

L'actualité chimique

Mensuel - Mai 2010 - N° 341

Comment enseigner la sécurité

Et aussi :

L'hydrogène, un vecteur d'énergie vert ?

Gestion et valorisation des déchets

Perrier, une analyse qui fit "pschitt !"



Société Chimique de France



L'Union des professeurs de physique et de chimie

et la Société Chimique de France

Un pont entre l'enseignement et la recherche



ADHÉREZ

Pour connaître nos activités,
le bulletin, le forum...

<http://www.udppc.asso.fr/>
secretariat.national@udppc.asso.fr

**ABONNEZ-VOUS
AU BULLETIN**

**CONSULTEZ
BupDoc**

<http://udppc.asso.fr/bupdoc/index.php>

**PARTICIPEZ
AU CONGRÈS**

Reims

23-26 octobre 2010

**ENVOYEZ
DES
ARTICLES**

lebup.secretaire@udppc.asso.fr

Siège social et courrier : 42, rue Saint-Jacques - CS 60504 - 75237 PARIS CEDEX 05

Le site de l'UdPPC (adhésion et abonnement à partir du site) : <http://www.udppc.asso.fr/>

Secrétariat administratif (adhésion et abonnement) : Tél. : 01 40 46 83 80 - Fax : 01 46 34 76 61

RÉDACTION

Rédacteur en chef : Paul Rigny

Rédactrice en chef adjointe :

Séverine Bléneau-Serdel

Secrétaire de rédaction : Roselyne Messal

Chef de rubrique, Collection « L'Actualité

Chimique - Livres » : Minh-Thu Dinh-Audouin

Secrétariat : Martine Maman

Webmestre : Jérémie Meyer de Ville

<http://www.etage-13.com>

Comité des rubriques :

Recherche et développement : Paul Rigny, Industrie : Gilbert Schorsch, Enseignement et formation : Michel Boyer et Katia Fajerweg, TP : Xavier Bataille et Nicolas Cheymol, Histoire de la chimie : Marika Blondel-Mégrelis, Comment ça marche ? : Véronique Nardello-Rataj, Chimie des aliments et du goût : Hervé This, À propos de : Bernard Sillion, En bref : Séverine Bléneau-Serdel, Roselyne Messal, Actualités de la SCF et Agenda : Roselyne Messal, Livres et médias : Yves Dubosc

Comité de rédaction :

P. Arpino, H. Belhadji-Tahar, J. Belloni, E. Bordes-Richard, J. Buendia, N. Capron-Joubert, C. Cartier dit Moulin, C. Cordella, J.-C. Daniel, R.-E. Eastes, E. Florentin, J.-P. Foulon, J. Fournier, F. Lafuma, J.-F. Lambert, V. Lucas, M.-T. Ménager, N. Moreau, A. Ouali, J.-M. Paris, P. Pichat, A. Picot, M. Poite, M. Quarton, F. Rocquet, E. Soulié, H. Toulhoat, M. Verdaguer, P. Vermeulin, D. von Euv

Partenariat : CNRS, Fondation Internationale de la Maison de la Chimie

Publication analysée ou indexée par : Chemical Abstracts, base de données PASCAL

ÉDITION : Société Chimique de France

250 rue Saint-Jacques, 75005 Paris

Rédaction : 28 rue Saint-Dominique, 75007 Paris

Tél. : 01 40 46 71 64 - Fax : 01 40 46 71 63

redaction@lactualitechimique.org

<http://www.lactualitechimique.org>

Directeur de la publication : Olivier Homolle,

président de la Société Chimique de France

Imprimerie : SPEI, BP 26, 54425 Pulnoy

Maquette articles : e-Press, Casablanca

Technopark, Route de Nouaceur, Casablanca

(Maroc)

Maquette hors articles : Mag Design

<http://www.magdesign.info>

ISSN version papier 0151 9093

ISSN version électronique 2105 2409

PUBLICITÉ

EDIF, Le Clemenceau, 102 avenue Georges

Clemenceau, 94700 Maisons-Alfort

Tél. : 01 43 53 64 00 - Fax : 01 43 53 48 00

edition@edif.fr, <http://www.edif.fr>

Index des annonceurs : p. 1

© SCF 2010 - Tous droits réservés

Dépôt légal : mai 2010

Toute représentation ou reproduction, intégrale ou partielle, fait sans le consentement de l'auteur, ou des ayants droits, ou ayant cause, est illicite (loi du 11 mars 1957, alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal. La loi du 11 mars 1957 n'autorise, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, que les copies et les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective d'une part, et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration.

TARIFS 2010 - L'ACTUALITÉ CHIMIQUE

(11 numéros par an)

Abonnement papier + électronique

Particuliers : France 95 € - Étranger 100 €

Institutions : France 195 € - Étranger 205 €

Lycées : France 110 € - Étranger 130 €

Abonnement électronique seul (France/Étranger)

Particuliers : 55 € - Institutions : 155 € - Lycées : 70 €

Membres de la SCF (hors membres associés) :

abonnement inclus dans la cotisation

Abonnement : SCF, Nadine Colliot

250 rue Saint-Jacques, 75005 Paris

Tél. : 01 40 46 71 66 - Fax : 01 40 46 71 61

adhesion@societechimiquedefrance.fr

Prix de vente au numéro : 20 € (port inclus)



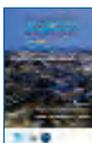
Éditorial	2
L'irrésistible ascension de la publication numérique I, par P. Rigny	
Chroniques	3
<i>Communication de la chimie</i>	
Faut-il avoir peur de ceux qui ont peur de la chimie ?, par R.-E. Eastes	3
<i>Polémiques</i>	
Sale temps pour les experts, par J.-C. Bernier	4
Recherche et développement	5
Les méthodes de production d'hydrogène sont-elles vertes ?, par U.B. Demirci et P. Miele	
Enseignement et formation	13
<i>MIEC-JIREC 2009</i>	
La sécurité au laboratoire de chimie. Retour sur les MIEC-JIREC 2009, par J.-C. Mougénel et K. Fajerweg	13
Les JIREC : 25 fenêtres sur la recherche et l'innovation dans l'enseignement ou l'éducation en chimie, par B. Montfort et M. Rebetez	19
Sécurité et innovation : deux priorités absolues ! L'engagement de BASF, par O. Homolle et M. Zinsius	23
Des laboratoires de chimie de plus en plus sûrs : une priorité pour l'Institut de chimie du CNRS, par G. Chambaud et B. Diers	26
La communication pédagogique en cours magistral de chimie : peut-on améliorer son efficacité ?, par M. Houart , N. Warzée , J. Wouters , F. Reniers et M. Romainville	29
Première approche de la recherche et du métier d'ingénieur : retour sur le projet de chimie organique mis en place à CPE Lyon, par C. Gozzi et C. Marchal	33
Formation aux bonnes pratiques de laboratoire, par P. Leghié	37
Le nouveau système de classification et d'étiquetage des produits chimiques, par A. Maison	41
Chimie et vie quotidienne	46
Voici 20 ans : Perrier ou l'analyse qui fit « pschitt ! », par P. Arpino	
Maîtrise du risque chimique	52
Le risque chimique spécifique aux déchets, par P. Pichat	
En bref	58
Livres et médias	60
Agenda	62
Actualités de la SCF	63
2011 : Année internationale de la chimie	64

Index des annonceurs

EDIF	p. 12	Matériaux 2010	4 ^e de couv.
EDP Sciences	p. 36	RNChimie	p. 28
EuCheMS	encart	UdPPC	2 ^e de couv.
Laboratoires Pierre Fabre	p. 45		



Régie publicitaire : EDIF, Le Clemenceau, 102 avenue Georges Clemenceau, 94700 Maisons-Alfort
Tél. : 01 43 53 64 00 - Fax : 01 43 53 48 00 - edition@edif.fr - <http://www.edif.fr>



Couverture :

Le site BASF de Ludwigshafen (Allemagne) est le plus grand complexe industriel en Europe. Il regroupe plus de 200 usines de production, plusieurs centaines de laboratoires, des centres techniques, ateliers et bureaux... sur une superficie supérieure à 10 km². Près de 33 000 personnes y travaillent. La sécurité y est une priorité absolue.

© BASF



L'irrésistible ascension de la publication numérique !

Quel est le nombre moyen de SMS envoyés par un jeune Américain par mois : 584 ? 1 150 ? 1 612 ? Réponse : non, c'est 2 272 ! Nous sommes tous, sauf les jeunes, complètement à côté de la plaque quand il s'agit de prendre la mesure de la montée du phénomène « numérique ».

Le Salon du livre en mars, la présentation de l'iPad en avril, mettent de nouveau les projecteurs sur cette évolution. Le monde de l'édition scientifique vit déjà dans l'ère numérique depuis plusieurs années, mais ce n'est encore rien : l'évolution n'est encore qu'amorcée ! Pour une fois, on peut essayer de faire mentir l'esprit de Monsieur Prudhomme pour lequel « *la prévision est un art difficile... surtout quand il s'agit de l'avenir* » !

directement leur production sur leurs blogs et la partagent sans intermédiaire au sein de leur communauté. Le chercheur, tout seul devant l'océan des informations, risque de tout perdre ! Équipé d'un beau bateau, mais sans repère, il a furieusement besoin de boussoles. C'est là que resurgit l'impérieuse nécessité de l'ÉDITION au sens large — celle des professionnels de l'interface entre auteurs et lecteurs (bibliothèques institutionnelles, éditeurs, libraires). Ce sont eux qui sont responsables du choix d'une ligne éditoriale (quels thèmes traiter, quelle sélection entre les approches possibles) et les garants de la qualité de leur contenu, de l'identification des experts : le rôle de « filtre-qualité » basé sur l'orientation, l'évaluation, la sélection. Aujourd'hui — demain pour être plus exact —, les auteurs ne veulent plus payer pour être publiés, les lecteurs non plus ne veulent plus payer : Internet se veut le monde du gratuit (développement de l'« open access », des « archives ouvertes »). On n'entend parler dans le monde de l'écrit que de la recherche du nouveau « modèle économique » qui doit permettre à l'édition d'exister alors que le financement traditionnel disparaît. Ce qui se fait jour, c'est que ce n'est plus tant sur « l'objet » vendu (le livre ou la revue) que se fera la valeur économique, mais sur les services fournis (mise à disposition de réseaux, d'archives, d'informations connectées) ; parmi ceux-ci, on peut conjecturer que le rôle de « filtre-qualité » sera un facteur majeur.

Mais le modèle économique modifie le produit. Pour les scientifiques, il changera, à n'en pas douter, la façon dont seront évalués les résultats de leurs travaux — le cœur même de leur vie professionnelle —, qu'il s'agisse de la publication d'articles comme de celle d'ouvrages. Nulle surprise alors que le débat s'installe entre liberté du chercheur (de publier, de consulter la littérature) et sélection (valorisation des travaux et des auteurs), entre indépendance du chercheur et rôle des institutions. Puisque la gratuité aux auteurs comme aux lecteurs renvoie au financement par les institutions, elle introduira en effet entre elles un formidable critère de sélection par l'argent, toutes ne pouvant pas offrir les mêmes services (accès aux bases de données les meilleures) ; voici l'idéologie du « les mêmes chances pour tous » bien mise à mal !

Autre aspect, qui concerne de près *L'Actualité Chimique* : alors que la publication d'ouvrages intégrés, qui pérennisent la réflexion, d'articles de revue, qui permettent un salutaire recul, risque d'être malmenée par les techniques numériques, notre vocation de revue générale de « société savante », écartée des contraintes économiques, a encore de belles missions devant elle.

L'ère du numérique va bouleverser en profondeur, bien davantage que ce à quoi on a déjà assisté. Faut-il donc regretter ces évolutions ? Ce serait bien en vain : c'est un mouvement transcendant qui dépasse les individus, comme autrefois l'invention du livre qui a tari la richesse des apprentissages, des expériences et des légendes qui se transmettaient de génération en génération par voie orale — inconvenient somme toute faible au regard de l'enrichissement qu'elle a apporté et continue à apporter.

Paul Rigny
Rédacteur en chef



Une extrapolation peu risquée évoque le scientifique « tout numérique » : il entre dans la littérature par quelque mot-clé ; creuse l'article qu'il lit en appelant le texte d'une référence qui s'affiche sur un clic ; rafraîchit les connaissances qui lui manquent en faisant venir, en un autre clic, le manuel approprié qui s'ouvre à la page appropriée. Bref, il a avec lui, immédiatement accessible, toute la bibliothèque dont il a besoin. Et quelle bibliothèque ! Pourquoi se limiter à l'écrit ? Il a les images, les films, les conférences, tout cela disponible au doigt et à l'œil. L'édition numérique n'est pas en effet que la diffusion des textes sur un autre support que le papier : elle va avec la mise au point des « moteurs de recherche » qui permettent l'accès à toute la bibliothèque. Mais « avoir à disposition » n'est encore rien : il faut pouvoir travailler, prendre des notes, comparer, faire des calculs ! On peut parier que l'écran bientôt permettra commodément ce couplage avec l'intervention active du lecteur aujourd'hui encore bien lourde. On peut même parier que tout ceci se fera « tout transportable », comme un livre ou une revue — les écrans souples sont déjà là et feuilleter devient possible. L'homme « numérique nomade » ne perd pas son temps : toujours à la bibliothèque, sa bibliothèque, en France, à l'étranger, à la ville, à la campagne ! Mieux : toujours en interaction avec les autres s'il le souhaite.

La prospective sur l'information numérique, c'est aussi celle du débordement, de l'avalanche, de l'ingérable ! Déjà les scientifiques, dans certains milieux, « mettent en ligne »

Communication de la chimie

Faut-il avoir peur de ceux qui ont peur de la chimie ?

Dans un entretien publié dans *Le Monde* du 6 mars 2010¹, le docteur Laurent Chevallier, praticien au CHU de Montpellier et président de la commission alimentation du *Réseau Environnement Santé* (RES), rend responsables de nouvelles pathologies les produits employés dans l'agriculture et les additifs alimentaires. L'occasion pour lui de promouvoir son dernier ouvrage².

Avant d'aborder l'analyse de l'entretien, commençons par signaler que ce dernier point a son importance. Car sans nier les préoccupations du public à l'égard des choix technologiques qui construisent le monde dans lequel nous vivrons demain, il nous semble nécessaire de dédramatiser certains propos extrêmes en gardant à l'esprit qu'une certaine forme d'idéologie anti-science primaire sert aussi des intérêts personnels et financiers immédiats. Un constat tout aussi valable dans des cas qui contrarient au contraire les environnementalistes, comme celui de la question climatique et de ses auteurs climato-sceptiques opportunistes.

Mais revenons au propos du docteur Chevallier. L'entretien, dégoulinant de démagogie et ponctué d'explications médico-scientifiques approximatives, surfe avec brio sur la peur du cancer, le développement de l'obésité, l'omniprésence des substances de synthèse dans l'alimentation, les intérêts des industriels ou la fausse impuissance des pouvoirs publics : « *On tente de nous imposer un « ordre » chimique avec des substances qui créent des désordres physiologiques dans notre corps. Ce sont les produits chimiques employés dans l'agriculture, des additifs alimentaires (colorants, conservateurs, etc.) aux effets imparfaitement maîtrisés.* »

Faute d'éléments constructifs nouveaux et percutants pour défendre une approche nutritionniste somme toute parfaitement banale (la nature de l'alimentation influe sur la santé), l'auteur s'en remet donc aux bonnes vieilles ficelles des « aliments industriels cancérigènes » et autres « perturbateurs endocriniens », allant jusqu'à évoquer leur rôle dans l'hyperactivité des enfants, pour finir sur la fameuse et énigmatique MCS (« *multiple chemical sensitivity* ») : « *Douze pour cent de la population en serait atteinte aux États-Unis, mais on a encore peu d'éléments sur ces troubles. Certaines orientations nutritionnelles semblent pouvoir aider (apport en antioxydants alimentaires, prudence avec le glutamate...).* Pour l'instant on est dans le domaine empirique »³.

Ce faisant, nul doute qu'il rencontre les préoccupations (néanmoins légitimes) de nombreux lecteurs potentiels, voire qu'il renforce leurs convictions du haut d'un statut professionnel fiable et grâce à un discours plutôt technique et en apparence très documenté. Et c'est ce qui nous amène à la question qui nous intéresse ici : quel impact ce type de discours crédible, totalement « anti-chimie » et publié dans un journal sérieux peut-il avoir sur l'opinion de ses lecteurs, non pas en matière de diététique mais à l'égard de l'image globale de la chimie ? Et dans quelle mesure faut-il par suite s'en inquiéter ?

Une manière d'y répondre consiste à analyser le contenu des commentaires que les abonnés ont déposés sur le site du journal dans les jours qui ont suivi la parution de l'article⁴. En trois jours, vingt-neuf commentaires furent postés, ce qui indique à la fois un fort intérêt pour le sujet et un besoin pour les lecteurs de compléter l'analyse fournie par l'entretien⁵.

Mais à votre avis, s'agissait-il pour eux de renforcer son propos ou de le modérer ? Les paris sont ouverts... Et la réponse est fournie par le *tableau*, qui montre la répartition des commentaires, pour la plupart déposés indépendamment les uns des autres, selon quatre attitudes distinctes à l'égard du propos du docteur Chevallier. Cette répartition correspond-elle à celle que vous auriez spontanément prévue ? (voir *encadré*). Si oui, vous avez une bonne perception de la perception de la chimie dans notre société et confiance en la capacité de nos concitoyens (ou au moins des abonnés du *Monde*) à distinguer un discours militant d'une information scientifiquement fondée. Si non, peut-être commencerez-vous, vous aussi et dès aujourd'hui, à questionner les idées reçues qui circulent dans notre communauté sur la soi-disant « mauvaise image de la chimie » et qui, malheureusement, déterminent souvent ses actions de communication.

À l'aube de l'Année internationale de la chimie, pourquoi alors ne pas commencer à penser des actions de communication plus

à l'écoute des peurs et des valeurs de ceux que nous voulons convaincre des bienfaits de la chimie, en gardant confiance dans leur capacité à décider de ce qui est bien pour eux ? À imaginer des actions participatives pour, nous-mêmes, mieux comprendre les évolutions de la société actuelle et construire avec elle la place que la chimie y occupera demain ? C'est à promouvoir une telle attitude que s'emploie cette chronique mois après mois depuis sa création.

Richard-Emmanuel Eastes,

le 16 avril 2010

(1) <http://tinyurl.com/18r>, article en archive payante.

(2) *Mes ordonnances alimentaires. Comment vous soigner par une bonne alimentation*. Les liens qui libèrent, février 2010.

(3) Nous n'entendons en aucun cas, en critiquant le contenu de cet entretien, signifier que ces questions sont illégitimes et sans importance, ni qu'elles ne doivent pas faire l'objet des études et des réglementations les plus approfondies. Compte tenu des enjeux sanitaires et économiques qu'elles revêtent, nous considérons simplement qu'elles méritent des traitements moins naïfs et moins démagogiques.

(4) Nous passerons ici sur les limites de l'étude, liées à la nature du public considéré ou à l'unicité du cas analysé. Il ne s'agit pas d'un article de recherche mais d'une observation ponctuelle susceptible de fournir quelques pistes en matière d'impact des discours anti-chimie sur l'image globale de la discipline.

(5) À titre de comparaison, l'article du *Monde* relatant l'appel des 400 climatologues à la ministre de la Recherche ne suscita que 13 commentaires début avril 2010.

Surenchère	Accord	Doute	Opposition
7	5	4	8
Total des « anti-chimie » : 12		Total des « pro-chimie » : 12	
L'intégralité des commentaires est accessible en ligne sur le blog www.parlezvouschimie.org 5 commentaires sont hors sujet et inclassables dans ce tableau.			

Florilège...

Ebolavir, 06.03.10100h37

Amusant de penser que la génération qui prend sa retraite en ce moment, et qui est gravement menacée de finir centenaire, a vécu sa jeunesse dans un environnement chimique bien plus agressif que l'actuel, quand on mettait des antibiotiques à dose médicamenteuse dans la nourriture des animaux, quand les traitements phytosanitaires étaient excessifs, les plastiques toxiques très courants, l'alimentation industrielle pleine d'additifs à haute dose. On est devenus fragiles, ou on mesure mieux ?

Sirius, 06.03.10108h52

L'obscurantisme aurait-il pignon sur rue dans le corps médical ? [...] Peut-on soutenir sans rougir que « dans le temps c'était mieux » en matière alimentaire ? On est face à un théorème de Boris Vian énoncé dans « En avant la zizique » : dans le temps les vieux cons étaient jeunes et pour eux c'était mieux !

Un « noir », 05.03.10122h24

J'ai sagement et patiemment lu ce texte, sans en tirer quoi que ce soit : la dernière phrase en forme de conclusion est explicite : « Pour l'instant on est dans le domaine empirique ». Au moins, le signataire a le mérite de nous dire qu'il sait, qu'il ne sait pas ! [...]



Photo : S. Querbes

Richard-Emmanuel Eastes est agrégé de chimie, responsable du programme Communication-Éducation-Valorisation-Éthique du Département d'Études cognitives à l'École normale supérieure, Président de l'association Les Atomes Crochus et membre du Bureau de la Commission Chimie et Société.

Polémiques

Salle temps pour les experts

Nous avons beau vivre une époque formidable, les informations qui nous arrivent par tous les canaux sont de plus en plus difficiles à décoder. Notre jugement et notre équilibre mental sont mis à rude épreuve. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) nous annonce un réchauffement général de la planète dont nous serions gravement responsables, et depuis 1985, nous n'avons jamais connu un hiver si rude en Europe et en Amérique du nord. Depuis septembre, nous avons tremblé, craignant d'être victimes d'une pandémie de grippe A (H1N1), et en janvier, on nous explique que la dite grippe était bénigne et que les médecins experts auraient exagéré le risque. L'Europe autorise en février la pomme de terre « Amflora » et relance en France le débat sur les OGM qui avait atteint des sommets il y a un an après que l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA) eut indiqué que le maïs Monsanto ne présentait aucun danger. La surmortalité des abeilles imputable à l'imidaclopride et aux molécules insecticides systémiques d'après les experts en 2005, ayant justifié en France leur suspension en 2007, n'est plus aussi certaine. Les réseaux de surveillance mis en place depuis incriminent plus les parasites tels que le *Varroa* et surtout le frelon asiatique déclaré nuisible en 2010 qui décime les ruches. Enfin, les péripéties du débat national sur les nanotechnologies nous affolent : les débats « citoyens » ont été systématiquement sabotés en province et les discussions entre scientifiques et le public rendues impossibles par des experts autoproclamés, notamment du mouvement PMO s'opposant aux « nécrotechnologies » (sic).

