un développement réel, universel et durable de l'humanité*».

Références

- Green Chemistry: Theory and Practice, edited by Paul T. Anastas and John C. Warner, Oxford University Press (2001).
- L'Express du 16 mai 2002
- A.W. Thomas, G.M. Strunz, M. Chiasson, T.H. Chan, Entomol.Exp. Appl. 62 (1992) 37.
- www.metabolix.com.
- Biodiesel: Growing A New Energy Economy . par Greg Pahl. Chelsea Green Publishing Company (2005) .
- Chemistry for Green Environment. par Rashmi Sanghi. Narosa Pub House (2005) .
- Handbook of Green Chemicals. par Michael Ash, Irene Ash. Synapse Information Resources Inc; Édition : 2nd (2004)

PASFO s.a.r.l.
LA PASSION DE L'INFORMATIQUE ET DE LA BUREAUTIQUE

**CONSEIL
FORMATION
RÉPARATION DE MATÉRIELS
CONTRAT DE MAINTENANCE
LOCATION DU MATÉRIEL**

- Audio-visuel
- Bureautique
- Informatique
- Matériel technique
- Système de Pointage Biométrique
- Mobilier de communication
- Télécommunication

Tél. : 022 98 50 94 — GSM : 061 17 82 61 / 063 43 92 15
Fax : 022 98 50 63 — pasfo@hotmail.com