On pourrait trouver d'autres exemples où des arguments scientifiques, technologiques ou pseudo-médicaux sont échangés dans les médias nationaux ou régionaux et non dans le cercle feutré de périodiques scientifiques. Ils frappent des auditeurs ou un lectorat qui n'ont pas en général les moyens de juger en toute connaissance et qui, désorientés, baladés, accordent de moins en moins de crédit aux « experts » et aux « savants ». J'en connais des vrais qui, livrés en pâture à la vindicte populaire, regrettent amèrement leur couverture médiatique, contrairement aux faux qui en vivent. La saga des OGM est instructive. Nous connaissons tous un éminent biologiste, président d'une commission scientifique sur le sujet, qui fut harcelé avec même des menaces de mort par des opposants extrémistes. Un autre directeur de recherche spécialiste de biologie animale, auteur du rapport qui conduisit en

2008, au nom du principe de précaution, à interdire les semences transgéniques en France, fut critiqué non seulement par les pro-OGM pour son appartenance à des comités proches de Nicolas Hulot, mais aussi persécuté par les anti-OGM car très honnêtement, il écrivait que « *la limitation dans l'investigation est loin de faire l'unanimité dans la communauté scientifique.* » Le rapport de l'AFSSA, basé sur les avis de comités scientifiques qui avaient travaillé durant plusieurs mois, réfute en janvier 2009 les arguments ayant entraîné la clause de sauvegarde pour la France auprès de Bruxelles. Mais un contre-expert, ayant une large audience médiatique, spécialiste du démontage de Mac Do, affirmait alors qu'il y avait au moins vingt-cinq arguments scientifiques pour justifier l'interdiction, sans en citer aucun.

Les récents avatars du GIEC et du changement climatique sont un peu de la même veine, mais plus planétaires. La polémique, bien qu'ancienne, s'est cristallisée à l'issue du 4^e rapport paru en 2007. Alors que l'on pensait que le système de « review » et de relecture des chapitres était au-dessus de tout soupçon. Le « climategate » de fin 2009 qui mit fortement en cause une équipe de l'Université d'East Anglia a déclenché un déferlement de réactions et d'articles dans la presse anglo-saxonne dont se sont fait écho les chimistes de la Royal Society of Chemistry et les physiciens de l'Institute of Physics. Ceux-ci se sont mis à examiner plus attentivement le rapport AR4 et pas seulement le résumé exécutif destiné aux décideurs. Plusieurs constatations de nos collègues ont alors alimenté les arguments des climatoseptiques !

Bien sûr, sont apparus l'erreur sur la disparition des glaciers de l'Himalaya en 2035 au lieu de 2350, et l'erreur sur les surfaces inondables des Pays-Bas dénoncée par le Premier ministre néerlandais, mais aussi les doutes sur les vraies qualifications des rédacteurs et les nombreuses références WWF et Greenpeace non vérifiées scientifiquement.

Donc de plus en plus de scientifiques, avec des arguments sérieux, mettent en doute les conclusions et les extrapolations alarmistes du GIEC. En France, le lobby écologique place le débat sur le plan idéologique et non scientifique. Il n'est plus possible de critiquer la nature anthropomorphique de l'évolution climatique sans être excommunié et rejeté dans les ténèbres extérieures ; de grands scientifiques de l'Institut de Physique du Globe en ont fait l'expérience.

Toutes ces polémiques déballées dans le

PAF [paysage audiovisuel français], qui montrent une intolérance, parfois une opacité, une virulence et un parti pris dont on n'imaginait pas qu'ils puissent être le fait d'hommes de sciences, portent de grands dommages à la confiance du public : comment en est-on arrivé là ?

- Les experts scientifiques ne sont plus considérés comme indépendants et impartiaux dès lors que leurs avis sont exploités médiatiquement et politiquement.

- Les expertises scientifiques sont critiquables dès qu'elles proclament une « vérité » intangible sans envisager tous les facteurs intervenant et sans prendre en compte toutes les sources vérifiées. De bonnes conclusions se doivent d'être objectives, avec les nuances et précautions que tout scientifique met dans ses publications. Malheureusement, elles ne sont plus alors médiatiques dans un monde journalistique avide de vérités sans nuances.

- Le nombre de faux experts et de faux prophètes croît avec l'audience : un syndicaliste paysan en biologie végétale, un élu ex-professeur de géographie en pathologie neurogénéralive, un présentateur de télévision en radioactivité...

- Le petit nombre de scientifiques qui préfèrent publier dans des quotidiens plutôt que dans *Physical Review* ou *Angewante Chemie* en établissant un fond de commerce qu'ils entretiennent par des déclarations médiatisées, pas toujours basées sur des arguments et travaux très sérieux, contribuent à cette méfiance.

La chimie, plus que tout autre, risque d'en pâtir ; déjà sa réputation est fragile et le nombre de bons apôtres qui la diabolisent sans nuances contribuent à faire de ce siècle, qui devrait être celui de la connaissance partagée, un nouveau siècle de l'obscurantisme. Le plus grave est le poids qu'ils font peser sur l'opinion et les décideurs qui sont tentés d'interdire au nom du principe de précaution des molécules salvatrices, la recherche sur les OGM, les cellules souches, les nanotechnologies, le nucléaire, jusqu'à même les énergies nouvelles... et handicaper durablement la recherche et le développement durable de la France et de l'Europe.

Jean-Claude Bernier,
le 29 mars 2010



Jean-Claude Bernier est vice-président de la SCF.

Les méthodes de production d'hydrogène sont-elles vertes ?

Umit B. Demirci et Philippe Miele

Résumé

L'hydrogène moléculaire est peut-être l'un des vecteurs d'hydrogène les plus prometteurs dans notre recherche d'alternatives aux ressources fossiles. Malheureusement, il n'existe pas à l'état naturel et doit donc être produit à partir de sources variées comme par exemple le gaz naturel, la biomasse ou l'eau, et aujourd'hui, de nombreuses méthodes de production (thermiques, électrochimiques et biologiques) sont étudiées. Outre son potentiel énergétique, l'hydrogène moléculaire est considéré comme un vecteur d'énergie vert dans le sens où il peut être généré à partir de sources renouvelables et que sa combustion/oxydation ne génère que de l'eau. Néanmoins, pour être exact, son caractère vert doit prendre en compte les schémas de production. L'objectif principal de cet article est donc d'analyser l'impact écologique des principaux procédés de production d'hydrogène, en les comparant les uns aux autres sur la base des douze principes de la chimie verte. Globalement, il en ressort que la combinaison « matières premières renouvelables, méthodes biologiques ou électrochimiques, et énergies renouvelables (solaire, éolienne, hydraulique et géothermique) » confère au procédé de production d'hydrogène un caractère vert indéniable.

Mots-clés

Chimie verte, énergie, hydrogène, production.

Abstract

How green are the hydrogen production processes?

Molecular hydrogen is recognised as being one of the most promising fuels alternate to fossil fuels. Unfortunately it only exists combined with other elements like e.g. oxygen in the case of water and therefore has to be produced. Today various methods for producing molecular hydrogen are being investigated. Besides its energy potential, molecular hydrogen is regarded as being a green energy carrier because it can be produced from renewable sources and its combustion/oxidation generates water. However as it has to be produced its greenness merits a deeper discussion especially stressing on its production routes. The goal of the present article is to discuss the relative greenness of the various hydrogen production processes on the basis of the twelve principles of green chemistry. It is mainly showed that the combination "renewable raw materials, biological or electrochemical methods, and renewable energies (e.g. solar or wind)" undeniably makes the hydrogen production green.

Keywords

Green chemistry, energy, hydrogen, production.

La chimie serait responsable de nombre de problèmes liés à l'environnement et à la santé. Cette remarque est de Clark qui, dans un article consacré à ce sujet, discute des défis que la chimie verte pourrait relever, notamment pour améliorer l'image ternie de la chimie [1]. Poliakoff et Licence ajoutent que le plus grand défi pour les chimistes est l'élimination de tous les produits dangereux pour l'environnement, tout en s'interrogeant sur la façon de s'assurer que les composés synthétisés soient peu ou pas toxiques et rapidement biodégradables [2].

Introduit dans les années 1990, le concept de chimie verte aborde les problématiques de développement futur en termes de ressources et d'impact environnemental [2]. La chimie verte, qui a été définie au travers de douze principes [3] (encadré 1), tire sa force de la conception moléculaire du danger qui est alors une propriété inhérente de la molécule ou de ses métabolites [4]. Aujourd'hui incontournable, elle est l'une des clés majeures pour relever les défis pour un monde durable : croissance de la population, approvisionnement alimentaire, épuisement des ressources, réchauffement climatique, eau, pollution et énergie [4]. Atout du développement durable, la chimie verte est engagée dans le domaine énergétique par le développement des technologies ; ses douze principes sont suivis pour le développement de l'économie hydrogène, et en particulier des piles à combustible [4-5].

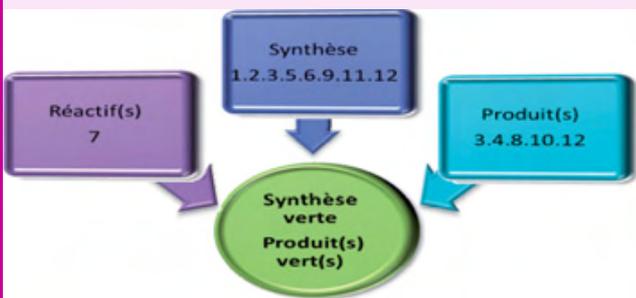
Dans la perspective du développement durable, le domaine de l'énergie est sans doute aujourd'hui – les médias aidant – celui qui a le plus d'impact sur l'opinion publique. En raison des importants volumes traités, l'énergie est accusée de problèmes environnementaux liés à sa production, son stockage et son utilisation. Ceci est particulièrement vrai pour les ressources fossiles comme le pétrole. Les énergies renouvelables ont deux objectifs : se substituer aux énergies fossiles et ne pas avoir d'impact sur l'environnement [6]. Notre avenir énergétique semble se construire autour de, non pas une seule énergie alternative, mais plusieurs [7]. L'hydrogène, pour la majorité des experts impliqués, est un vecteur d'énergie durable et Lancaster insiste sur deux spécificités vertes de l'hydrogène que sont la possibilité de le générer à partir de matières premières renouvelables et la génération d'eau comme produit de combustion ou d'oxydation [5]. Toutefois, le caractère vert de l'hydrogène mérite une discussion plus large incluant sa production puisque l'hydrogène moléculaire n'existe pas à l'état naturel. Après une section préliminaire introduisant les méthodes de production ainsi que les principes et les indicateurs de la chimie verte, nous aborderons principalement les caractères renouvelables et polluants des matières premières et l'adéquation des différents procédés de production d'hydrogène aux principes de la chimie verte.

Encadré 1 (d'après Anastas et Warner [3])

Les douze principes de la chimie verte

1. Prévenir la pollution en réduisant la production de déchets.
2. Économiser les atomes et les étapes de synthèse pour maximiser l'incorporation des matériaux utilisés au cours du procédé dans le produit final.
3. Concevoir des schémas de synthèse minimisant les dangers par l'utilisation de conditions douces et générer des produits peu ou pas toxiques pour l'homme et l'environnement.
4. Concevoir des produits chimiques efficaces mais peu ou pas toxiques.
5. Utiliser des solvants inoffensifs comme alternatives aux solvants, agents de séparation et auxiliaires de synthèse.
6. Améliorer l'efficacité énergétique et, en cela, définir, quand cela est possible, des méthodes de synthèse à température et à pression ambiante.
7. Utiliser des matières premières renouvelables à la place des ressources fossiles.
8. Réduire autant que possible la quantité de produits dérivés.
9. Favoriser l'utilisation de catalyseur sélectif.
10. Concevoir les produits en intégrant leur dissociation en produits de dégradation non nocifs à l'issue de leur utilisation, afin d'éviter leur persistance dans l'environnement.
11. Mettre au point des méthodologies d'analyse en temps réel afin de prévenir toute pollution.
12. Développer une chimie plus sûre pour prévenir les accidents, explosions, incendies et émissions de composés dangereux.

Ces douze principes (précisés dans les cadres) définissent, selon le schéma ci-dessous, les critères d'une synthèse chimique verte applicable à la production d'hydrogène.



Préliminaire

La production d'hydrogène

La production de l'hydrogène, dans ses aspects techniques, technologiques et économiques, est brièvement abordée ici, mais pour plus de détails, le lecteur est invité à consulter par exemple les références [6, 8-13], choisies parmi un très grand nombre.

L'hydrogène est produit à partir de ressources fossiles (charbon et pétrole), gaz naturel (composé essentiellement de méthane), biomasse (résidus de matières végétales et cultures spécifiquement consacrées à l'énergie) ou eau (figures 1 et 2). Les procédés de production de l'hydrogène à partir de ces sources peuvent être différenciés selon que la méthode soit thermique, électrochimique ou biologique (figure 1) [6, 11-12]. On peut distinguer dix procédés principaux : vaporeformage, oxydation partielle, thermolyse/gazéification, dissociation de l'eau par cycle thermochimique, électrolyse, électrolyse à haute température, photolyse, photobiologique, digestion anaérobie et micro-organismes photosynthétiques (tableau 1). Chacun de ces procédés est caractérisé par une source spécifique d'hydrogène, un besoin énergétique et une émission de sous-produits. Ces trois

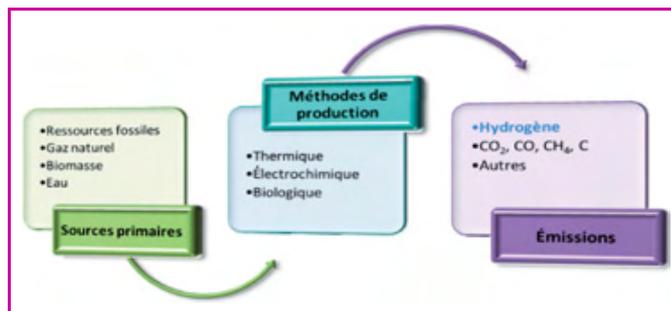


Figure 1 - Sources primaires d'hydrogène et méthodes de production.

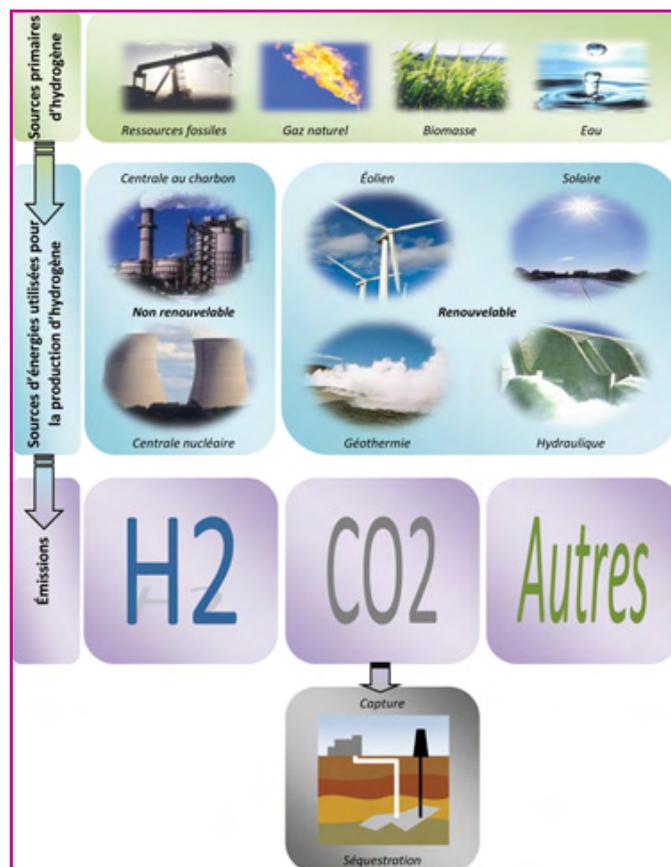


Figure 2 - Sources d'énergie pour la production d'hydrogène.

points, essentiels, sont discutés en rapport aux principes de la chimie verte. Du tableau 1 ressortent deux informations principales :

- le caractère énergivore des procédés thermiques et électrolytiques ;
- les émissions en dioxyde de carbone, gaz à effet de serre, avec les sources carbonées d'hydrogène.

Le premier point explique le coût élevé de l'hydrogène produit. Il est néanmoins souligné qu'actuellement l'électrolyse de l'eau reste beaucoup plus onéreuse que le vaporeformage du méthane avec capture et séquestration du CO₂ [9]. Concernant le second point, la solution envisagée actuellement est la capture et la séquestration du CO₂ [9, 11-13] (encadré 2).

La chimie verte au travers de douze principes et d'indicateurs

« Comment peut-on affirmer qu'un produit chimique ou qu'un procédé chimique est vert ? » Poliakoff et Licence

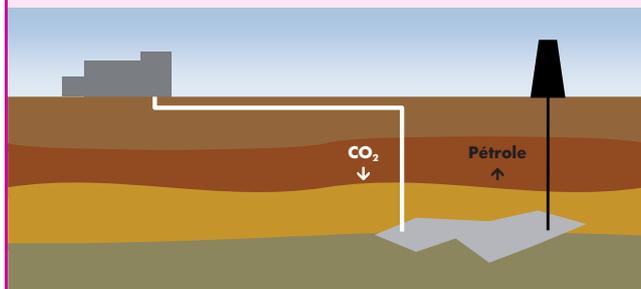
Tableau I - Sources, besoins énergétiques et émissions dans les différents procédés de production d'hydrogène [6, 10, 13].

^a HT : hautes températures ; HP : hautes pressions.^b Les émissions de produits connus pour être sains (comme O₂, H₂O...) ne sont pas indiqués.

Méthodes	Procédés de production	Sources d'hydrogène	Contraintes énergétiques et/ou chimiques ^a	Émissions secondaires ^b
Thermique	Vaporeformage	Gaz naturel (méthane)	HT et HP	CO ₂ , CO
	Oxydation partielle	Hydrocarbures	HT et HP	CO ₂ , CO, CH ₄ , C
	Thermolyse et gazéification	Biomasse, charbon	HT et HP	CO ₂ , CO, CH ₄ , C
	Dissociation de l'eau par cycle thermochimique	Eau	Chaleur (HT) de réacteurs nucléaires Auxiliaires de réaction (H ₂ SO ₄ , I ₂ , Br ₂ ...)	
Électrochimique	Électrolyse	Eau	Électricité	
	Électrolyse à haute température associée à un réacteur nucléaire	Eau	Électricité et chaleur (HT) de réacteurs nucléaires	
	Photolyse	Eau	Énergie solaire	
Biologique	Photobiologique	Eau	Algues sous l'action de la lumière solaire	
	Digestion anaérobie	Biomasse	HT	CO ₂ , CO
	Micro-organismes photosynthétiques	Biomasse	HT	CO ₂ , CO

Encadré 2 [9, 11-13]**Capture et séquestration du CO₂**

La capture et la séquestration du CO₂, un gaz à effet de serre, a pour objectif de contribuer à la lutte contre le réchauffement climatique en agissant, non pas en amont des émissions, mais en aval par le piégeage et l'empêchement de sa dispersion dans l'atmosphère. Des recherches sont menées pour mettre au point les voies optimales de capture et de séquestration du CO₂. Concernant la capture, la technologie est semblable à celles des installations de production d'hydrogène, d'ammoniaque et d'urée. Concernant la séquestration (stockage), plusieurs options sont envisagées : stockage sous l'océan, injection dans des aquifères salins profonds, injection dans des gisements d'hydrocarbures plus ou moins épuisés (*figure*) et injection dans des veines de houille. Dans le premier cas, le piégeage du CO₂ est définitif. Par contre, dans les deux autres cas, il est attendu une récupération accrue d'hydrocarbures, soit grâce à un effet bénéfique de la dissolution du CO₂ dans l'huile, soit par désorption du méthane.



rapportent que cette question laissa les chimistes quelque peu perplexes jusqu'à l'émergence des douze principes énoncés par Anastas et Warner [2-3] (*encadré 1*). Ces principes ont le mérite d'encadrer, sur le plan qualitatif, la production chimique dans toutes ses étapes. Toutefois, Poliakoff et Licence soulignent qu'il n'est pas attendu des nouveaux procédés chimiques qu'ils satisfassent systématiquement la totalité des douze principes, mais qu'une analyse détaillée fournisse une idée précise du caractère vert d'un procédé relativement à celui d'un autre [2]. Pour Mestres, la chimie verte, qui serait une philosophie, se décline en quatre objectifs [14] (*encadré 3*).

Les objectifs ou principes de la chimie verte fixent une ligne de conduite, mais il faut en outre des indicateurs afin de quantifier le caractère vert d'un produit ou d'un procédé chimique relativement à celui d'un autre. Constable *et al.*

Encadré 3 (d'après Mestres [14])**Les quatre objectifs de la chimie verte**

- I. Réduction de l'utilisation et de la génération de produits polluants au cours du procédé.
- II. Réduction de l'utilisation de produits chimiques dangereux.
- III. Réduction des effets dangereux des produits finaux.
- IV. Réduction de l'utilisation de matières premières épuisables et de ressources peu abondantes.

Il y a évidemment une correspondance entre les objectifs présentés ci-dessus et les principes de la chimie verte, qui peut être résumée selon les équivalences suivantes :

- I. 1, 2, 4, 5, 8, 9, 10, 11.
- II. 3, 5, 9, 12.
- III. 3, 4, 9, 10.
- IV. 7.

Le principe 6 relatif à l'optimisation de l'efficacité énergétique des procédés chimiques ne semble pas s'intégrer aux quatre objectifs listés dans le présent encadré.

rapportent qu'un certain nombre d'indicateurs ont été proposés depuis l'énoncé des douze principes [15]. Les indicateurs les plus communs ont alors été explorés et comparés : le rendement massique effectif, le facteur environnement ou facteur E, l'économie d'atomes et l'efficacité carbone (*encadré 4*). Ces indicateurs peuvent être appliqués à toute réaction chimique, donc aux méthodes

Encadré 4 (d'après Constable *et al.* [15])**Quelques indicateurs de la chimie verte**

- Rendement massique effectif RMA (*Effective mass yield*) :

$$\text{RMA} (\%) = 100 \times \sum m_j' / \sum m_i$$
- Facteur E ou facteur environnement (*E-factor*) :

$$E = M^{\text{déchets}} / M$$
- Économie d'atomes EA (*Atom economy*) :

$$\text{EA} = 100 \times \sum m w_j' / \sum m w_i$$
- Efficacité carbone EC (*Carbon efficiency*) :

$$\text{EC} = 100 \times (\sum n_j' \times N c_j') / (\sum n_i \times N c_i)$$

avec m_i , la masse du réactif non bénin i ; m_j' , la masse du produit de réaction j ; $M^{\text{déchets}}$, la masse totale de déchets ; M , la masse de produit ; $m w_i$, la masse moléculaire du réactif i ; $m w_j'$, la masse moléculaire du produit j ; n_i , le nombre de moles du réactif i ; n_j' , le nombre de moles du produit j ; $N c_i$, le nombre d'atomes de carbone dans le réactif i ; et $N c_j'$, le nombre d'atomes de carbone dans le produit j .

Tableau II - Valeurs maximales^a pour les indicateurs – rendement massique effectif (RMA), facteur environnement (E), économie d'atomes (EA) et efficacité carbone (EC) – appliquées aux différents procédés de production d'hydrogène.

^a En supposant que le rendement de production d'hydrogène soit de 100 % pour tous les procédés et toutes les sources d'hydrogène ; à noter que les valeurs réelles de rendement n'ont pas été prises en compte du fait de la trop grande différence dans les efforts consacrés à l'amélioration de chacun des procédés.

^b Tous les produits secondaires (O₂, CO, CO₂, etc.) sont considérés ici comme déchets.

^c Méthane (16 g.mol⁻¹) considéré ici comme référence du gaz naturel ; butane (58 g.mol⁻¹) comme représentant des hydrocarbures ; cellulose (C₆H₁₀O₅)_{2 500} (405 000 g.mol⁻¹) comme exemple de biomasse.

^d S'il est supposé que les auxiliaires de réaction sont intégralement récupérés et recyclés.

Méthodes	Procédés de production	Sources d'hydrogène	RMA	E ^b	EA	EC
Thermique	Vaporeformage	Méthane ^c	25 %	5,5	15 %	0 %
	Oxydation partielle	Butane ^c	18 %	11,2	8 %	0 %
	Thermolyse et gazéification	Cellulose ^c	6 %	15,2	6 %	0 %
	Cycle thermo-chimique	Eau	11 % ^d	8,0	11 %	-
Électrochimique	Électrolyse	Eau	11 %	8,0	11 %	-
	Électrolyse à haute température	Eau	11 %	8,0	11 %	-
	Photolyse	Eau	11 %	8,0	11 %	-
Biologique	Photobiologique	Eau	11 %	8,0	11 %	-
	Digestion anaérobie	Cellulose ^c	6 %	15,2	6 %	0 %
	Micro-organismes photosynthétiques	Cellulose ^c	6 %	15,2	6 %	0 %

de production d'hydrogène discutées ci-avant. Le *tableau II* présente les valeurs maximales que peuvent donner ces indicateurs (en supposant un rendement théorique en production d'hydrogène à partir de toute matière première de 100 %), et il en ressort les observations suivantes :

- les valeurs de rendement massique effectif calculées pour le vaporeformage et l'oxydation partielle sont très supérieures à celles des autres procédés et ceci s'explique par l'intervention dans la réaction des réactifs bénins H₂O et O₂ mais pas dans les calculs ;

- les procédés utilisant des sources carbonées d'hydrogène ont évidemment un facteur environnement élevé du fait des émissions de CO/CO₂ ; à noter que les valeurs données pour les procédés impliquant l'eau ne sont pas significatives puisque le « déchet » en question n'est autre que l'oxygène moléculaire ;

- la valeur quantifiant l'économie d'atomes correspond en fait au pourcentage d'atomes d'hydrogène contenus dans la source d'hydrogène (par exemple l'eau), ou dans l'ensemble des réactifs nécessaires à la production d'hydrogène (par exemple le méthane et l'eau en vaporeformage) ;

- l'hydrogène étant le produit de réaction, l'efficacité carbone est évidemment nulle pour toutes les sources carbonées d'hydrogène ; cet indicateur ne s'applique pas à l'eau.

Cette première analyse montre que globalement les procédés utilisant l'eau comme source d'hydrogène ont un caractère relativement plus vert que ceux utilisant des sources carbonées. Cette première analyse est complétée dans la discussion suivante en utilisant des indicateurs qualitatifs.

Productions d'hydrogène, vertes ?

L'hydrogène répond parfaitement aux critères définis par le principe 4 de la chimie verte, étant un vecteur d'énergie particulièrement efficace et un gaz non toxique. Concernant le caractère dangereux lié à son inflammabilité et à son explosivité, pour de nombreux acteurs impliqués dans la production d'hydrogène, celui-ci ne serait pas plus dangereux que les hydrocarbures (gaz ou liquides) mais serait différent, et en cela son utilisation requerrait une éducation [9, 11-12].

C'est donc la production de l'hydrogène qui est un des facteurs clés du développement de l'hydrogène vecteur

d'énergie. Produire l'hydrogène est une chose mais produire l'hydrogène selon un procédé vert en est une autre. Cette dernière remarque est importante puisque comme le soulignait Sillion : « *le chimiste doit consolider sa démarche par la prise en compte de l'aspect sociétal et pouvoir apprécier les gains environnementaux de son action* » [16]. Pour Mestres, les principaux objectifs de la chimie verte sont le processus chimique et les produits finaux [14]. Dès lors, pour juger du caractère vert de l'hydrogène vecteur d'énergie, il semble naturel de se baser sur les principes de la chimie verte qui cadrent toutes les étapes de production d'un produit chimique [3].

Sources d'hydrogène

Sources renouvelables ?

La diversité de matières premières utilisables (voir ci-avant) est d'autant plus intéressante qu'elle permet de produire d'hydrogène presque partout dans le monde, mais ceci suppose une égalité dans l'accès à l'énergie à travers le monde, ce qui est un élément à considérer dans une approche verte de l'économie de l'hydrogène [4]. Dans le contexte de la chimie durable, le choix de la matière première est crucial et sa nature introduit un nouvel indicateur : la renouvelabilité de la matière première. Horváth et Anastas précisent qu'un des défis les plus importants de la recherche pour une chimie verte est la valorisation de la biomasse (ou des « déchets » de la nature) en produits industriels [17]. Il est évident pour Poliakov et Licence [2] ainsi que pour Scharlemann et Laurance [18] que la biomasse considérée doit être à finalité non alimentaire. Ainsi, le gaz naturel (ou méthane) généré par la décomposition de déchets organiques et de biomasse non alimentaire, tous deux renouvelables, répondent de manière satisfaisante à la notion de durabilité. À celui-ci peut s'ajouter l'eau puisque ses réserves sont inépuisables. Par contre, les ressources fossiles comme le charbon ou le pétrole sont limitées et non renouvelables, et sont émettrices de dioxyde de carbone, le principal gaz à effet de serre. Néanmoins, certains des acteurs impliqués dans la production d'hydrogène insistent sur la place importante du charbon dans le développement d'un futur énergétique basé sur l'hydrogène, puisque cette matière première a actuellement l'avantage d'être bon marché [12] et d'avoir des ressources encore abondantes (900 x 10⁹ t) [19].

Sources émettrices de CO₂

Une autre caractéristique essentielle des matières premières pour l'hydrogène est la présence ou non de carbone dans leur structure moléculaire en raison de la production de CO₂ dans le procédé. Les *tableaux I* et *II* montrent que tous les procédés impliquant la biomasse, le charbon ou les hydrocarbures produisent du CO₂ (efficacité carbone de 0 %). En outre, la prise en compte de la toxicité de sous-produits devrait être tout aussi importante que l'est celle de la diminution de la toxicité intrinsèque du produit [17]. Il est ici important de distinguer la biomasse et le gaz naturel, du charbon et des hydrocarbures.

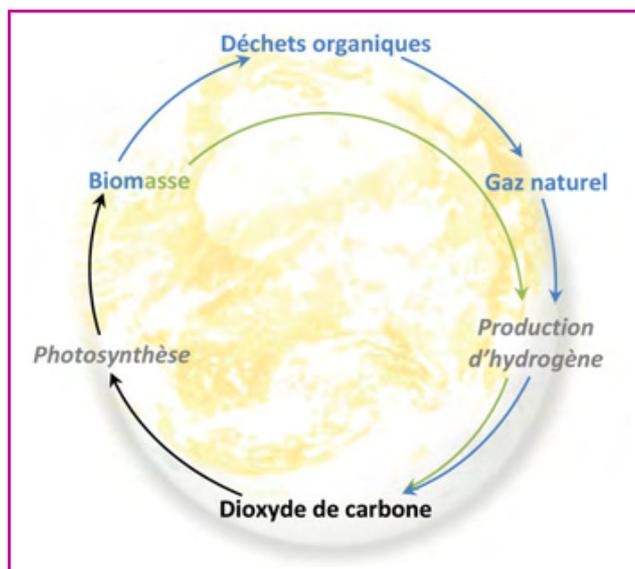


Figure 3 - Le dioxyde de carbone des matières premières carbonées renouvelables.

• La biomasse est naturellement produite grâce au procédé de photosynthèse consommant du dioxyde de carbone (172×10^9 t [19]). Dès lors, toute molécule de CO_2 émise par conversion de la biomasse en hydrogène devrait théoriquement être consommée pour la production d'une nouvelle biomasse (figure 3). D'après Orecchini et Bocci, avec la biomasse comme matière première, l'hydrogène produit par toute méthode, qu'elle soit thermique, électrochimique ou biologique, pourra s'intégrer dans un cycle fermé de ressources énergétiques [6] (figure 4). Ceci s'applique aussi à l'eau. De tels cycles fermés seraient écologiquement neutres et durables à la condition que les besoins énergétiques à l'application des méthodes de production soient renouvelables (électricité d'origine solaire, éolienne, géothermique ou hydraulique) ou non producteurs de CO_2 (nucléaire). Néanmoins, Orecchini et Bocci restent prudents et précisent que l'utilisation de la biomasse a des impacts positifs (absence d'émissions additionnelles de CO_2 , prévention de l'érosion, épuration des sols contaminés, augmentation de la biodiversité, etc.) et négatifs (pollutions causées par des engrais chimiques, déforestation, utilisation excessive d'eau, maladies, etc.) [6]. De plus, l'émission de gaz à effet de serre est une réalité dans toutes les étapes du schéma de production d'hydrogène (au sens large), de la collecte des matières premières à la distribution de l'hydrogène en passant par les différentes étapes

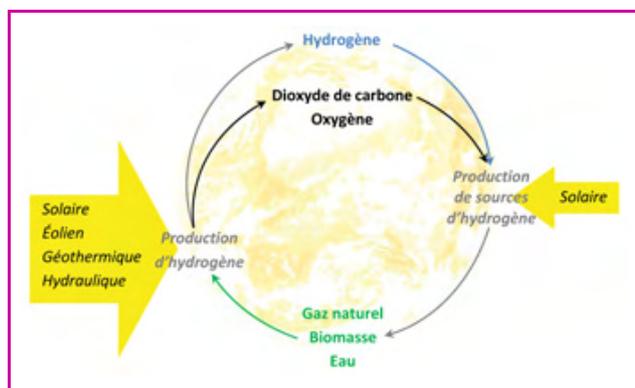


Figure 4 - Cycle fermé de ressources énergétiques (d'après [6]).

d'acheminement, d'éventuels traitements et de production. En d'autres termes, l'implication de la biomasse dans le domaine de l'énergie devra se faire raisonnablement pour ne pas, dans une transition effrénée et incontrôlée au « tout biomasse », ruiner les bénéfices environnementaux en termes de durabilité, de renouvelabilité et de caractère vert de son utilisation.

• Un raisonnement similaire peut s'appliquer au méthane du gaz naturel (figure 3) si celui-ci est issu de sources renouvelables. Le méthane se forme à partir de différentes sources, qu'elles soient anthropogéniques (sites d'enfouissement de déchets, exploitations minières, gazières et pétrolières, élevages animaliers, culture du riz, combustion de biomasse, traitement des eaux usées et des déchets humains, et certains procédés industriels) ou naturelles (marais et terres inondées, hydrates marins et terrestres, pergélisol*, termites, sédiments) [20-21]. Les émissions globales de méthane d'origine naturelle sont évaluées à environ 40 % [20]. À la liste de sources naturelles données ci-avant s'est très récemment ajoutée une nouvelle : les plantes terrestres. Keppler *et al.* ont montré que le méthane est facilement formé *in situ* par les plantes [22]. Cette étude a suscité un débat puisque le méthane est un gaz à effet de serre dont l'impact sur le réchauffement climatique est loin d'être négligeable (23 fois le potentiel de réchauffement de CO_2). Très récemment, Dessus *et al.* ont publié un article assez alarmiste, recommandant de ne pas oublier le méthane dans la lutte contre le réchauffement climatique et montrant l'impact crucial de ce gaz à effet de serre [23]. Il y a aujourd'hui une certaine unanimité sur l'obligation de réduire les émissions anthropogéniques de méthane et deux pistes sont précisément étudiées : une action en amont avec une réduction à la source des émissions, et une action en aval avec une capture du gaz pour l'utiliser comme vecteur d'énergie (combustible direct ou source d'hydrogène ou de méthanol) [21, 24]. Börjesson et Mattiasson montrent par exemple que l'utilisation du méthane issu des déchets organiques d'origine animale est doublement favorable de par une réduction des émissions de méthane et une réduction des émissions de CO_2 par rapport à un combustible fossile [25]. Ainsi, comparé aux combustibles fossiles, le méthane serait vert comme la biomasse et ne devrait pas être considéré comme ayant un effet de serre additionnel. La situation est inverse pour les ressources fossiles, émettrices de CO_2 contribuant à l'effet de serre additionnel. Néanmoins, des actions sont aujourd'hui menées pour remédier à ces émissions néfastes. La solution envisagée est de capturer et séquestrer le CO_2 émis au cours de la production d'hydrogène.

Le dioxyde de carbone n'est pas le seul produit secondaire et peut être accompagné de monoxyde de carbone, de méthane et de carbone. Ces autres produits de réaction ne seront pas discutés en détail ici car il existe des moyens de réduire, voire d'empêcher leurs émissions. Le monoxyde de carbone est l'un des deux constituants du gaz de synthèse issu du reformage du méthane. Celui-ci peut-être converti, en présence d'eau, en CO_2 avec génération d'hydrogène (réaction de « water gas shift »). Dès lors, on peut concevoir que cette conversion puisse s'appliquer à tous les procédés de production d'hydrogène émettant du CO. Le méthane généré au cours de la production d'hydrogène peut être récupéré pour être ensuite vaporeformé en hydrogène. Enfin, le carbone solide peut être récupéré pour être par exemple utilisé comme matériau de pile à combustible [26]. Néanmoins, la nature renouvelable ou non renouvelable de la source d'hydrogène conditionne la considération du principe 8. Par exemple, le méthane

comme produit dérivé issu de la transformation de la biomasse en hydrogène et le méthane comme produit dérivé issu de la transformation d'un hydrocarbure en hydrogène s'opposent, les deux pouvant être capturés et vaporeformés en hydrogène et dioxyde de carbone. Par contre, le CO₂ n'a pas d'effet additionnel dans le premier cas, mais en a dans le second. De fait, il convient d'analyser les indicateurs facteur environnement et efficacité carbone (*tableau II*) avec précaution, selon que la nature de la source d'hydrogène est renouvelable ou non.

Procédés de production d'hydrogène

Procédés biologiques

Les procédés biologiques de production de l'hydrogène peuvent se classer en trois catégories [6, 9, 11-12, 27-28] (*tableau I*) :

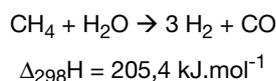
- la biophotolyse de H₂O en H₂ par des algues (par exemple algues vertes unicellulaires) et des cyanobactéries,
- la photodécomposition de biomasse par des bactéries,
- la digestion anaérobique (fermentation) de biomasse par des bactéries.

À noter qu'une quatrième catégorie peut s'ajouter aux précédentes : le système hybride combinant bactéries photosynthétiques et bactéries anaérobiques. Pour tous ces procédés de production, la matière première (eau ou biomasse) est renouvelable et ce sont des (micro)organismes naturels qui sont le siège des réactions biologiques/chimiques. Les métabolites principalement produits sont, outre H₂, du CO₂ et du O₂, le CO₂ étant nécessaire à la photosynthèse (*figure 3*).

Il est donc indéniable que les procédés biologiques sont verts.

Procédés thermiques et électrochimiques

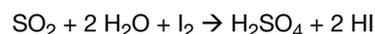
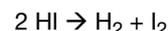
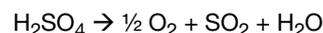
Parmi les différentes méthodes de production d'hydrogène, les procédés thermiques sont les plus étudiés et les plus aboutis [9, 12]. De nombreux procédés sont étudiés ou développés, quatre d'entre eux étant cités dans le *tableau I*. Les matières premières utilisées sont nombreuses et variées : hydrocarbures, charbon, gaz naturel, biomasse et eau. Le procédé le plus commun est le vaporeformage du gaz naturel :



Ce procédé consiste à transformer cette matière première en gaz de synthèse (mélange H₂, CO, CO₂, CH₄ et H₂O) par réaction avec la vapeur d'eau sur un catalyseur au nickel, cette transformation ayant lieu à haute température (840-950 °C) et à pression modérée (20-30 bars) [8-10, 12-13]. Le procédé nécessite une désulfurisation du gaz naturel et d'importants besoins énergétiques. En fait, les procédés thermiques sont évidemment consommateurs d'énergie, qui peut être fournie par la matière première. Par exemple, l'oxydation partielle des hydrocarbures s'opère à des températures de 1 200-1 500 °C et à des pressions de 20 à plus de 100 bars [9-10, 13]. Concernant le procédé de thermolyse/gazéification du charbon ou de la biomasse, celui-ci se fait en plusieurs étapes, où des températures allant jusque 1 000 °C sont atteintes [6, 12].

Le nucléaire est un acteur majeur, notamment en France, pour les besoins en énergie des procédés thermiques et électrochimiques. Plusieurs méthodes reposant sur le

nucléaire (électricité et/ou chaleur) sont développées. La technologie de production d'hydrogène la plus viable utilisant l'énergie nucléaire (électricité) est l'électrolyse conventionnelle à basse température (< 100 °C) [8-9, 12, 29]. Deux autres méthodes, dont les applications potentielles sont estimées à plus long terme [12], sont l'électrolyse (H₂O → H₂ + ½ O₂) à haute température (jusque 1 100 °C) utilisant la chaleur nucléaire en plus de l'électricité, et les cycles thermo-chimiques mettant en jeu des réactions chimiques à haute température (450-1 000 °C) [13] :



Le *tableau I* présente un dernier procédé électrochimique, la photolyse (ou photoélectrolyse), qui permet de produire l'hydrogène par dissociation de l'eau par illumination d'un semi-conducteur immergé dans un électrolyte aqueux [9, 12]. D'après Bockris, l'hydrogène ainsi produit pourrait être à terme viable et représenter 50 % des besoins en hydrogène [30].

Les procédés thermiques et électrochimiques discutés ci-dessus (excepté la photolyse) nécessitent des besoins énergétiques significatifs (températures proches des 1 000 °C), ce qui est contradictoire aux principes 3 et 6 de la chimie verte qui préconisent respectivement l'utilisation de conditions douces et une meilleure efficacité énergétique. À cela s'ajoute le fait que le nucléaire ne fait pas l'unanimité sur des considérations environnementales et de sûreté et qu'il utilise des ressources épuisables comme l'uranium. Par contre, ce discours est à nuancer quand l'électricité utilisée est renouvelable. Les sources primaires d'énergie comme le solaire, l'éolien, le géothermique ou l'hydraulique permettent de produire une énergie renouvelable durable. En conséquence, si c'est cette électricité qui est utilisée pour générer l'hydrogène *via* les procédés thermiques ou électrochimiques, les critères définis pour la chimie verte devraient être remplis. Granovskii *et al.* suggèrent qu'en termes de réduction des émissions de polluants atmosphériques, l'hydrogène produit par électrolyse assistée d'énergie solaire (ou éolienne) serait plus avantageuse que l'hydrogène généré par vaporeformage du méthane [31]. Ils ajoutent que même les technologies solaires, éoliennes, géothermiques et hydrauliques seront à l'origine d'émissions de polluants atmosphériques, ces émissions étant dues à l'élaboration des matériaux de fabrication et à leur transport.

Bilan

En accord avec l'idée de Poliakov et Licence, le caractère vert d'une technologie de production d'hydrogène est à discuter à la lumière des douze principes [2]. L'analyse, plutôt qualitative, du caractère vert des procédés de production d'hydrogène est donc synthétisée par le *tableau III* qui donne un aperçu global du respect des principes pour chacun de ces procédés, sachant que dans cette analyse l'énergie nécessaire est considérée comme étant d'origine nucléaire. Plusieurs observations émergent de ce tableau :

- Les procédés photolytiques et photobiologique, fondés sur l'utilisation de la biomasse, de l'énergie solaire et des algues pour le second procédé, sont relativement verts.
- Les procédés électrolytiques, biologiques et thermiques utilisant des matières premières renouvelables peuvent être

Tableau III - Comparaison des procédés de production d'hydrogène sur la base des douze principes de la chimie verte, si les besoins énergétiques sont d'origine nucléaire.

n.a. : non abordé.

Méthodes de production	Procédés de production	Principes de la chimie verte												
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	
Thermique	Vaporeformage	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	n.a.	✓	n.a.	n.a.	
	Oxydation partielle	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗	n.a.	✓	n.a.	n.a.	
	Thermolyse et gazéification	Charbon	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗	n.a.	✓	n.a.	n.a.
		Biomasse	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	n.a.	✓	n.a.	n.a.
	Cycle thermochimique	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✓	n.a.	✓	n.a.	n.a.	
Électrochimique	Électrolyse	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	n.a.	✓	n.a.	n.a.	
	Électrolyse à haute température	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	n.a.	✓	n.a.	n.a.	
	Photolyse	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	n.a.	✓	n.a.	n.a.	
Biologique	Photobiologique	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	n.a.	✓	n.a.	n.a.	
	Digestion anaérobie	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	n.a.	✓	n.a.	n.a.	
	Micro-organismes photosynthétiques	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	n.a.	✓	n.a.	n.a.	

Tableau IV - Comparaison des procédés de production d'hydrogène sur la base des douze principes de la chimie verte, si les besoins énergétiques sont d'origine renouvelable (solaire, éolienne, géothermique ou hydraulique).

n.a. : non abordé, h.p. : hors propos.

Méthodes de production	Procédés de production	Principes de la chimie verte												
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	
Thermique	Vaporeformage	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	n.a.	✓	n.a.	n.a.	
	Oxydation partielle	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗	n.a.	✓	n.a.	n.a.	
	Thermolyse et gazéification	Charbon	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗	n.a.	✓	n.a.	n.a.
		Biomasse	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	n.a.	✓	n.a.	n.a.
	Cycle thermochimique	h.p.	h.p.	h.p.	h.p.	h.p.	h.p.	h.p.	h.p.	h.p.	h.p.	h.p.	h.p.	
Électrochimique	Électrolyse	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	n.a.	✓	n.a.	n.a.	
	Électrolyse à haute température	h.p.	h.p.	h.p.	h.p.	h.p.	h.p.	h.p.	h.p.	h.p.	h.p.	h.p.	h.p.	
	Photolyse	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	n.a.	✓	n.a.	n.a.	
Biologique	Photobiologique	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	n.a.	✓	n.a.	n.a.	
	Digestion anaérobie	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	n.a.	✓	n.a.	n.a.	
	Micro-organismes photosynthétiques	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	n.a.	✓	n.a.	n.a.	

considérés comme étant relativement verts, sous réserve du contrôle des sources énergétiques.

- Les procédés thermiques basés sur l'utilisation de ressources fossiles sont les moins verts à cause de la génération de dioxyde de carbone pouvant contribuer à l'effet de serre additionnel, sauf si les unités sont équipées pour capter et stocker le CO₂.

Il peut être intéressant de présenter un tableau semblable en ne considérant que des énergies renouvelables d'origine solaire, éolienne, géothermique et hydraulique à la place d'une énergie d'origine nucléaire (tableau IV). Les procédés photolytique et photobiologique restent des procédés efficaces en termes de chimie verte. Les autres procédés peuvent être considérés comme étant tout aussi intéressants puisque, comme cela a été souligné précédemment, leurs besoins énergétiques sont en général placés au second plan quand l'énergie est de nature renouvelable [9, 11-12, 31]. Les procédés basés sur le nucléaire ne seraient plus envisagés avec les énergies renouvelables.

L'analyse présentée ici rejoint assez fidèlement l'opinion générale des acteurs de l'hydrogène. Il est notamment reporté que la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau à partir d'électricité fournie par les énergies renouvelables et les procédés biologiques devrait à moyen/long termes remplacer les procédés de vaporeformage et d'électrolyse de l'eau assistée de l'électricité nucléaire [9, 12]. Cette transition est indispensable des points de vue de la chimie verte et du développement durable mais ne pourra se faire que si ces technologies deviennent compétitives et viables. Aussi la possibilité de produire l'hydrogène à partir de matières premières renouvelables (gaz naturel, biomasse et eau) et d'énergies renouvelables sera la grande force de

l'hydrogène, permettant une production d'hydrogène dans toute région de la planète. Ces procédés devraient aussi permettre de tendre vers les objectifs consommation nulle en énergies non renouvelables et absence d'impact sur l'environnement (figure 4) [6].

Conclusion

L'objectif principal de cet article était d'analyser le caractère vert des principaux procédés de production d'hydrogène, en les comparant les uns aux autres, sur la base des principes de la chimie verte. On peut les classer dans l'ordre suivant en fonction de leur adéquation croissante aux douze principes :

1. les procédés basés sur l'utilisation de ressources fossiles ;
2. la combinaison matières premières renouvelables (gaz naturel, biomasse et eau), méthodes biologiques ou électrochimiques, et énergies renouvelables (solaire, éolienne, hydraulique et géothermique) ;
3. les procédés photolytiques et photobiologiques, respectant tous les principes de la chimie verte.

Bien que relativement verts, ces procédés ne sont pas compétitifs et économiquement viables à l'heure actuelle. De plus, ils sont confrontés à des difficultés techniques qui freinent leur développement. Aussi, adopter l'hydrogène comme vecteur d'énergie demande de le stocker, de le distribuer et d'assurer la sécurité de son utilisation. Toutes ces difficultés mériteraient tout autant que sa production d'être discutées relativement au concept de chimie verte. Ces aspects, plus particulièrement le stockage de l'hydrogène, pourraient faire l'objet de discussion(s) complémentaire(s).

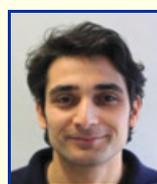
Remerciements

Nous remercions vivement Bernard Sillion (Service central d'analyse, CNRS) pour la discussion que nous avons eue, sa lecture critique du manuscrit et les suggestions apportées visant à l'améliorer.

Notes et références

- Umit B. Demirci a publié en mars 2009 un article en anglais sur ce sujet dans la revue *Environment International* : How green are the chemicals used as liquid fuels in direct liquid-feed fuel cells? (2009, 35(3), p. 626).
- * *Pergélisol* : couche profonde d'un sol gelé en permanence.
- [1] Clark J.H., Green chemistry: challenges and opportunities, *Green Chem.*, **1999**, 1(1), p. 1.
 - [2] Poliakoff M., Licence P., Green chemistry, *Nature*, **2007**, 450, p. 810.
 - [3] Anastas P.T., Warner J., *Green chemistry: theory and practice*, Oxford University Press, Londres, **1998**.
 - [4] Anastas P.T., Meeting the challenges to sustainability through green chemistry, *Green Chem.*, **2003**, 5(2), p. G29.
 - [5] Lancaster M., *Green chemistry: an introductory text*, RSC Paperbacks, RSC, Cambridge, **2002**.
 - [6] Orecchini F., Bocci E., Biomass to hydrogen for the realization of closed cycles of energy resources, *Energy*, **2007**, 32, p. 1006.
 - [7] Tollefson J., Not your father's biofuels, *Nature*, **2008**, 451, p. 880.
 - [8] Numéro thématique « L'hydrogène, carburant de demain ? », *L'Act. Chim.*, déc. **2001**.
 - [9] Association Française de l'Hydrogène (AFH2), www.afh2.org.
 - [10] L'hydrogène, les nouvelles technologies de l'énergie, *Clefs CEA*, **2005**, 50-51 (pdf téléchargeable librement sur www.cea.fr/energie/l_hydrogene_les_nouvelles_technologies_de_l_ene).
 - [11] United States Department of Energy (US DOE), Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE), www.eere.energy.gov.
 - [12] National Hydrogen Association, www.hydrogenassociation.org.
 - [13] Darkrim-Lamari F., Malbrunot P., Combustible hydrogène : production, *Techniques de l'Ingénieur*, **2006**, réf. BE8565.
 - [14] Mestres R., A brief structured view of green chemistry issues, *Green Chem.*, **2004**, 6(1), p. G10.
 - [15] Constable D.J.C., Curzons A.D., Cunningham V.L., Metrics to "green" chemistry - which are the best?, *Green Chem.*, **2002**, 4(6), p. 521.
 - [16] Sillion B., La chimie pour un développement durable : pourquoi et comment ?, *L'Act. Chim.*, **2008**, 316, p. 3.
 - [17] Horváth I.T., Anastas P.T., Innovations and green chemistry, *Chemical Reviews*, **2007**, 107(6), p. 2169.

- [18] Scharlemann J.P.W., Laurance W.F., How green are biofuels?, *Science*, **2008**, 319, p. 43.
- [19] Olah G.A., Goeppert A., Prakash C.K.S., *Beyond oil and gas: the methanol economy*, Wiley-VCH, **2006**.
- [20] US Environmental Protection Agency, www.epa.gov/methane/index.html.
- [21] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), www.ipcc.ch.
- [22] Keppler F., Hamilton J.T.G., Braß M., Röckmann T., Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions, *Nature*, **2006**, 439, p. 187.
- [23] Dessus B., Laponche B., Le Treut H., Effet de serre, n'oublions pas le méthane, *La Recherche*, **2008**, 417, www.larecherche.fr/content/recherche/article?id=22859.
- [24] Methane to Markets Partnership, www.methanetomarkets.org.
- [25] Börjesson P., Mattiasson B., Biogas as a resource-efficient vehicle fuel, *Trends Biotechnol.*, **2008**, 26, p. 7.
- [26] Serban M., Lewis M.A., Marshall C.L., Doctor R.D., Hydrogen production by direct contact pyrolysis of natural gas, *Energy Fuels*, **2003**, 17, p. 705.
- [27] Chum H.L., Overend R.P., Biomass and renewable fuels, *Fuel Process. Technol.*, **2001**, 71, p. 187.
- [28] Chader S., Hacene H., Belhamel M., Agathos S., *Revue des Énergies Renouvelables*, **2007**, 10(4), p. 497.
- [29] Schultz P., Production d'hydrogène par électrolyse de l'eau, *L'Act. Chim.*, **2002**, 249, p. 3.
- [30] Bockris J.O'M., Hydrogen no longer a high cost solution to global warming: new ideas, *Int. J. Hydrogen Energy*, **2008**, 33, p. 2129.
- [31] Granovskii M., Dincer I., Rosen M.A., Air pollution reduction via use of green energy sources for electricity and hydrogen production, *Atmos. Environ.*, **2007**, 41, p. 1777.



U.B. Demirci

Umit B. Demirci (auteur correspondant) est maître de conférences et **Philippe Miele** est professeur à l'Université Claude Bernard Lyon 1* et directeur du Laboratoire des Multimatériaux et Interfaces, Villeurbanne**.



P. Miele

* Université de Lyon, F-69003 Lyon ; Université Claude Bernard Lyon 1, F-69003 Lyon.

** CNRS UMR 5615, Laboratoire des Multimatériaux et Interfaces, F-69622 Villeurbanne Cedex.
Courriels : Umit.Demirci@univ-lyon1.fr, Philippe.Miele@univ-lyon1.fr

les éditions d'île de france

102 avenue Georges Clemenceau - 94700 MAISONS ALFORT

Tél. : 01 43 53 64 00 - Fax : 01 43 53 48 00

La sécurité au laboratoire de chimie

Retour sur les MIEC-JIREC 2009

Jean-Charles Mougénel et Katia Fajerwerg

Les 25^e Journées de l'innovation et de la recherche dans l'enseignement de la chimie (JIREC), ayant pour thème **La sécurité au laboratoire de chimie**, et les 13^e Journées Multimédia et informatique dans l'enseignement de la chimie (MIEC), autour du thème **Nouveaux outils informatiques, nouveaux comportements, nouvelles pratiques...**, se sont déroulées à Mulhouse du 3 au 5 juin 2009⁽¹⁾. Ces manifestations étaient organisées sous la responsabilité de Jean-Charles Mougénel par l'École Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse (ENSCMu), l'Université de Haute-Alsace (UHA) et la division Enseignement et Formation de la Société Chimique de France (DEF-SCF).



« Chimie Mulhouse » devant le « phare du bout du monde » : depuis 2007, ce phare est l'emblème de nos journées, en « portant la lumière de la connaissance au bout du monde. » © SCF-DEF, Ec'Mulh.

Le thème retenu pour ces journées s'imposait à Mulhouse où le professeur Gérard Killé conçut dans les années 80 le premier cours dédié à la sécurité de la réaction chimique sous forme d'un DESS puis d'une option du cycle ingénieur. Devenue un impératif, la sécurité s'impose aussi bien dans le monde industriel que dans celui de la recherche, engendrant l'apparition de nouveaux métiers et nécessitant de nouvelles compétences, d'où de nouveaux besoins de formation à tous les niveaux de l'enseignement, notamment en chimie.

La société actuelle proscrit toute prise de risques, aussi bien pour les populations que pour les salariés de l'entreprise, entraînant une évolution rapide des règlements et des normes au niveau européen et mondial. Sur le plan de la formation, les règles liées à la sécurité auront entraîné ces vingt dernières années un bouleversement profond des usages, notamment au niveau des travaux pratiques : généralisation du port des équipements de protection individuels, recours systématique aux propipettes, disparition des becs Bunsen, limitation des volumes de solvants dans les laboratoires, formation à la sécurité au début de chaque cycle de TP... D'autres règles, toujours

plus contraignantes, verront certainement le jour et la tentation devient grande de supprimer tout enseignement pratique en chimie, voire de le remplacer par des simulations informatiques. L'enseignant de chimie serait-il contraint à n'aborder qu'une chimie virtuelle ?

L'objectif de ces journées était d'essayer d'apporter quelques éléments de réponse à ces nombreuses questions. Il s'agissait également de donner, sous forme de conférences et de communications, des informations sur l'application des règles de sécurité et les compétences indispensables pour y parvenir dans les mondes de l'industrie et de la recherche. Ces journées ont par ailleurs permis de présenter des pratiques pédagogiques originales. L'organisation d'ateliers, de communications par affiches et de démonstrations a été le cadre d'échanges d'idées et de points de vue particulièrement enrichissants. Le programme de ces journées a comporté neuf conférences plénières de 45 min, quatre communications orales de 20 min et quatre ateliers (voir le programme détaillé dans l'encadré 1, p. 14).

D'autre part, en dehors des thèmes MIEC-JIREC 2009, quatre communications orales, cinq ateliers et une séance de communications par affiches ont été présentés (voir chapitre « Innovation et recherches dans l'enseignement de la chimie »).

Les articles qui suivent cette présentation générale des MIEC-JIREC 2009 se rapportent aux conférences et communications, d'autres articles seront publiés ultérieurement. Par ailleurs, **le programme et l'enregistrement vidéo des diverses conférences peuvent être consultés sur le site www.enscmu.uha.fr/jirec**.

Les ateliers thématiques

Côté JIREC

- « *Autour du principe de précaution* », animé par Serge Walter (ENSCMu)

Y aurait-il des limites au principe de précaution ? Jusqu'où la prise de risques reste-elle tolérable ? Loin d'apporter des réponses, l'objectif de cet atelier a été de lancer un débat autour de la recherche d'un improbable juste équilibre entre le refus du risque et les contraintes de la formation, de la recherche, de l'industrie, voire tout simplement de la vie.

- « *Bonnes pratiques de laboratoire* », animé par Bernard Montfort et Marie Guitou (DEF-SCF)

En chimie, dans les salles de TP, la sécurité a toujours fait l'objet d'une attention soutenue de la part des enseignants et peu d'accidents graves sont recensés. Néanmoins, l'application de directives européennes, la forte sensibilisation sociétale au risque chimique et la judiciarisation de notre société entraînent inévitablement de nouvelles pratiques pédagogiques (voir encadré 2, p. 15).

Encadré 1**Les JIREC 2009 sur le thème de
« La sécurité au laboratoire de chimie »****• Sept conférences plénières**

« *La prévention des risques dans les laboratoires de chimie français, XIX^e-XX^e siècles* »**, par Laurence Carbonaro-Lestel, ex-présidente du Club Histoire de la chimie de la SCF, chercheuse à l'Université Pierre et Marie Curie (Paris).

« *L'enseignement de la sécurité* », par Serge Walter, professeur à l'École Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse.

« *Autour du principe de précaution* », par Jean-François Bach, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences (Paris).

« *Des laboratoires de chimie de plus en plus sûrs : une priorité pour l'Institut de chimie du CNRS* », par Gilberte Chambaud, directrice de l'Institut de Chimie du CNRS (Paris).

« *Sécurité et innovation : deux priorités absolues !* »*, par Olivier Homolle, président de BASF France et président de la Société Chimique de France.

« *Les risques électrostatiques : charges et décharges électrostatiques* »**, par Jean-Michel Dien, responsable des activités internationales, et Daniel Steiner, laborantin dans le laboratoire d'analyse des poudres, Swiss Institute of Safety & Security (Bâle).

« *Le nouveau système de classification et d'étiquetage des produits chimiques* »*, par Annabel Maison, expert d'assistance conseil à l'INRS (Paris).

• Deux communications orales

« *Habilitation aux risques chimiques* »*, par Patrick Leghié, enseignant-chercheur aux Hautes Études d'Ingénieur de Lille.

« *L'enseignement de la sécurité vu autrement* », par Benoît Pouhaut, enseignant-chercheur à l'IUT A-Université Claude Bernard Lyon 1.

• Deux ateliers

« *Autour du principe de précaution* », animé par Serge Walter, ENSCMu.

« *Bonnes pratiques de laboratoire* », animé par Bernard Montfort et Marie Guitou, enseignant-chercheur à l'Université de Marne-la-Vallée, (DEF-SCF) (voir encadré 2).

Les MIEC 2009 :**« Nouveaux outils informatiques, nouveaux comportements, nouvelles pratiques »****• Deux conférences plénières**

« *Évaluation des connaissances et compétences, transparence des formations : quels apports des outils européens ?* » par Sébastien

Gagneur, enseignant-chercheur à l'École Supérieure de Physique Chimie Électronique de Lyon.

S'inscrivant dans la construction de l'espace européen de l'enseignement supérieur, cette conférence a présenté succinctement l'EChemTest et les labels de l'ECTN¹ (European Chemistry Thematic Network Association) et d'une façon plus détaillée les outils développés par le projet CHEMEMPASS².

« *Identité numérique, quel rôle dans l'enseignement ?* », par Christophe Batier, enseignant-chercheur à l'Université Claude Bernard Lyon 1.

Cette conférence pleine de convictions a présenté le concept d'identité numérique et son rôle dans l'enseignement supérieur : travail collaboratif, notion d'appartenance à un groupe, motivation, insertion professionnelle, etc.

• Deux communications orales

« *L'utilisation du Wiki pour l'enseignement des sciences, un exemple en hygiène, sécurité, qualité, environnement* », par Christophe Batier.

« *Élaborer et explorer des outils de simulation à l'aide d'une carte conceptuelle* »**, par Jérôme Randon, professeur à l'Université Claude Bernard Lyon 1.

• Deux ateliers

« *Apport de l'interface informatique Palette-PC/SPIRAL dans l'enseignement de la chimie thérapeutique* », animé par Thierry Lomberget (Université Claude Bernard Lyon 1).

« *Mise en œuvre de Wiki* », animé par Christophe Batier.

• Par ailleurs, le Centre de Développement Informatique Enseignement Chimie (CIDEC) de Nice-Sophia Antipolis³ a présenté différents **multimédias** destinés à l'enseignement post-bac de la chimie (Jean-Pierre Rabine et Daniel Cabrol).

• Renouant avec la tradition MIEC, trois **expériences de laboratoire** développées lors des travaux pratiques d'instrumentation 2^e année de l'ENSCMu ont également été présentées avec la participation des étudiants :

« *La spectroscopie d'impédance* », par Corinne Trouche, enseignante agrégée à l'ENSCMu.

« *L'infrarouge à transformée de Fourier* », par Cornélius Schonenbeck, enseignant-chercheur à l'ENSCMu.

« *Mesure d'indice de réfraction par interférométrie laser* », par Jean-Charles Mougénel, enseignant-chercheur à l'ENSCMu.

¹ <http://ectn-assoc.cpe.fr>

² <http://eecen-assoc.cpe.fr>

³ www.unice.fr/cidec

* Articles publiés dans ce numéro, ** articles à paraître ultérieurement.

Et côté MIEC

• « *Apport de l'interface informatique Palette-PC/SPIRAL dans l'enseignement de la chimie thérapeutique* », animé par Thierry Lomberget (Université Claude Bernard Lyon 1)

Les outils de simulation informatique présentent généralement l'un de ces deux inconvénients : soit ils fixent des contraintes très fortes sur les conditions initiales pouvant être choisies par l'utilisateur et donc ils limitent fortement les possibilités d'exploitation de l'outil, soit ils laissent une totale liberté de choix sur les paramètres initiaux de la simulation sans tenir compte de la réalité expérimentale. Dans ce dernier cas, la difficulté majeure pour l'utilisateur consiste à pouvoir identifier les phénomènes qui ne sont pas pris en compte par le modèle. Il incombe alors à l'utilisateur de définir par lui-même le domaine de validité du modèle sous-jacent qui n'est que très rarement explicité. Pour lever cette difficulté dans le cadre de l'élaboration de simulateur associé à un enseignement, nous proposons d'utiliser les cartes conceptuelles en amont et en aval de la simulation pour permettre l'explicitation des paramètres pris en compte ou non intégrés dans le modèle.

La carte conceptuelle ainsi que le simulateur, élaborés par les étudiants, sont deux explicitations d'une représentation mentale de l'étudiant par rapport au processus étudié. Ces deux représentations viennent se compléter dans le cadre d'un apprentissage.

• « *Mise en œuvre de Wiki* », animé par Christophe Batier

Cet atelier a permis de mettre en œuvre des wikis *via* la plate-forme SPIRAL, de cerner les étapes à franchir pour réussir le lancement de cette activité, et ensuite de pratiquer rapidement en travaillant par petits groupes pour rédiger des articles autour des journées JIREC/MIEC de Mulhouse.

**Innovation et recherches
dans l'enseignement de la chimie**

En marge du thème principal, divers sujets ayant trait à l'innovation et aux recherches dans l'enseignement de la chimie ont été abordés sous forme de :

Quatre communications orales

• « *Les JIREC : 25 fenêtres sur la recherche et l'innovation dans l'enseignement ou l'éducation en chimie* »*, par Bernard Montfort.

Encadré 2

Bonnes pratiques de laboratoire, responsabilités de l'enseignant et judiciarisation - Préalables administratifs aux travaux pratiques de chimie

Atelier animé par Bernard Montfort et Marie Guitou

Cet atelier s'est déroulé en présence de seize participants impliqués dans des enseignements de TP à l'université ou en école d'ingénieurs ; quatorze établissements différents étaient représentés. Les thèmes abordés ont été :

La formation HSE des enseignants

L'évolution rapide de la réglementation rend nécessaire l'actualisation de la formation des enseignants assurant des travaux pratiques. En début d'année universitaire, le recrutement des personnels devrait s'accompagner d'une action spécifique dans ce sens, tout particulièrement dans le cas de jeunes maîtres de conférences, de moniteurs, d'ATER ou de personnels vacataires. Un questionnaire rapide des participants montre que seulement trois établissements dispensent une formation HSE générale, qui varie de 3 h à 2 jours mais n'est pas obligatoire. Pour les autres, aucune formation correspondant à l'encadrement spécifique des TP n'est effectuée, ce qui crée par conséquent une carence systématique dans la formation des futurs enseignants. Cette carence est suffisamment préoccupante pour que cette question soit approfondie, par la division Enseignement-Formation de la SCF par exemple.

Les lunettes de sécurité

Indispensable pour les TP de chimie [1], le port des lunettes de protection semble généralisé dans toutes les formations. La question de leur fourniture a été posée au cours de cet atelier. Leur attribution, permanente ou temporaire, est effectuée en fonction des cursus. Dans le cas des établissements d'état, elles sont habituellement prêtées par l'établissement.

Le nombre d'étudiants par enseignant en TP

Ce nombre est déterminant car il conditionne le « degré d'attention » que l'enseignant porte à chaque étudiant, tant sur le plan de l'encadrement HSE que sur celui de la pédagogie. Dans certaines formations, le taux d'encadrement est défini administrativement alors que dans d'autres, il est laissé à l'appréciation des responsables de filière. Une règle analogue à celle en vigueur dans les IUT, « 13 étudiants maximum par groupe » [2], devrait être définie pour toutes les formations, en accord avec la capacité d'accueil des locaux et les activités proposées.

Les problèmes de responsabilité et d'assurance des enseignants pour leur activité en TP

Le nombre d'accidents survenus en salle de TP de chimie est très faible. Néanmoins, avec la judiciarisation actuelle de notre société, des collègues ont été impliqués dans des procédures judiciaires pour leurs activités professionnelles (encadrement de TP ou

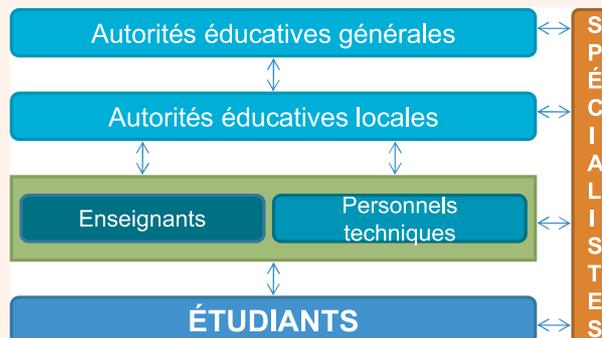


Figure 1 - Les bonnes pratiques de laboratoire : une démarche collective (d'après [3]).

responsabilité de filière). La *figure 1*, extraite d'un article de B. Montfort et B. Jeanjean [3], met bien en évidence la sécurité comme une démarche collective, pas exclusivement limitée à l'enseignant encadrant les TP et aux étudiants. Cette démarche implique différents niveaux de compétences qui permettent de préciser la responsabilité de chacun. La durée de l'atelier n'a pas permis de développer suffisamment cette question, mais différents axes de réflexion ont été rapidement abordés : les interactions dans la hiérarchie administrative – réalités et traçabilité ; les préalables HSE à tout enseignement de chimie (livret d'accueil spécifique, cours, TD) ; les questions relatives à la responsabilité et à l'assurance individuelle des enseignants ; et la présence des étudiants mineurs dans les formations bac + 1 [1]. Ces derniers sujets pourraient faire l'objet de journées spécifiques ou d'ateliers complémentaires dans le cadre de futures JIREC.

- [1] *Laboratoires d'enseignement en chimie - Enseigner la prévention des risques professionnels*, INRS, 2003, p. 12 et 36, [www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/intranetobject-accesparreference/ED1506/\\$file/ed1506.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/intranetobject-accesparreference/ED1506/$file/ed1506.pdf).
- [2] Programme pédagogique national du DUT « Chimie », Présentation de la formation, Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, sept. 2005.
- [3] Montfort B., Jeanjean B., Sécurité et laboratoires d'enseignement, *L'Act. Chim.*, 1993, 5, p. 11.

Bernard Montfort* et **Marie Guitou**** sont membres du bureau de la division Enseignement-Formation de la SCF (DEF).

* SCF-DEF, GRIMEP, Département Chimie, 30 avenue de l'Observatoire, BP 1559, F-25009 Besançon Cedex.
Courriel : montfort.cmt@orange.fr

** MSME UMR 8208 CNRS, Université Paris-Est Marne-la-Vallée, F-77454 Marne-la-Vallée Cedex 2.
Courriel : marieg@univ-mlv.fr



Les animateurs et les participants de l'atelier. © SCF-DEF/Bernard Montfort.

- *Essais de l'amélioration de l'efficacité de la communication pédagogique en cours magistral de chimie**, par Mireille Houart, chercheuse aux Facultés universitaires Notre-Dame de la Paix (Namur, Belgique).
- « *Projet de cristallographie : identification d'une substance à partir de son diffractogramme X simulé*»**, par David Marseault, enseignant-chercheur aux Hautes Études d'Ingénieur de Lille.
- « *Projet de chimie organique à CPE Lyon en année 3* »*, par Christel Gozzi et Claire Marchal, enseignants-chercheurs à l'École Supérieure de Physique Chimie Électronique de Lyon.

Cinq ateliers

- « *Des cycles préparatoires aux grandes écoles au sein des universités* », animé par Alain Brillard (président de l'Université de Haute-Alsace, chargé de mission par le Ministère sur ce sujet)

Le rapport Philip, remis en novembre 2008, a porté sur la question des partenariats entre universités et écoles. Une de ses principales propositions consiste en l'évolution des classes préparatoires et des premiers cycles universitaires, en particulier par la création de « classes préparatoires » dans les universités. Par ailleurs, au cours de son intervention au congrès des membres de l'Association des proviseurs de lycées à classes préparatoires aux grandes écoles du 17 janvier 2009, le ministre de l'Enseignement supérieur et de la recherche a lancé la proposition de créer des « classes préparatoires » dans les universités.

Du débat, il ressort que les parcours actuellement proposés sont principalement des cycles :

- adossés à un parcours de licence ;
- accueillant des élèves titulaires d'un baccalauréat scientifique et sélectionnés à l'entrée (L1) sur dossier ;
- permettant à ces étudiants de poursuivre dans des écoles d'ingénieurs internes aux universités ou fonctionnant en réseau (exemple Polytech), ou leur facilitant l'accès à des concours d'entrée dans des écoles d'ingénieurs, type concours communs polytechnique.

Et les premiers principes qui se dégagent sont : une forte intégration dans le cycle licence, des effectifs maîtrisés et diversifiés, des modalités de fonctionnement spécifiques, des méthodes pédagogiques innovantes, et des débouchés variés.

- « *Synergies induites par les regroupements d'écoles d'ingénieurs* », animé par Serge Neunlist (directeur de l'ENSCMu et président d'Alsace Tech)

À côté des regroupements d'écoles d'ingénieurs basés sur des similitudes disciplinaires (Fédération Gay-Lussac (FGL), INSA...), on assiste actuellement à des regroupements d'écoles d'ingénieurs fondés uniquement sur une proximité géographique (ParisTech, Alsace Tech...). L'objectif de cet atelier, principalement à l'attention des représentants de la FGL, a été de faire le point sur les synergies qui peuvent en découler en matière de formation des élèves ingénieurs.

Dans un premier temps, le domaine des « sciences humaines, économiques et sociales » devrait aisément pouvoir être mutualisé entre les établissements. La pédagogie par projets pourrait également être enrichie de compétences largement pluridisciplinaires.

- « *L'enseignement de la chimie aux non-chimistes (l'enseignement de la chimie au lycée)* », animé par Michel Vigneron (inspecteur d'académie-inspecteur régional dans l'Académie de Versailles)

La chimie passe pour une discipline plutôt rébarbative pour la plupart des élèves qui ne se destinent pas à un métier

dans cette branche. Un minimum de connaissances et de compétences en la matière est pourtant indispensable pour s'adapter à la complexité des réalités et des débats de notre monde actuel. Quel programme, quelle pédagogie pour atteindre cet objectif ?

- « *L'acquisition de l'autonomie en TP* », animé par Corinne Trouche

Passer du statut d'étudiant à celui d'ingénieur chimiste consiste certes à acquérir une multitude de connaissances théoriques, mais aussi à apprendre à être autonome, en particulier lors de manipulations... Que signifie l'autonomie en TP ? Comment l'évaluer ? Comment préparer les étudiants bac + 2 à être autonomes ? Quelles sont les limites de l'autonomie en TP ?...

- « *Forces-faiblesses de la pédagogie par projets* », animé par Stéphanie Freitag

En complément des méthodes d'apprentissage traditionnelles, la pédagogie par projets se développe de plus en plus dans de nombreuses filières de l'enseignement supérieur (voir encadré 3).

Les communications par affiches

Au cours de ces journées, la pédagogie par projets a fait l'objet d'une attention toute particulière illustrée par des affiches représentant des réalisations d'élèves ingénieurs et/ou étudiants.

En effet, les conférences et communications orales sur la « sécurité au laboratoire » ont été complétées par les affiches suivantes : « Une approche scientifique de l'éducation au risque chimique » (Anne-Christine Macherey, CNRS Gif-sur-Yvette) et « La toxicité des pigments jaunes » (Florence Boulc'h et Virginie Hornebecq, Université de Provence). D'autres affiches ont montré des projets réalisés en TP : « Les éponges minérales en TP » (Angélique Simon-Masseron, Gérald Chaplais et Jean Daou, Université de Haute-Alsace), et « L'extraction liquide-liquide en TP » (Alain Durand, Éric Favre, Guillain Mauvel et Sabine Rode, ENSIC de Nancy).

Prix de la DEF-SCF-CNRS et des Olympiades

Le temps fort de ces journées a été la remise du **prix DEF-SCF-CNRS** décerné à **Micheline Izbecki**, enseignante au lycée Robert Schuman du Havre en STS chimie, pour son engagement à promouvoir l'enseignement de la sécurité en chimie dans l'enseignement secondaire.

Auteur ou co-auteur de plus de 25 articles concernant l'enseignement, rédactrice du numéro spécial « La sécurité au laboratoire de chimie » du *Bup* (déc. 2000), co-organisatrice de plusieurs manifestations sur le thème HSE, elle a participé comme représentante de l'Union des professeurs de physique et de chimie (UdPPC) au comité de rédaction du document « *Laboratoires d'enseignement en chimie - Enseigner la prévention des risques professionnels* » édité par l'INRS en 2003⁽²⁾. Son activité en matière d'enseignement ne se limite pas seulement au domaine HSE ; depuis 1984, elle s'implique régulièrement dans l'organisation régionale et nationale des Olympiades de chimie. En octobre 2008, elle a été responsable de l'organisation des 56^e Journées nationales de l'UdPPC, à l'INSA de Rouen. Depuis juin 2009, elle a accepté la présidence de l'UdPPC.

Un **prix spécial du 25^e anniversaire des JIREC** a par ailleurs été attribué à **Gérard Killé**, à l'origine du premier



Remise du prix DEF-SCF-CNRS à Micheline Izbicki par Patrick Chaquin, président de la DEF-SCF, et du prix spécial du 25^e anniversaire à Gérard Killé et Serge Walter par Gilberte Chambaud, directrice de l'INC-CNRS, et Patrick Chaquin. © SCF-DEF/B. Montfort.

cours sur la sécurité, et à **Serge Walter**, pour en avoir largement assuré la promotion au niveau de l'enseignement supérieur.

Ces journées ont également accueilli la cérémonie de remise des **prix du concours régional des Olympiades nationales de la chimie**, centre du Haut-Rhin, qui célébrait également leur 25^e anniversaire. Accompagnés de leurs professeurs, les 35 élèves participants des différents lycées mulhousiens et colmariens se sont vus remettre leurs prix en présence de représentants des nombreux partenaires des Olympiades : Olivier Homolle, président de la SCF, Robert Bluntz et Patrice Lettermann, respectivement président et secrétaire général de l'Union des Industries Chimiques (UIC) Alsace, Serge Neunlist, directeur de l'ENSCMu au nom de la FGL, ainsi que de nombreux élus de la ville de Mulhouse et de la région. Cette cérémonie exceptionnelle pour une région a permis de remercier toutes les équipes d'enseignants qui s'investissent pour la promotion de la chimie, ainsi que les nombreuses entreprises qui chaque année acceptent de recevoir des élèves.



Les lauréats du concours régional des Olympiades de la chimie 2009, centre du Haut-Rhin.

Le 25^e anniversaire des JIREC a été marqué par la venue de conférenciers prestigieux et la présence d'étudiants provenant de diverses universités et écoles pour échanger sur la diversité des approches de la pédagogie par projets qui se développe dans la plupart des filières de l'enseignement supérieur.

Ainsi, ces journées auront rassemblé près de 200 participants – enseignants-chercheurs, enseignants et étudiants –, tous animés d'une même volonté : développer l'enseignement en chimie.

Remerciements

Les organisateurs remercient les nombreux partenaires pour leur contribution au bon déroulement de ces journées ainsi que pour leur soutien financier : la Société Chimique de France, la Région Alsace, la ville de Mulhouse, l'Université de Haute-Alsace et l'École Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse, la Faculté des Sciences et Techniques Alsace Tech, la Fédération Gay-Lussac, le CLOUS Mulhouse,

Alsace Biovalley, le Pôle Chimie Alsace, l'UIC Alsace, le Crédit Mutuel, le CNRS, le Ministère supérieur de la Recherche, etc.

Le comité d'organisation a apprécié que les sociétés, Carlo Erba, Chromacim, Dunod, Heito, l'INRS, Shimadzu, mais aussi l'OTECl, le CDIEC et Educ'Art soient venus animer un stand.

Nous n'oublierons pas les conférenciers et intervenants pour leurs apports constructifs à ces journées, les animateurs des différents ateliers, ainsi que le comité scientifique garant de la qualité et de la richesse de nos travaux. Nous tenons à remercier Bernard Montfort (DEF-SCF) pour sa précieuse collaboration à la relecture de ce dossier et enfin, nous adressons nos

Encadré 3

Forces et faiblesses de la pédagogie par projets

Atelier animé par Stéphanie Freitag

Cet atelier s'est déroulé en présence d'étudiants et d'enseignants impliqués dans des enseignements de TP issus de différents établissements (universités ou écoles d'ingénieurs). Les étudiants et leurs professeurs sont venus donner leurs impressions sur la pédagogie par projets telle qu'ils la pratiquent. Les thèmes abordés ont été :

La pédagogie classique et les nouvelles approches existantes

La pédagogie « classique », servie ou non par des moyens multimédias, est basée sur l'acquisition/accumulation de connaissances. Si elle semble essentielle, elle ne suffit plus à l'éducation et à l'enseignement tel qu'il est conçu de nos jours. Ainsi depuis quelques années se sont développées des approches qui reposent sur la conduite de projets personnels : TPE (travaux personnels encadrés) au lycée, TIPE (travaux d'initiative personnelle encadrés) en classes préparatoires. L'enseignement supérieur généralise également cette approche tant dans les cursus de licence que dans les écoles d'ingénieurs (tutorat...).

La pédagogie par projets : situation actuelle

Les projets peuvent durer de 4 h à plusieurs mois, mais selon l'avis unanime de l'ensemble du corps enseignant présent à cet atelier, ils ne doivent en aucun cas remplacer les cours magistraux. Cependant, il convient de souligner que cette approche de pédagogie par projets constitue la méthode la plus « professionnalisante » d'aborder un cours.

Il existe plusieurs types de projets dont les principaux reposent sur des suppléments de cours, sur des approfondissements d'un cours (exposés combinés à des expériences portant sur l'aspect spécifique d'un cours dont les étudiants ont eu les bases), ou sur l'ensemble du cursus.

Le choix du sujet peut être semi-imposé (« monter votre entreprise mais vous êtes libre de choisir quelle entreprise ») ou libre, ce dernier cas posant problème aux étudiants. Chaque établissement a son mode de fonctionnement propre et choisit son/ses type(s) de sujets.

Cette pédagogie permet de développer des capacités d'initiative personnelle, d'ouverture d'esprit, de synthèse, d'autonomie... Un grand nombre d'étudiants apprécient l'autonomie nécessaire à la réalisation des projets mais cet avis n'est pas partagé de tous. En effet, cette démarche convient à certains étudiants qui apprécient les échanges ponctuels avec le tuteur lorsqu'ils en éprouvent le besoin et l'utilité. En revanche, elle peut pénaliser les étudiants particulièrement timides qui n'osent pas venir voir le tuteur ou ceux qui n'en ont pas envie. Il en résulte parfois des projets non aboutis à une semaine de la date limite. Un moyen de palier ces écarts est d'établir un planning de rencontres afin de pouvoir rendre régulièrement compte de l'avancée du projet avec des échéances clairement définies.

Les autres avantages de ce type d'enseignement sont nombreux : connaissances transversales, décloisonnement des matières, appropriation d'un thème, esprit de synthèse, expériences, compétences, travail en groupe...

En raison de certaines dérives (choix du sujet de projet, manière de le conduire, nonchalance...), ce type d'apprentissage peut perdre de son efficacité mais reste très actif et très formateur, à condition qu'il soit correctement encadré.

Des questions émergentes en relation avec la pédagogie par projets

• *Faut-il également envisager une préparation à l'autonomie ? Comment ?*

Il semblerait que les TP se prêtent bien à cet apprentissage (manipulation imposée mais partiellement car les étudiants peuvent la mener librement – bibliographie, montage, réalisation...). Cette démarche qui peut être pratiquée en TP constitue aussi une alternative de pédagogie par projets.

• *Comment gérer un groupe ?*

Quels sont les moyens à mettre en œuvre lorsque les motivations sont différentes au sein d'un même groupe ? Comment faire face aux déficiences engendrées, comment se répartir les tâches ?... Les étudiants apprennent ainsi à communiquer, à gérer les « crises »...

Faut-il également imposer un groupe ou non ? Nommer un responsable de projet ? Proposer une initiation à la communication (un des créneaux de Projets personnels, aux actions de tutorat et à l'autoformation, PPTA, de début d'année) ?...

La question majeure qui ressort sur la pédagogie par projets concerne l'évaluation. En effet, certains attribuent une note avec trois « tuteurs » ayant suivi le projet (un manager, un client, un enseignant), d'autres valident sans plus s'attarder ; comment valoriser, comment sanctionner ?...

Conclusion

La pédagogie par projets est nécessaire en complément des cours magistraux. Elle est de plus une pédagogie active où l'étudiant apprend à apprendre et s'implique dans l'enseignement de son futur métier. Cette approche formatrice très prometteuse ne demande qu'à continuer à se développer et à s'améliorer par une interaction réciproque étudiants/enseignants.

Stéphanie Freitag est maître de conférences à l'École Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse (ENSCMu).

* ENSCMu, 3 rue Alfred Werner, F-68093 Mulhouse Cedex.
Courriel : stephanie.freitag@uha.fr

Les prochaines JIREC

Les 26^e JIREC, organisées par l'École Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier sous la responsabilité de Sylvie Condom, auront lieu à la Grande Motte du 1^{er} au 4 juin 2010, sur le thème « **Chimie du nucléaire – énergie et développement durable** », avec l'implication du CEA et de l'Institut de Chimie séparative de Marcoule. Le prix 2010 de la division sera remis à cette occasion à François Brut (voir p. 63).

Des communications orales ou par affiches peuvent être proposées sur tous les thèmes concernant l'enseignement ou la didactique de la chimie. La publication d'un dossier dans nos colonnes suite à ces journées est prévue aux alentours de mai 2011.

Les MIEC-JIREC suivantes se tiendront du 24 au 27 mai 2011 à Orsay, sur le thème : « **La chimie et le vivant** ».

• <http://event.enscm.fr/jirec2010>

D'autre part, un **dossier récapitulatif** des principales informations de ces journées depuis leur création (1984-2009) a été réalisé sous la forme d'un document numérique intitulé « **Les JIREC : thématiques, bibliographie, organisation** » (référence DN-DEF 2010-01) disponible sur le site de la SCF

• www.societechimiquedefrance.fr/IMG/pdf/JIREC-Compil-2.pdf

remerciements au comité d'organisation local, ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué à l'excellent déroulement de ces journées.

* Articles publiés dans ce numéro, **articles à paraître ultérieurement.

(1) www.enscmu.uha.fr/jirec

(2) Document pdf téléchargeable librement sur [www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/intranetobject-accesparreference/ED1506/\\$file/ed1506.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/intranetobject-accesparreference/ED1506/$file/ed1506.pdf)



J.-C. Mougénel

Jean-Charles Mougénel, président du Comité d'Organisation des MIEC-JIREC 2009, est maître de conférences à l'École Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse (ENSCMu)*.

Katia Fajerberg est maître de conférences au Laboratoire de Chimie de Coordination de l'Université Paul Sabatier de Toulouse**. Elle assure la coordination des dossiers MIEC-JIREC publiés dans *L'Actualité Chimique* depuis les JIREC de 2007, et elle est également chargée de la rubrique Enseignement-Formation.



K. Fajerberg

* École Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse, 3 rue Alfred Werner, F-68093 Mulhouse Cedex.

Courriel : jean-charles.mougénel@uha.fr

** Laboratoire de Chimie de Coordination, 205 route de Narbonne, F-31077 Toulouse Cedex 04.
Courriel : katia.fajerberg@cc-toulouse.fr

Les JIREC : 25 fenêtres sur la recherche et l'innovation dans l'enseignement ou l'éducation en chimie

Bernard Montfort et Michel Rebetez

- Résumé** Depuis 1984, les Journées de l'innovation et de la recherche dans l'éducation ou l'enseignement en chimie (JIREC) sont organisées régulièrement par différentes équipes pédagogiques, avec le soutien de la division Enseignement-Formation de la Société Chimique de France. Les aspects les plus significatifs des 25 journées passées sont brièvement rapportés dans cet article, tout particulièrement leurs objectifs, les spécificités de l'organisation, l'état d'esprit et les principaux thèmes abordés.
- Mots-clés** **Rétrospective, enseignement supérieur, éducation, chimie, conférence, MIEC-JIREC 2009.**
- Abstract** **JIREC: 25 windows upon research and innovation in chemical education**
Since 1984, the Days of Innovation and Research in the Education or Teaching in Chemistry (JIREC) are organized regularly by different educational teams, with the support of the Teaching Division of the Chemical Society of France. The most meaningful aspects of these 25 meetings are briefly mentioned in this paper, especially their objectives, specifications of their organization, the frame of mind and the main themes launched during these meetings.
- Keywords** **Retrospective, higher education, teaching, chemistry, meeting, MIEC-JIREC 2009.**

L'organisation à Mulhouse des 25^e Journées de l'innovation et de la recherche dans l'éducation ou l'enseignement en chimie (JIREC) nous a conduits à effectuer un retour sur le déroulement de ces rencontres depuis leur création. Les informations recueillies à partir d'articles, de documents diffusés au cours de ces journées ou d'actes sont disponibles en ligne sur le site de la Société Chimique de France (SCF) [1] et seront publiées par ailleurs [2].

Les JIREC trouvent leur source dans le mouvement de renouveau de l'enseignement qui s'est exprimé après 1970 dans les universités. Une réflexion sur les démarches pédagogiques et une volonté de changement se sont manifestées non seulement à la suite des événements de mai 1968 mais aussi avec le recrutement de nombreux universitaires pour faire face à l'explosion du nombre des étudiants. En chimie, des réunions nationales organisées par différents groupes d'enseignants (ReCoDic, division Enseignement de la SCF) ont permis de faire progresser les méthodes d'enseignement.

La 7^e Conférence Internationale sur l'Éducation en Chimie (ICCE) [3] a été la manifestation la plus importante. Organisée à Montpellier en 1983 sous l'égide du Comité National Français de Chimie, de l'IUPAC et de l'UNESCO, elle a réuni plus de 600 participants. Dans leur compte rendu, Paul Arnaud et Roger Viovy constatent que : « *Lorsque l'on se rend compte de l'ampleur du mouvement international sur les problèmes d'éducation, nous sommes très inquiets du faible nombre de chimistes qui participent en France à ce mouvement. La division [Enseignement de la SCF] a fait des propositions et en prépare d'autres* » [4].

Dès l'année suivante, les premières JIREC se tiennent à Biviers près de Grenoble. Elles seront suivies par 24 autres journées, avec divers enrichissements comme par exemple :
- en 1992 à Montpellier, une organisation simultanée avec la première ECRICE (European Conference on Research in

Chemical Education) [5], sous l'impulsion de Danièle Cros, Roland Lissilour, Maurice Chastrette et Robert Luft ;

- depuis 2001, l'organisation en symbiose tous les deux ans des JIREC et des MIEC (Multimédia et informatique dans l'enseignement de la chimie).

Les aspects les plus significatifs de ces vingt-cinq journées sont brièvement rapportés dans cet article, à savoir : leurs objectifs, les spécificités de l'organisation, l'état d'esprit, les principaux thèmes abordés et les documents publiés à l'issue des rencontres.

Objectifs des JIREC

Les principaux objectifs visés sont très diversifiés et regroupent tous les domaines concernés par l'enseignement et l'éducation en chimie, tels que :

- permettre la rencontre d'enseignants de diverses origines, favoriser l'échange de leurs expériences et être le point de départ de collaborations ;
- faire connaître l'état d'avancement des recherches et des innovations sur l'enseignement ;
- développer de nouvelles approches pédagogiques et diffuser les nouveaux outils mis à la disposition des enseignants (informatique, multimédia...) ;
- permettre le transfert de connaissances issues de la recherche ou du monde industriel vers l'enseignement ;
- souligner les difficultés particulières de la formation en chimie et trouver des réponses aux problèmes spécifiques rencontrés par les enseignants ;
- présenter des démonstrations expérimentales, des expériences de cours et des manipulations destinées aux travaux pratiques ;
- informer les universitaires des évolutions de l'enseignement secondaire ;

- faire connaître les pratiques visant à une meilleure insertion professionnelle des étudiants ;
- aborder les problèmes de société liés à l'éducation et à la formation en chimie.

Ces objectifs rejoignent les préoccupations de la plupart des enseignants-chercheurs universitaires et contribuent à leur permettre de réaliser pleinement leur mission. Ils répondent autant aux questions d'orientation générale de leurs enseignements qu'aux problèmes rencontrés dans l'exercice quotidien de leur métier.

Le cadre général d'organisation

Organisée par de petites équipes pédagogiques avec le soutien institutionnel de la division Enseignement-Formation de la SCF, chaque manifestation est unique. Elle apporte un éclairage spécifique à l'enseignement de la chimie et regroupe en moyenne de 120 à 160 participants. Chaque équipe responsable de l'organisation personnalise totalement ses journées tant par le choix du thème, du site, que par la succession des activités proposées.

Les JIREC sont structurées comme toute manifestation scientifique avec des conférences plénières, des communications orales ou affichées, des ateliers de formation. Néanmoins, certains traits originaux en caractérisent l'organisation :

- **La présence d'ateliers d'échanges pédagogiques sur une thématique spécifique.** Selon les organisateurs des 19^e JIREC [6], ce sont « *de véritables échanges pédagogiques par petits groupes, si possible de 15 à 20 personnes, sur les questions qui peuvent se poser dans l'enseignement sur un thème donné ou sur des problèmes particuliers.* » La méthode proposée pour animer avec succès ce type d'atelier est rappelée par Roger Barlet [7]. Les animateurs doivent préalablement avoir bien préparé cette activité en maîtrisant parfaitement la thématique proposée. Ils doivent s'assurer de la participation active de chacun en évitant les longs monologues *ex cathedra* et en recentrant les débats sur les questions essentielles. Ces ateliers sont réalisés en plusieurs sessions d'au moins 1 h 30 chacune, avec parfois des délocalisations. La *figure 1* illustre un déplacement en école maternelle au cours des JIREC 1998 organisées à Besançon. En plus du compte rendu final, des recommandations ou des



Figure 1 - Les ateliers se déroulent habituellement en salle sous la forme de discussions, de présentations informatiques ou de démonstrations pratiques. Parfois des délocalisations sont nécessaires. Au cours des JIREC 1998, pour une de ses séquences, l'atelier intitulé « *La chimie comme outil dans la formation de l'homme du XXI^e siècle en matière de sécurité et de protection de l'environnement* » a été déplacé à l'école maternelle Pauline Kergomard de Besançon. Les participants ont pu vivre une expérience inoubliable de sensibilisation précoce des élèves de 3^e année de maternelle aux bonnes pratiques de fabrication d'un gel douche, animée par l'association Graine de Chimiste. © JIREC 1998/GRIMEP.

documents post-ateliers peuvent être édités [8]. Pour les organisateurs des journées, ces ateliers sont difficiles à mettre en place surtout s'ils sont liés à la présentation d'expériences.

- **L'état d'esprit : convivialité et animation.** Les participants aux JIREC acceptent de suspendre leurs activités au sein de leurs établissements respectifs pour se former, faire le point sur de nouvelles approches de leur discipline, aborder les difficultés des étudiants vis-à-vis de l'enseignement de la chimie, présenter des innovations... Pour favoriser au maximum les discussions, et éviter le cloisonnement ressenti dans certains colloques, l'emploi du temps est organisé totalement « *de 8 h à 23 h pour chaque journée* ». La *figure 2* illustre bien la variété des activités proposées. Dès l'origine, le choix du séminaire résidentiel s'est vite imposé. Dans un cadre relativement isolé, les discussions sont inévitables et toujours très enrichissantes.



Figure 2 - Les JIREC sont caractérisées par « un certain état d'esprit » où les hiérarchies administratives s'estompent rapidement devant le métier d'enseignant. Chaque soirée, des activités collectives sont proposées pour favoriser les discussions et contribuer à éviter le cloisonnement ou l'isolement ressenti dans certains colloques scientifiques.

À gauche : 23 h, attente du guide pour la dernière séquence de la visite nocturne et insolite de La Rochelle (© JIREC 2007/Bernard Montfort) ; à droite : jeux flamands à Ambleteuse (© JIREC 2008/Sylvie Boussekey-Lamalle).

Les JIREC : 25 fenêtres sur la recherche et l'innovation dans l'enseignement ou l'éducation en chimie.

JIREC/MIEC	Lieu	Thématique	Organisation
1 ^{ère} JIREC 1984	Biviers		Paul Arnaud (Univ. Grenoble 1)
2 ^e JIREC 1985	Biviers	La liaison chimique	Paul Arnaud (Univ. Grenoble 1)
3 ^e JIREC 1986	Le Croisic	Problèmes pédagogiques liés aux aspects théoriques et appliqués de l'électrochimie	Roland Lissillour (Univ. Rennes 1)
4 ^e JIREC 1987	Mulhouse	L'enseignement de la thermodynamique chimique	Édouard Pénigault (Univ. Haute-Alsace, Mulhouse)
5 ^e JIREC 1988	Bielle	Chimie inorganique	Alain Dumon (Univ. Pau)
6 ^e JIREC 1989	Montpellier	L'enseignement expérimental	Danièle Cros (Univ. des Sciences et Techniques du Languedoc)
7 ^e JIREC 1990	Écully	La cinétique chimique et la catalyse	Edouard Garbowski et Maurice Chastrette (Univ. Lyon 1)
8 ^e JIREC 1991	La Baume-lès-Aix	Chimie organique	Danielle Bouin (Univ. Provence, Marseille)
9 ^e JIREC 1992	Montpellier	1st ECRICE	Danièle Cros (Univ. des Sciences et Techniques du Languedoc)
10 ^e JIREC 1993	Biviers	La chimie, science expérimentale	Roger Barlet (Univ. Joseph Fourier, Grenoble)
11 ^e JIREC 1994	Mondonville	Les équilibres chimiques	René Meyer (Univ. Paul Sabatier, Toulouse)
12 ^e JIREC 1995	Strasbourg	La chimie à tous les étages	Michèle Kirch (Univ. Louis Pasteur, Strasbourg)
13 ^e JIREC 1996	Dourdan	Éducation-Industrie : un savoir pour des réalités	Christiane Pernot et Josette Carretto (Univ. Paris-Sud, Orsay) Janine Thibault et Dominique Davous (Univ. Pierre et Marie Curie, Paris)
14 ^e JIREC 1997	Louvain-la-Neuve	La chimie à la croisée des disciplines	Anne-Marie Huynen et Marianne van de Wiel (UCL, Louvain, Belgique)
15 ^e JIREC 1998	Besançon	Sécurité et protection de l'environnement dans l'enseignement de la chimie	Bernard Montfort et Michel Rebetez (IUT, Univ. Franche-Comté, Besançon)
16 ^e JIREC 1999	Saint-Nazaire	La chimie des matériaux	Pascal Gressier et Philippe Léone (Institut des Matériaux, Nantes)
17 ^e JIREC 2000	Marne-la-Vallée	Modélisation et images en chimie	Gilberte Chambaud (Univ. Marne-la-Vallée)
18 ^e JIREC 2001 10 ^e MIEC	Nice	Les spectroscopies	Daniel Cabrol-Bass et Jean-Pierre Rabine (Univ. Nice-Sophia Antipolis)
19 ^e JIREC 2002	La Baume-lès-Aix	L'électrochimie	Françoise Rouquérol (lab. Madirel, Univ. Provence, Marseille)
20 ^e JIREC 2003	Murol	Que doit-on enseigner en chimie inorganique ?	Claude Forano (LMI, Univ. Blaise Pascal, Clermont-Ferrand 2)
21 ^e JIREC 2005 11 ^e MIEC	Autrans	La mesure en chimie	Jérôme Randon (Univ. Claude Bernard, Lyon 1)
22 ^e JIREC 2006	Strasbourg	Polymères organiques, du monomère à l'objet	Yves Holl (Univ. Louis Pasteur, Strasbourg)
23 ^e JIREC 2007 12 ^e MIEC	La Rochelle	Chimie et développement durable	Christian Eskenazi (Univ. La Rochelle)
24 ^e JIREC 2008	Ambleteuse	Valorisation et cycle de vie de la matière minérale La sécurité au laboratoire de chimie ; Nouveaux outils informatiques, nouveaux comportements, nouvelles pratiques...	Claudine Follet-Houttemane et Yann Marquant (Univ. Valenciennes et Hainaut Cambrésis)
25 ^e JIREC 2009 13 ^e MIEC	Mulhouse		Jean-Charles Mougénel (ENSCMu et UHA, Mulhouse)

- **La présence d'activités expérimentales.** La présentation d'expériences est incontournable dans le cadre des activités d'enseignement. Leur réalisation hors de leur cadre habituel est toujours délicate et demande une grande maîtrise pour les démonstrateurs. Par exemple aux journées de Mulhouse, J.-M. Dien et D. Steiner ont captivé notre attention de 21 à 23 h avec de nombreuses expériences rarement présentées en France sur « Les risques et les explosions liés à

l'électrostatique » [9]. La nécessité expérimentale entraîne parfois l'obligation d'accéder à des salles de TP, avec des besoins en produits chimiques, en matériel et la présence de personnels techniques. C'est une contrainte très forte à prendre en compte lors du choix des lieux de congrès.

- **L'optimisation des frais de participation.** Le problème de la prise en charge financière des frais permettant aux enseignants d'assister à des « journées sur l'enseignement »

est toujours très délicat dans l'enseignement secondaire comme dans les universités. La participation à ces journées, pourtant véritable formation professionnelle pour les enseignants, est rarement prise en charge par les services administratifs. Pour les organisateurs, la gestion budgétaire se traduit inévitablement par une difficile recherche de financements et une optimisation des frais d'organisation et d'inscription.

Les principales thématiques abordées

Dès les 2^e rencontres en 1985, un thème central de réflexion a été proposé. Initialement prévu pour une seule journée, il a vite débordé et pris de l'importance. Néanmoins, pour chaque manifestation, tous les domaines pédagogiques en rapport avec la formation en chimie ont toujours pu être abordés sous la forme de communications courtes ou par la proposition d'ateliers. Les principaux domaines rencontrés sont :

- l'enseignement expérimental de la chimie et les travaux pratiques ;
- le risque chimique et l'enseignement : hygiène, sécurité, environnement, qualité ;
- les problèmes de société et la formation en chimie ;
- l'enseignement de la chimie inorganique.

L'ensemble des différents thèmes rencontrés au cours de toutes ces journées est présenté dans le *tableau* p. 21.

Les documents édités

Comme dans toute manifestation scientifique, un fascicule regroupant les résumés des conférences, communications et thèmes d'ateliers est distribué en début de manifestation. De 1988 à 1996, la plupart des organisateurs ont également édité des actes reprenant les différentes présentations. Devant la difficulté croissante de cette tâche et les moyens actuels de publication, l'enregistrement des présentations est parfois directement mis en ligne. Des articles se rapportant aux conférences ou communications ont été publiés dans les périodiques liés à l'enseignement comme *Le Bup*, *Didaskalia* ou *ASTER*, *Mesure et évolution en éducation*. D'autre part, *L'Actualité Chimique* met régulièrement ses pages à la disposition des auteurs dans la rubrique « Enseignement » et plus de 300 pages ont été écrites depuis 1984.

Les références bibliographiques de la plupart des documents publiés depuis l'origine des JIREC sont répertoriées sur le site de la division Enseignement-Formation de la SCF [1].

Conclusion

Pour les enseignants, les JIREC sont un véritable espace d'information, d'expression et de réflexion. Cet espace d'ouverture et de lumière est bien symbolisé par le « phare du bout du monde » (*figure 3*), dont la maquette sert d'emblème aux journées depuis 2007.

D'autres approches relatives aux JIREC mériteraient d'être étudiées : leur rôle dans la diffusion des nouvelles démarches pédagogiques ; leur situation à la croisée de la chimie, de la didactique des sciences et des sciences de l'éducation ; leur impact dans les recherches sur l'enseignement de la chimie...

Nous terminerons cette rapide présentation en citant Jean-Charles Mougénel [10] : « *Ce séminaire d'une durée de trois jours constitue un lieu de rencontre privilégié entre*



Figure 3 - Les vestiges du phare au bout du monde (1884-1902) ont été découverts en 1994 par André Bronner sur l'île des États au large du cap Horn. Sous son initiative, avec le soutien de l'Association du Phare au bout du monde, le phare a été reconstruit à l'identique par le gouvernement argentin en 1998 et fonctionne de nouveau. André Bronner en a fait construire une réplique à la pointe des Minimes à La Rochelle. Après accord de ses concepteurs, la maquette de la réplique rochelaise, réalisée par Jacques Collin pour les journées de 2007 (La Rochelle), sert d'emblème aux colloques JIREC et MIEC. © SCF-DEF/JIREC 2007/Bernard Montfort.

enseignants des universités, des classes préparatoires, des BTS et des lycées pour partager leurs expériences pédagogiques et professionnelles pour plus de réussite et d'innovation dans l'enseignement de la chimie. Ce niveau de rencontre – unique dans le système français – est indispensable pour assurer une continuité et une progression harmonieuse dans le transfert des connaissances, du lycée à l'université. »

Références

- [1] Montfort B., Rebetez M., Les JIREC : thématiques, bibliographie, organisation, *Documents numériques SCF*, DN-DEF 2010-01, 2010, téléchargement libre sur www.societechimiquedefrance.fr
- [2] Montfort B., Rebetez M., Risque chimique et enseignement : l'apport des JIREC, à paraître sous forme numérique dans *ARchives des Travaux Universitaires de la Recherche de l'UFC*, ARTUR-FC.
- [3] Chastrette M., Cros D., Rambaud A., Heikkinen H.W., *Actes de la septième conférence internationale sur l'éducation en chimie*, Atelier Duplication-USTL, Montpellier, 1984.
- [4] Arnaud P., Viovy R., La 7^e conférence internationale sur l'éducation en chimie, éducation et société, *L'Act. Chim.*, déc. 1983, p. 33.
- [5] Actes des 1^{ères} ECRICE, *Le bulletin du CIFEC, hors série*, vol. 1 : mai 1993 ; vol. 2 : juin 1993.
- [6] Rouquérol F., 19^e JIREC 2002, 1^{ère} circulaire, 2002.
- [7] Barlet R., 10^e JIREC 1993, Lettre aux animateurs d'atelier, 1993.
- [8] a) Montel G., Réunions du comité de suivi - atelier « Enseignement de la chimie inorganique », Actes JIREC 1989, *le bulletin du CIFEC*, 1990, 5, p. 109 ; Actes JIREC 1990, *le bulletin du CIFEC*, 1991, 6, p. 75 ; b) Davous D., Montfort B., Tinnés J., Laffitte M., Formation à la sécurité et à la protection de l'environnement dans l'enseignement de la chimie, Lettre à Claude Allègre, *L'Act. Chim.*, juin 1999, p. 25 et *Bup*, 1999, 93(716), p. 1325.
- [9] Dien J.-M., Steiner D., Les risques électrostatiques : charges et décharges électrostatique, *L'Act. Chim.*, 2010, à paraître.
- [10] Mougénel J.-C., 25^e JIREC 2009, www.enscmu.uha.fr/jirec/php, 2009.



B. Montfort

Bernard Montfort est membre du bureau de la SCF-DEF et Michel Rebetez est enseignant-chercheur à l'IUT de Besançon-Vesoul (Université de Franche-Comté)*.

* GRIMEP, Département Chimie, IUT, 30 avenue de l'Observatoire, BP 1559, F-25009 Besançon Cedex.
Courriels : montfort.cmt@orange.fr,
michel.rebetez@univ-fcomte.fr



M. Rebetez

Sécurité et innovation : deux priorités absolues !

L'engagement de BASF

Olivier Homolle et Maurice Zinsius

Résumé	Source d'innovation, la chimie est au cœur des grands défis que doit relever notre société. L'industrie chimique est l'une des clés du futur, et son innovation est indispensable pour répondre aux enjeux planétaires liés à l'énergie et au changement climatique, à l'eau et à l'alimentation, à l'accroissement démographique et à la santé, à la préservation des ressources et à l'environnement. BASF - The Chemical Company, entend bien jouer pleinement son rôle par rapport à ces attentes de la société, mais aussi assumer pleinement la forte responsabilité sociétale qui incombe au numéro un mondial de la chimie. Sécurité des hommes et des installations, mais aussi protection du climat et de l'environnement. Ainsi c'est par l'action, l'innovation et le dialogue étroit avec les parties prenantes que BASF contribue chaque jour au développement durable.
Mots-clés	Sécurité, innovation, environnement, responsabilité, développement durable, chimie, BASF, MIEC-JIREC 2009.
Abstract	Security and innovation: two clear priorities! Source of innovations, chemistry is at the heart of the global challenges faced by society. The chemical industry has a key role to prepare the future and to find solutions to the questions related to energy and climate change, to water and food, to demographic change and health, to natural resources and environment. As the world's leading company, we believe it is our responsibility to answer these questions. For BASF - The Chemical Company, sustainable development means the combination of long-term oriented economic success with environmental protection and social responsibility. Security of people and sites, but also environment and climate protection are clear priorities. Through intensive action, innovation and communication, BASF contributes everyday to sustainable development.
Keywords	Security, innovation, environment, responsibility, sustainable development, chemistry, BASF, MIEC-JIREC 2009.

La chimie est au cœur des grands défis que doit relever notre société. Industrie des industries, la chimie est en effet une source constante d'innovations et un véritable moteur de développement économique dans tous les secteurs d'activité. En réponse aux impératifs d'aujourd'hui, mais surtout aux attentes de demain, les acteurs de la chimie apportent d'ores et déjà des solutions aux enjeux planétaires liés à l'énergie et au changement climatique, à l'eau et à l'alimentation, à l'accroissement démographique et à la santé, à la préservation des ressources et à l'environnement.

BASF - The Chemical Company (*encadré 1*), entend bien jouer pleinement son rôle par rapport à ces attentes de la société, mais aussi assumer pleinement la forte responsabilité sociétale qui incombe au numéro un mondial de la chimie. Nous devons concevoir une « chimie pour un développement durable » de notre société. Pour cela, les trois moteurs de l'innovation chez BASF sont, à parts égales : *les besoins du marché, les possibilités technologiques, et les attentes de la société*. Ces trois aspects sont systématiquement pris en compte pour développer avec succès de nouvelles innovations.

Pour développer une chimie durable et une chimie qui assure le développement durable des nombreuses industries qui en dépendent, l'industrie chimique s'est organisée depuis

longtemps et a notamment mis en place plusieurs outils globaux de mesure. Citons par exemple la démarche volontaire de l'industrie chimique mondiale : le Responsible

Encadré 1

BASF - The Chemical Company, le leader mondial de l'industrie chimique



Avec près de 97 000 collaborateurs, et un chiffre d'affaires de 62,3 milliards d'euros, BASF travaille avec des clients et partenaires dans presque tous les pays du monde, dont la France, où BASF est un partenaire majeur de l'industrie, de l'agriculture et aussi de la recherche. Ses 14 filiales, dont une dizaine de sites de production, couvrent la majeure partie du portefeuille d'activités du groupe : de la chimie de base à la chimie fine en passant par les spécialités, les matières plastiques, les peintures pour l'automobile, la chimie du bâtiment et les produits pour la protection des plantes. Parce que BASF est aux côtés de ses clients dans la conception et le développement de solutions novatrices, elle contribue à leur succès, tout en améliorant la qualité de vie pour tous. Ainsi, chaque jour, BASF met sa chimie et ses innovations au service du développement durable afin d'aider à résoudre les défis d'aujourd'hui et de demain.

Encadré 2**Une charte pour le progrès**

La Charte mondiale de l'engagement de progrès (*Responsible Care Global Charter*, RCGC), officiellement lancée en 2006, élargit les éléments originaux du Responsible Care® afin de répondre à de nouveaux défis. Cette charte met l'accent sur le « Product Stewardship », le renforcement du dialogue avec les parties prenantes, la nécessité de faire vérifier la démarche Responsible Care® mise en œuvre et son rôle dans la prise en compte du développement durable. Lancée en France en 1990 par l'UIC, sous le nom d'« Engagement de Progrès », la démarche a pour but de mettre en œuvre le concept de développement durable : après celles d'Amérique du Nord et d'Europe de l'Ouest, les entreprises chimiques d'Europe de l'Est, du Pacifique et d'Amérique du Sud adhèrent à leur tour. À ce jour, 53 fédérations nationales ou régionales déclinent leur programme national, sous l'égide du Responsible Care®.

Care® (encadré 2). Elle a été lancée en France en 1990 par l'Union des Industries Chimiques (UIC) [1] sous le nom d'« Engagement de Progrès ». Indépendamment des normes et des dispositions réglementaires qui s'imposent à elle et qu'elle respecte, l'industrie chimique s'est défini un « code de bonne conduite » pour minimiser et contrôler son impact sur la santé de l'homme et sur son environnement.

Sécurité des hommes, des installations et des produits

Pour BASF et l'industrie chimique, la sécurité est une priorité quotidienne : celle des collaborateurs et des populations voisines de ses sites de production, celle des utilisateurs de ses produits, ou encore celle du consommateur final. D'où de nombreuses règles internes au groupe, allant très souvent bien au-delà du simple respect de la législation. En effet, tous nos sites sont gérés selon la même politique groupe, basée sur la réglementation la plus stricte. Ainsi, les aspects « matériel et technique », « organisation du travail » et « comportement » doivent suivre des procédures bien établies, et le bon suivi de ces règles est surveillé par des audits réguliers et indépendants dans toutes les unités de recherche et de production. De même, au niveau du transport, des procédures de contrôle systématique des camions sont mises en place, même pour les produits non classés dangereux.

Au-delà de ces règles très strictes, les collaborateurs sont très régulièrement formés au risque chimique (accueil, formation continue, recyclage...) et sensibilisés sur la nécessité de rester vigilants. La dernière campagne interne de sensibilisation, intitulée « Sécurité : tous acteurs » vise à faire prendre conscience à tous les collaborateurs que la sécurité concerne bien tout le monde et que nous devons tous agir, à notre niveau, pour maintenir la sécurité de tous à son meilleur niveau. Pour veiller à la bonne santé des collaborateurs, un encadrement médical complet leur est offert (suivi médical particulier lié à l'éventuelle exposition aux produits, mais aussi campagnes de vaccinations antigrippe, campagnes de sensibilisation pour l'arrêt du tabac ou la pratique du sport...).

Si la sécurité de nos collaborateurs est l'objet de toutes les attentions, celle des riverains et des utilisateurs des produits de BASF l'est tout autant. La très performante centrale de surveillance des pompiers, basée à

Ludwigshafen (Allemagne), est d'ailleurs prête à intervenir à la moindre alerte, que ce soit sur site ou à l'extérieur (suite à un incident de transport par exemple). En France, a été mis en place un Groupe de permanence et d'alerte (GPA), constitué de cadres volontaires, afin d'apporter tout le support nécessaire en cas d'incident concernant un produit du groupe. Le GPA répond 24 h/24 et 365 jours/365 aux éventuels appels d'urgence qui lui parviennent dès qu'un produit de l'entreprise est impliqué dans un incident sur le territoire français.

Mais parce que la sécurité est avant tout une affaire de comportement, aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur des sites industriels, le maximum d'informations est fourni aux utilisateurs des produits de BASF pour qu'ils puissent les manipuler dans les meilleures conditions de sécurité (équipements de sécurité, fiches techniques de bonnes pratiques, informations sur la réglementation, CD pédagogiques, formations, fiches de données de sécurité, etc.). Citons par exemple le code de bonne conduite pour les nanotechnologies mis en place par BASF pour protéger en priorité la santé de ses collaborateurs, clients et partenaires amenés à fabriquer ou manipuler des produits contenant des nanoparticules. Ce code leur est très utile pour travailler en toute sécurité, dans les meilleures conditions. Pour assurer un dialogue constant et transparent, un point d'information appelé « Nano Contact Point » est depuis 2006 à la disposition de tous nos collaborateurs qui souhaitent avoir plus d'informations sur ces sujets. BASF a par ailleurs partagé avec l'UIC son expérience et son expertise sur ce sujet pour rédiger avec d'autres industriels français un guide de bonnes pratiques [2].

Protection du climat et de l'environnement

Premier groupe chimique à avoir doté son site historique de Ludwigshafen d'une station d'épuration des eaux usées, BASF a également été la première entreprise du secteur à se doter d'importants laboratoires de toxicologie et d'écotoxicologie. Aujourd'hui, environ 200 experts travaillent au sein du groupe dans ces disciplines sur l'étude de l'impact des substances chimiques et le développement de nouvelles méthodes de tests de ces substances chimiques, mais aussi sur l'application du règlement REACH (encadré 3).

Nous sommes aussi le premier groupe au monde à avoir présenté un « bilan carbone » complet de nos activités ; ses produits permettent d'économiser trois fois plus d'émissions de gaz que le total des émissions nécessaires à la production



Le site de Ludwigshafen. © BASF.

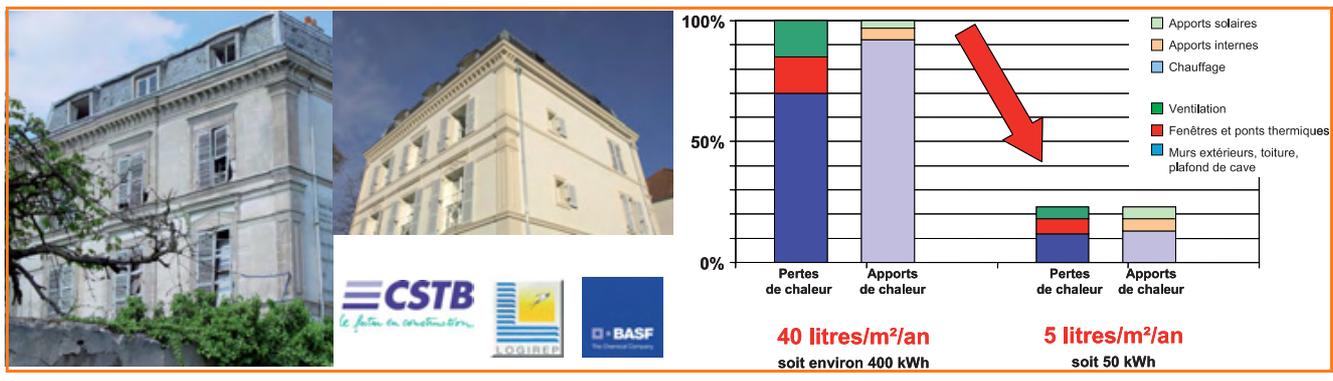


Figure 1 - Le bâtiment génération E (Fontenay-sous-Bois, Val-de-Marne) consomme 50 kWh/m² par an, soit huit fois moins qu'avant rénovation.

Encadré 3

REACH : Registration, Evaluation, Autorisation and restriction of Chemical substances

Objectif principal : améliorer le niveau de protection de la santé et de l'environnement tout en renforçant la compétitivité et l'innovation dans l'Union européenne. Ce règlement a pour but principal d'améliorer la connaissance des propriétés intrinsèques (dangers) des substances chimiques et des risques liés à leurs usages. Ce projet intégrera dans un même système les nouvelles substances et progressivement – sur onze ans – les substances existantes.

En quoi consiste REACH ? C'est un règlement instituant une nouvelle politique européenne en matière de management des substances chimiques. Le projet a été proposé par la Commission européenne le 29 octobre 2003. Dans le cadre du processus de co-décision, il a fait l'objet d'un vote en première lecture par le Parlement européen le 17 novembre 2005 et de l'adoption par le Conseil d'une position commune le 27 juin 2006. Le texte final a été voté en seconde lecture par le Parlement européen le 13 décembre 2006 et adopté à l'unanimité le 18 décembre par le Conseil Environnement.

REACH est entré en vigueur le 1^{er} juin 2007.
 • http://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/reach_intro.htm

et à l'élimination en fin de vie de l'ensemble des produits du groupe. Pour atteindre ce résultat, BASF est bien sûr confrontée aux mêmes difficultés que toutes les entreprises : faire les bons choix, pour que ses innovations contribuent chaque jour au développement durable de notre société. Le concept d'éco-efficience est aujourd'hui bien connu. Il consiste à fabriquer plus de produits (ou de services) en consommant moins de ressources et d'énergie, et en réduisant le volume de déchets. Un concept qui s'inscrit dans l'esprit du développement durable et qui se trouve donc au cœur des préoccupations de la plupart des entreprises. Pour évaluer la durabilité économique et environnementale de ses propres choix, BASF avait développé dès 1996 un outil d'analyse d'éco-efficience. Cet outil n'a depuis cessé de se perfectionner et intègre désormais le critère social (emploi, conditions de travail, sécurité, avantages et risques pour la société et les générations futures...), troisième pilier du développement durable. L'outil SEEBalance® est désormais l'outil le plus complet du marché [3].

Pour améliorer ses produits et proposer de nouvelles solutions innovantes pour répondre aux grands enjeux de demain, BASF consacre une part importante de son budget à la recherche et développement (1,4 milliard d'euros en

2008). L'entreprise concentre en particulier ses efforts sur cinq pôles de croissance : la gestion de l'énergie, les nouvelles matières premières, les nanotechnologies, les biotechnologies végétales et les biotechnologies « blanches ». C'est ainsi que BASF met sa chimie et ses innovations au service du développement durable car la meilleure façon de montrer que l'on est responsable vis-à-vis de la société et de l'environnement, c'est d'agir. C'est pourquoi nous prenons en France de nombreuses initiatives dans ce domaine. Citons par exemple les nouveaux matériaux isolants très performants qui permettent d'obtenir des logements particulièrement économes en énergie (constructions neuves ou réhabilitation d'ancien). La rénovation d'un immeuble en région parisienne, en collaboration avec le CSTB [4] et la société Logirep, a ainsi permis de diviser par huit sa consommation d'énergie (figure 1).

C'est ainsi par l'action, sans oublier l'innovation, et en dialoguant étroitement avec toutes les parties prenantes (les clients, mais aussi les autorités ou les institutions) que BASF contribue chaque jour au développement durable.

Notes et références

- [1] L'Union des Industries Chimiques (UIC) est l'organisation professionnelle qui rassemble toutes les entreprises de la chimie en France, auxquelles elle offre des structures d'échanges et de rencontres (www.uic.fr).
- [2] *Guide de bonnes pratiques Nanomatériaux et HSE* publié par l'UIC en mars 2009, www.uic.fr/imageProvider.asp?private_resource=12216
- [3] L'outil SEEBalance® a été évalué et certifié par des organismes indépendants en Allemagne.
- [4] Centre scientifique et technique du bâtiment, www.cstb.fr



Olivier Homolle
est président de BASF en France*, président de la Société Chimique de France et administrateur de l'UIC.



Maurice Zinsius
est directeur HSE de BASF en France*.

* BASF France, 49 avenue Georges Pompidou, F-92593 Levallois-Perret Cedex. www.basf.fr/ecp2/France/fr_FR

Des laboratoires de chimie de plus en plus sûrs

Une priorité pour l'Institut de chimie du CNRS

Gilberte Chambaud et Brigitte Diers

Résumé	Cet article met l'accent sur la spécificité des laboratoires de recherche en termes de sécurité et sur l'organisation mise en place, les actions réalisées et l'implication forte de l'Institut de chimie du CNRS dans ce domaine. Il explique également l'avancée que représente la nouvelle législation REACH en matière de prévention et sa mise en œuvre au CNRS.
Mots-clés	CNRS, sécurité, prévention, REACH, MIEC-JIREC 2009.
Abstract	Safer chemistry laboratories: a priority for the French CNRS' "Institut de chimie" In a first part, this article emphasizes the specificity of the research laboratories in terms of safety and continues with the CNRS organization and actions in this domain with a particular strong investment of the Institute of chemistry. The second part concerns the European regulation REACH and its implication to improve the prevention of risks and how this new regulation is implemented in CNRS.
Keywords	CNRS, safety, prevention, REACH, MIEC-JIREC 2009.

En milieu académique, la spécificité des laboratoires de recherche en chimie est définie par la grande diversité des activités rencontrées – recherche, enseignement, analyse, contrôle – dans un environnement où se côtoient des personnels qualifiés, des chercheurs, des ingénieurs, des techniciens et des personnels en formation, doctorants ou stagiaires débutants. À cela, s'ajoute une grande variété de produits et de manipulations excluant pratiquement la mise en place d'une automatisation possible en milieu industriel. Ce phénomène s'est accentué au cours de la dernière décennie avec les évolutions thématiques et les fusions de laboratoires autour de projets pluridisciplinaires.

Dans ce contexte, un des soucis majeurs est de veiller à la sécurité des personnels et d'intégrer les notions de sécurité et de respect de l'environnement dans la formation des étudiants ou des élèves ingénieurs en chimie.

La sécurité dans les laboratoires CNRS

Depuis sa création en 1939, le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) s'est toujours préoccupé de la prise en compte du risque chimique dans ses activités. Pour assurer la sécurité dans ses laboratoires, qu'ils soient Unités Propres de Recherche (UPR) ou Unités Mixtes de Recherche (UMR) associées à d'autres établissements, le CNRS s'est doté de moyens répartis sur le territoire français et d'une mission au niveau de l'Institut de chimie (INC).

Un réseau national de prévention

Le réseau des dix-neuf ingénieurs régionaux de prévention et sécurité (IRPS) animé par la coordination nationale de prévention et sécurité (CNPS) conseille pour les questions concernant l'hygiène, la sécurité et la protection

de l'environnement. La mission de contrôle est confiée à l'Inspection générale d'hygiène et de sécurité.

Sur le plan médical, la coordination nationale de la médecine de prévention anime et coordonne les activités de plus de soixante médecins de prévention placés en régions.

Au niveau local, les agents chargés de la mise en œuvre des règles d'hygiène et de sécurité (ACMO) jouent un rôle clé. Au nombre de un à huit selon la taille du laboratoire, ils assistent et conseillent le directeur d'unité.

Pour répondre immédiatement aux situations d'urgence, un dispositif spécifique pour la gestion de crise prévoit la mise en place d'une cellule centrale de crise et le déclenchement d'un plan d'urgence en délégation. Ces relais locaux sont chargés d'évaluer, d'aider, d'alerter et de déclencher la cellule de crise de la Direction générale du CNRS en cas de situation d'extrême dangerosité. Ce dispositif fonctionne 24 h/24 et 365 jours/an.

Une mission « Hygiène et sécurité » à l'Institut de chimie

Cette mission, installée au siège de l'Institut de chimie, assure un lien direct entre les laboratoires et la direction scientifique de l'Institut. Nous présentons ci-après plusieurs de ses activités et actions qui reflètent l'investissement important de l'INC dans cet axe sécurité.

Campagne d'amélioration des installations

Soucieux de la sécurité de ses personnels et étudiants et conscient des coûts que cela implique, l'Institut de chimie a lancé en 2006 une enquête de repérage des situations à risque dans ses laboratoires. Cette enquête a été suivie d'une campagne de financement des équipements de sécurité, étalée sur trois ans (2007-2009) et dans la mesure du possible, en synergie de concertation et partenariat avec



© CNRS Photothèque/Robin Laurent.

l'établissement hôte. Le budget total engagé par l'INC, d'un montant de 2,3 M€ HT répartis également sur les trois années, a permis de réaliser des opérations dans près de cent laboratoires (dont onze UPR) dans toute la France. Les dépenses ont porté en priorité sur l'achat d'équipements – armoires de stockage, générateurs d'hydrogène, pompes à membrane, sorbonnes, systèmes de purification de solvants – et sur l'élimination de produits chimiques très anciens (gaz, liquides, solides).

Production de documents

Deux ouvrages portant sur deux cents produits couramment utilisés en laboratoires de chimie et de biologie ont été publiés. Vendus à plus de 8 000 exemplaires, ils seront prochainement révisés afin d'intégrer le nouveau système de classification et d'étiquetage des substances chimiques [1-2].

De plus, des actions d'informations ont été menées – rédaction d'articles techniques et conférences – sur le remplacement de substances dangereuses [3], la nouvelle réglementation [4], les précurseurs de stupéfiants [5], les bonnes pratiques de manipulation des cancérigènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction dits CMR [6].

Les collaborations avec les partenaires de prévention des autres établissements publics à caractère scientifique et technologique (EPST) sur les sujets émergents ont permis de réaliser un référentiel CMR et la fiche individuelle des risques et des conditions de travail (FIRCT).

L'INC souhaite impulser et soutenir une formation à la sécurité, notamment au niveau

universitaire, afin de sensibiliser, d'informer et de former ses personnels le plus tôt possible.

Une unité de service « Prévention du risque chimique »

Cette Unité Propre de Service [7], créée en 1989 par André Picot sur le campus CNRS de Gif-sur-Yvette puis dirigée par Brigitte Diers et Anne-Christine Macherey, a pour missions l'expertise, la formation et l'information pour les personnels CNRS et autres acteurs de la recherche publique et privée. Ses membres contribuent à des travaux d'expertise au plan national (AFSSET, AFSSA) et européen (DG-Env) et elle répond aux demandes concernant la dangerosité des produits et les meilleures conditions d'utilisation. Elle intervient dans des formations « sécurité en laboratoire » au niveau LMD des branches chimie, biologie, biochimie (Paris 6, Paris 7 et Paris 11) et organise des formations spécifiques pour les enseignants du secondaire.

Le règlement REACH

REACH (Registration, Evaluation, Autorisation of CHemicals) est un règlement européen en vigueur dans tous les États membres depuis le 1^{er} juin 2007 qui remplace plus de quarante directives et règlements européens. Il s'agit d'une rationalisation et d'une amélioration de l'ancien cadre législatif portant sur les substances chimiques.

Les objectifs de cette réglementation sont : 1) améliorer la protection de la santé humaine et de l'environnement, 2) renforcer la transparence des activités chimiques et de la circulation des substances, 3) stimuler l'innovation et la compétitivité de l'industrie chimique, et 4) promouvoir les méthodes alternatives à l'expérimentation animale.

La réglementation modifie la démarche du chimiste de la précaution à la prévention : aucune substance ne pourra être commercialisée sans avoir été testée et approuvée par les autorités publiques et l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA). C'est le principe « *no data, no market* ».

Avant REACH, il appartenait aux autorités publiques d'apporter la preuve de la toxicité ou de la dangerosité d'une substance. Avec REACH, il appartient désormais aux



© CNRS Photothèque/Robin Laurent.

industries chimiques de prouver l'innocuité des substances qu'elles commercialisent ou vont commercialiser et de supporter le poids financier de cette preuve.

Le fonctionnement prévoit l'enregistrement des substances produites ou importées dans des quantités égales ou supérieures à une tonne par an et par fabricant/importateur, l'évaluation des dossiers et des substances, une procédure d'autorisation pour les substances très préoccupantes, et un système de restriction pour des substances ou des utilisations qui ne seraient pas couvertes par d'autres dispositions de REACH.

REACH est une réelle avancée pour les utilisateurs professionnels de produits chimiques. La législation précédente demandait à l'industriel une quantité importante de données toxicologiques, soit pour la classification et l'étiquetage, soit pour la protection des travailleurs. REACH rend obligatoire de mettre ces informations dans une base de données hébergée sur le site de l'ECHA.

Grâce à des fiches de données de sécurité, des rapports de sécurité chimique, des bases de données en accès libre sur le site de l'ECHA [8], l'utilisateur dispose d'informations plus nombreuses et plus complètes sur : les propriétés dangereuses des produits, les risques liés à une exposition et les mesures de sécurité à mettre en place.

Dans ce nouveau contexte, quelles sont les obligations des utilisateurs en aval, c'est-à-dire nos laboratoires ? On peut les résumer comme suit :

- identifier les substances utilisées et la façon dont elles sont utilisées ;
- vérifier que le fournisseur s'est bien conformé à REACH ;
- vérifier que le produit sera toujours commercialisé et qu'il ne risque pas d'y avoir de rupture dans la chaîne d'approvisionnement pour cause de non-enregistrement ;
- vérifier que l'utilisation est bien couverte ;
- transmettre les informations le long de la chaîne d'approvisionnement, par exemple communiquer sur des dangers non prévus ou sur le fait que la gestion proposée par le fournisseur est inadaptée.

Des actions ont déjà été entreprises par l'INC auprès des principaux fournisseurs de produits chimiques du CNRS et le travail devra être poursuivi en collaboration avec les services des affaires juridiques et des marchés afin d'aider nos laboratoires.

Conclusion

Assurer la sécurité, prévenir les accidents du travail, la survenue de maladies professionnelles dans ses laboratoires sont des enjeux majeurs pour l'Institut de chimie qui doit être moteur en termes de sécurité, mais aussi générateur de solutions afin de veiller à un bon équilibre sécurité/recherche/innovation.

Les actions prioritaires de l'INC consistent à sensibiliser, former, communiquer, soutenir les acteurs de la prévention et à mettre les laboratoires en conformité en regard des exigences réglementaires relatives à la gestion des produits chimiques.

Le CNRS a mis en place depuis de longues années un réseau structuré, mais il ne faut pas oublier que l'essentiel se joue dans chaque laboratoire, dans chaque service, au poste de travail, la prévention et la sécurité étant une responsabilité partagée.

Références

- [1] Bernier S., Brendel A., Diers B., Freyria A.-M., Karli M., Vaganay E., 100 fiches pratiques - Sécurité des produits chimiques au laboratoire, Dunod, **2008**.
- [2] Bernier S., Aubert M.H., Boisset M., Brendel A., Diers B., Freyria A.-M., Munch S., Vaganay E., 100 nouvelles fiches - Sécurité des produits chimiques au laboratoire, Dunod, **2004**.
- [3] Diers B., Mazé-Coradin F., Le remplacement du mélange sulfochromique, *L'Act. Chim.*, **2004**, 275, p. 33.
- [4] Diers B., Le système global harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques, *Prévention infos*, **2008**, 26, p. 5.
- [5] Diers B., Mazé-Coradin F., Les précurseurs de drogues : note d'information pour les organismes de recherche et les établissements d'enseignement supérieur, *L'Act. Chim.*, **2005**, 283, p. 54.
- [6] Diers B., Manipulation des cancérogènes, *Prévention infos*, **2000**, 4, p. 1.
- [7] www.prc.cnrs-gif.fr
- [8] <http://echa.europa.eu>



G. Chambaud

Gilberte Chambaud est directrice de l'Institut de chimie* et **Brigitte Diers** chargée de mission « Hygiène et sécurité » et « Information scientifique et technique »*.

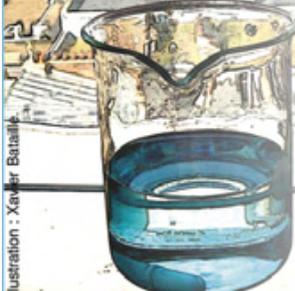
* CNRS-INC-Bât. B, 3 rue Michel Ange, F-75016 Paris.
Courriels : gilberte.chambaud@cnrs-dir.fr,
brigitte.diers@cnrs-dir.fr



B. Diers

Ressources nationales de chimie

www.educnet.education.fr/rnchimie



RNChimie (Ressources nationales de chimie) est un site destiné aux enseignants des lycées généraux et technologiques, des BTS et des CPGE. Vous y trouverez plus de 600 protocoles de travaux pratiques, des recommandations pédagogiques, des cours, des exercices, des présentations sous forme de diaporamas télé-chargeables, des fiches techniques de TP, des informations relatives à la sécurité mais aussi de l'histoire des sciences, des informations et des données sur les techniques spectroscopiques et chromatographiques dont des données expérimentales directement utilisables. Vous y trouverez également des cours, TD et applications sur les plans d'expérience (mathématiques), des cours et exercices de génie chimique, des exemples de TP basés sur la démarche d'investigation.

**RNChimie, c'est 600 pages web,
700 fichiers doc/zip, 930 documents pdf
et des dizaines de diaporamas à votre disposition !**

© Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. Direction de la technologie - SDTICE

La communication pédagogique en cours magistral de chimie

Peut-on améliorer son efficacité ?

Mireille Houart, Nathalie Warzée, Johan Wouters, François Reniers et Marc Romainville

Résumé Dans les premières années universitaires scientifiques, les cours de chimie sont centraux et constituent une source de difficultés pour de nombreux étudiants. Parmi ces difficultés, l'une d'entre elles est transversale ; il s'agit des passages omniprésents entre les trois niveaux de savoir : macroscopique, microscopique et symbolique. Lorsqu'un enseignant présente des concepts chimiques, les aller-retour entre ces trois niveaux sont très fréquents, quoique la plupart du temps implicites. Toutefois, établir des liens entre les trois niveaux de savoir n'est ni évident ni automatique pour les étudiants, alors que cette démarche constituerait une condition pour une compréhension en profondeur des concepts-clés en chimie. Cet article met en évidence les caractéristiques de l'exposé de l'enseignant intrinsèquement associées à cette difficulté transversale pour six cours magistraux. Des actions et des outils concrets pour améliorer les exposés en chimie sont proposés et l'impact de leur mise en œuvre sur les acquis des étudiants est présenté.

Mots-clés Cours magistral, enseignement, niveau de savoir macroscopique, microscopique et symbolique, compréhension en profondeur, MIEC-JIREC 2009.

Abstract **Educational communication in chemistry teaching at University: improving its efficiency**
During the first academic year, chemistry courses are central and constitute a major source of difficulties for many students. Among those stand the omnipresent changes, most of the time implicit, between the macroscopic, microscopic and symbolic levels. Establishing links between the three levels is neither obvious nor automatic for students, although this process is a condition to understand "chemistry" thoroughly. This paper points out the characteristics of the message given by the teacher during six lectures and shows how it is closely linked to this omnipresent difficulty. Specific actions and practical tools aiming at improving the educational communication are proposed and the impact of their implementation on the knowledge gained by students is presented.

Keywords Educational communication, teaching, lecturing, macroscopic, microscopic and symbolic levels, thorough understanding, chemistry courses at University, MIEC-JIREC 2009.

En Belgique, l'exposé magistral demeure, malgré des tentatives isolées de pédagogies actives, le mode de communication pédagogique principal lors de la première année universitaire (65 à 70 % du programme horaire de l'étudiant dans les sections scientifiques). La qualité d'un exposé peut être considérée comme un premier facteur déterminant pour favoriser l'apprentissage des étudiants et donc comme un facteur de réussite intéressant à explorer. En effet, parmi l'ensemble des facteurs de réussite (nombre d'heures dédiées à l'étude, méthodes de travail...) [1], la qualité d'un exposé offre l'avantage d'être un facteur sur lequel les enseignants ont, en partie, le pouvoir d'agir.

De plus, dans le cursus des sections scientifiques, les cours de chimie sont centraux et constituent une source de difficultés pour de nombreux étudiants. Parmi ces difficultés très largement mises en évidence dans les recherches en didactique de la chimie [2-8], l'une d'entre elles est présente quel que soit le contenu envisagé. Il s'agit des passages omniprésents entre trois niveaux de savoir : macroscopique, microscopique et symbolique (voir *figure 1*). D'après Gabel, établir des liens entre ces trois niveaux n'est ni évident ni automatique pour les étudiants, alors que cette démarche constituerait une condition pour une compréhension en profondeur des concepts de base en chimie [9]. Or lorsqu'un

enseignant présente des concepts chimiques, les aller-retour entre les niveaux macroscopique, microscopique et symbolique sont fréquents mais implicites, c'est-à-dire que ni les transitions ni les liens entre les niveaux ne sont mis en évidence lors de l'exposé. Bien qu'identifiée assez clairement, cette difficulté a rarement fait l'objet d'une étude empirique détaillée sur la base d'une analyse fouillée du discours enseignant. La présente recherche vise à pallier ce manque.

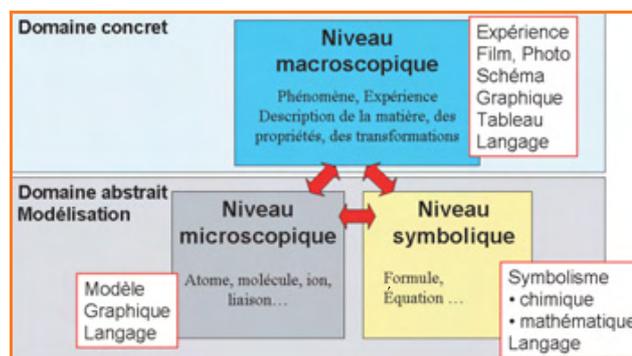


Figure 1 - Description des trois niveaux de savoir et de leurs modes de représentation (pour une description détaillée, voir [10]).

Tableau I - Récapitulatif de la méthodologie sur les deux années.

	Étape 1 Groupe témoin	Étape 2 Hypothèse 1	Étape 3 Hypothèse 2
Année 1	<i>Thème</i> : solutions aqueuses <i>Message</i> : classique	<i>Thème</i> : cinétique <i>Message</i> : classique	<i>Thème</i> : thermodynamique <i>Message</i> : classique
Année 2	<i>Thème</i> : solutions aqueuses <i>Message</i> : classique	<i>Thème</i> : cinétique <i>Message</i> : intervention pédagogique qui insiste sur le niveau microscopique	<i>Thème</i> : thermodynamique <i>Message</i> : intervention pédagogique qui insiste sur l'explicitation des niveaux et des liens entre eux

Tableau II - Caractéristiques du message oral pour les six cours magistraux analysés pour les deux universités confondues⁽³⁾.

Caractéristiques du message	Solutions		Thermodynamique		Cinétique	
	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2	Année 1	Année 2
Durée d'enregistrement (min)	123	125	126	150	135	117
Changement de niveaux (fréquence/min)	208 ± 1,7	255 ± 2,0	241 ± 1,9	403 ± 2,7	181 ± 1,3	296 ± 2,5
Identification du niveau de savoir	10	14	7	47	1	27
Explicitation du niveau de savoir	1	3	0	20	0	1
Établissement des liens entre les niveaux	1	26	26	98	0	33
Explicitation des liens entre les niveaux	0	0	0	17	0	3

Contexte

Dans le cadre d'une thèse de doctorat et d'un projet de recherche de deux ans, financé par le Fonds National de la Recherche Scientifique, cette difficulté a été analysée sur la base de six cours magistraux dans deux universités [10]. L'analyse s'est opérée dans le but de cerner davantage la difficulté liée aux niveaux de savoir, pour finalement améliorer la qualité des exposés de chimie. En effet, plusieurs hypothèses formulées en didactique des sciences nous ont amenés à avancer que la prise en compte dans l'enseignement de ces trois niveaux de savoir et de leurs interactions pourrait avoir une incidence favorable sur l'apprentissage et la compréhension en profondeur de la chimie [11-19]. Deux hypothèses en particulier ont été vérifiées en comparant les performances en chimie sur trois matières (solutions aqueuses, thermodynamique et cinétique) avec deux groupes témoins d'étudiants de première année et deux groupes cibles d'étudiants :

- **Première hypothèse** : lors d'un exposé de chimie, **mettre l'accent sur le niveau microscopique** devrait augmenter la compréhension en profondeur des étudiants de concepts-clés (saturation, spontanéité d'une réaction, facteurs cinétiques...);
- **Seconde hypothèse** : **explicitement le niveau du message (macroscopique, microscopique et symbolique) et les liens entre eux** devrait également augmenter cette compréhension⁽¹⁾.

Dans le présent article, la méthodologie mise en œuvre pour étayer nos deux hypothèses sera brièvement expliquée. Les caractéristiques des exposés de chimie et les acquis des étudiants au terme des cours seront mis en évidence. Enfin, des actions et des outils concrets pour améliorer les exposés en lien avec nos hypothèses seront présentés.

Méthodologie

Mesure de la compréhension des étudiants

Des questionnaires ont été élaborés de manière à mesurer le degré de compréhension des étudiants des

concepts clés. Ils portent sur chacun des cours magistraux et sont basés sur ce que les professeurs pensent que les étudiants devraient savoir et savoir faire, à l'aide de leurs notes de cours, à l'issue du cours.

Mise à l'épreuve des deux hypothèses

La méthodologie pour tester nos hypothèses comprend trois étapes distinctes (*tableau I*). Les résultats obtenus à chaque questionnaire ont été comparés statistiquement entre la première et la seconde année pour les deux universités confondues⁽²⁾.

Résultats et discussion

Caractéristiques des exposés et acquis des étudiants à l'issue du cours magistral

Lors de la première année de recherche, l'analyse des exposés des enseignants a mis en évidence très peu d'actions pédagogiques en lien avec nos hypothèses, malgré un nombre très élevé de changements de niveaux de savoir (*tableau II*). Tout se passe comme si les enseignants faisaient l'hypothèse que les étudiants maîtrisent parfaitement la distinction entre les différents niveaux de savoir et parviennent, lors de l'exposé, à les identifier et à établir les liens entre eux, c'est-à-dire à mettre en œuvre des opérations qui favoriseraient la compréhension en profondeur des concepts-clés. Or l'analyse des acquis des étudiants fait état d'une importante difficulté à identifier ces niveaux et à établir des liens entre eux (*figure 2*). Ces résultats confortent à la fois l'intérêt de la présente recherche ainsi que la pertinence des hypothèses émises au départ.

Validation des hypothèses

Les résultats obtenus lors de la seconde année permettent de valider chacune de nos deux hypothèses (*figure 3* et *tableau III*) : les étudiants réussissent significativement mieux les questionnaires « thermodynamique » et « cinétique »

Tableau III - Comparaison des moyennes obtenues aux questionnaires⁽²⁾ entre l'année 1 et l'année 2.
N : nombre de questionnaires.

Questionnaire	(Moyenne \pm écart-type)/20 (année 1)	(Moyenne \pm écart-type)/20 (année 2)	N (année 1)	N (année 2)	p
Solutions	11,4 \pm 1,7	10,3 \pm 1,6	291	307	p < 0,0001
Thermodynamique	11,9 \pm 1,8	14,8 \pm 1,6	286	274	p < 0,0001
Cinétique	9,6 \pm 1,7	12,0 \pm 1,5	228	265	p < 0,0001

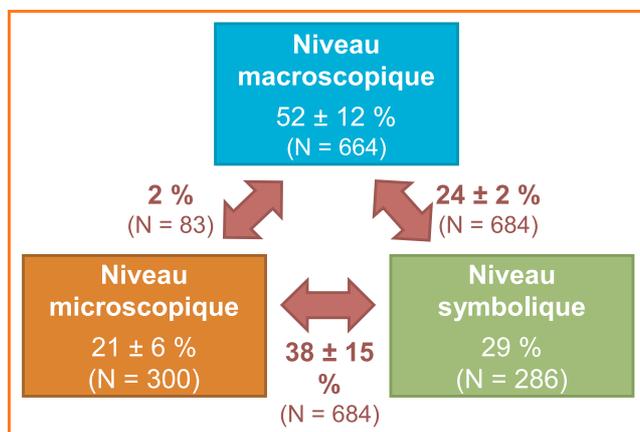


Figure 2 - Proportion des étudiants ayant respecté le niveau de savoir demandé et ayant établi des liens entre deux niveaux de savoir au sein de leurs réponses aux questionnaires. N : nombre de questions évaluées qui impliquaient l'identification du niveau de savoir (dans les rectangles) et l'établissement de liens entre les niveaux (à côté des flèches).

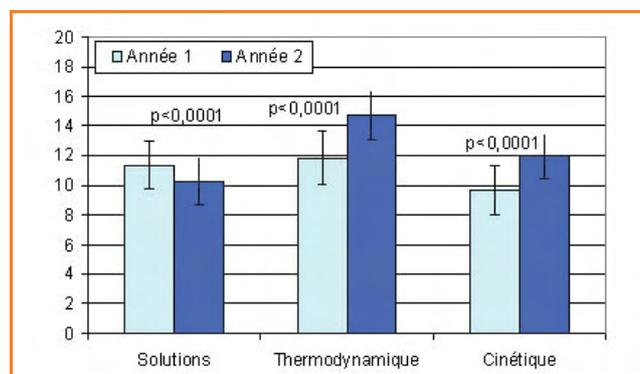


Figure 3 - Comparaison des moyennes obtenues à chaque questionnaire entre l'année 1 et l'année 2, pour les deux universités confondues.

la seconde année alors qu'ils réussissent moins bien le questionnaire témoin « solutions ».

En début de cycle universitaire, dans les cours magistraux de chimie, un exposé qui insiste sur le niveau microscopique en utilisant les modèles moléculaires fixes ou animés semble augmenter le degré de compréhension par les étudiants des concepts-clés. Ces modèles moléculaires sont expliqués, décrits et commentés par l'enseignant. En première année universitaire, il semble donc que l'abstraction nécessaire à la maîtrise de nombreux concepts chimiques s'apprenne, et que cet apprentissage passe notamment par la visualisation et la compréhension de modèles moléculaires.

De plus, un message qui insiste sur l'explicitation et l'identification des niveaux de savoir, et qui de surcroît établit les liens entre ces niveaux, permet de favoriser

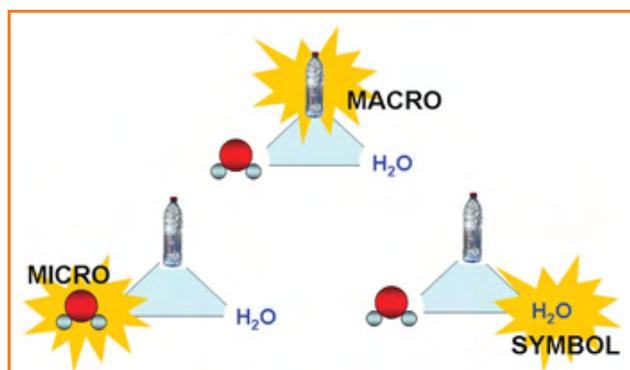


Figure 4 - Logos d'identification des niveaux.

la compréhension par les étudiants des concepts-clés du cours magistral au terme de celui-ci.

Conclusion

Les résultats laissent entrevoir des pistes d'actions pédagogiques concrètes pour améliorer l'efficacité des exposés magistraux de chimie en tenant compte des niveaux macroscopique, microscopique et symbolique, c'est-à-dire en explicitant clairement et fréquemment le niveau du discours, les liens qu'ils entretiennent entre eux, et en augmentant le recours au niveau microscopique du message. Il s'agit de :

- concevoir de nombreux modèles moléculaires avec ou sans animation ;
- intégrer des modèles moléculaires dans les diapositives de type PowerPoint servant de supports écrits aux cours ;
- décrire les trois niveaux de savoir et leurs modes de représentation à partir d'un modèle [10] ;
- décrire les logos d'identification des niveaux (figure 4) et les intégrer dans les supports écrits ;
- identifier le/les niveau(x) sur certaines diapositives-clés ;
- établir des liens entre les différents niveaux en rapprochant sur une même diapositive la présentation du même concept ou de la même notion à des niveaux différents.

Dans le cadre de la présente recherche, ces actions pédagogiques ont été mises en œuvre au sein des cours magistraux de manière isolée afin de valider chacune des deux hypothèses, mais dans la réalité, elles pourraient être déployées conjointement. La combinaison de ces actions devrait dès lors produire un effet synergique sur la qualité de l'exposé, et donc sur la compréhension des étudiants.

Notes et références

- (1) Même si la difficulté de la transition entre les trois niveaux de savoir peut paraître triviale aux yeux des didacticiens en chimie, c'est loin d'être le cas pour les deux hypothèses puisqu'il n'existe *a priori* aucun lien direct entre la compréhension de concepts-clés en chimie et la présentation accrue de modèles moléculaires d'une part et l'explicitation fréquente du niveau du message et des liens entre eux.

- (2) Test U de Mann-Whitney - XLSTAT version 2008.7.01.
 (3) Les résultats suivent la même tendance dans chacune des universités.
- [1] Romainville M., *L'échec dans l'université de masse*, Série Références, L'Harmattan, **2000**, p. 37.
- [2] Astolff J.-P., Peterfalvi B., Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales, *Aster*, **1993**, 16, p. 103.
- [3] Carretto J., Viovy R., Relevé de quelques obstacles épistémologiques dans l'apprentissage du concept de réaction chimique, *Aster*, **1994**, 18, p. 11.
- [4] Larcher C., Point de vue à propos des équilibres chimiques, *Aster*, **1994**, 18, p. 57.
- [5] Barlet R., Plouin D., L'équation-bilan en chimie, un concept intégrateur source de difficultés persistantes, *Aster*, **1994**, 18, p. 27.
- [6] Fillon P., Des élèves dans un labyrinthe d'obstacles, *Aster*, **1997**, 25, p. 113.
- [7] Beauffils D., Vingt années de thèses en didactique de la physique et de la chimie, *Aster*, **1998**, 27, p. 23.
- [8] Johnstone A.-H., Thinking about thinking, *International Newsletter on Chemical Education*, **1991**, 36, p. 7.
- [9] Gabel D., Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding, *Journal of Chemical Education*, **1993**, 70, p. 193.
- [10] Houart M., Étude de la communication pédagogique à l'université à travers les notes et les acquis des étudiants à l'issue du cours magistral de chimie, Thèse de doctorat, Facultés universitaires de Namur, **2009**, à paraître aux Éditions Universitaires Européennes.
- [11] Tiberghien A., Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situation, *Learning and Instruction*, **1994**, 4, p. 71.
- [12] Buty C., Étude d'un apprentissage dans une séquence d'enseignement en optique géométrique, Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2, **2000**.
- [13] Vince J., Approches phénoménologique et linguistique des connaissances des élèves de 2^{nde} sur le son. Contribution à l'élaboration et l'analyse d'un enseignement et au développement d'un logiciel de simulation, Thèse en sciences de l'éducation, Université Lumière Lyon 2, **2000**.
- [14] Séjourné A., Conception d'un hypermédia et analyses de l'influence de l'organisation des contenus sur l'activité des élèves : le cas de « Labdoc Son et Vibrations », Thèse en sciences de l'éducation, Université Lumière Lyon 2, **2001**.
- [15] Tiberghien A., Buty C., Le Maréchal J.-F., La modélisation, axe prioritaire d'une approche théorique sur les relations entre apprentissage et enseignement, *Journées de l'Ardist*, Toulouse, **2003**.
- [16] Roux M., Le Maréchal J.-F., Introducing dynamic equilibrium before static equilibrium by means of computer modelling, *ESERA*, Noordwijkerhout (Hollande), août **2003**.
- [17] Pekdag B., Le Maréchal J.-F., Changement conceptuel et hyperfilm : cas de l'apprentissage des acides et des bases en classe de Première S, *Journées de l'Ardist*, Toulouse, **2003**.
- [18] Pekdag B., Le Maréchal J.-F., Influence of the relations between picture and text of chemical education film on conceptual change, *Proceedings of the 6th Esera Summerschool* (Radovljica, Slovénie, 25-31 août 2002), University of Ljubljana, Faculty of Education, Dusan Krnel (ed.), **2003**, p. 138.
- [19] Le Maréchal J.-F., Bécu-Robinault K., La simulation en chimie au sein du projet Microméga, *Aster*, **2006**, 43, p. 81.



M. Houart



M. Romainville



N. Warzée



F. Reniers

Mireille Houart (auteur correspondant) est chercheuse et **Marc Romainville** professeur au Département Éducation et Technologie, Facultés universitaires Notre-Dame de la Paix, Namur¹.

Nathalie Warzée est chercheuse et **François Reniers** professeur et vice-recteur du Service de Chimie générale, Université Libre de Bruxelles².

Johan Wouters est professeur au Département de Chimie, Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix, Namur³.



J. Wouters

¹ Département Éducation et Technologie, Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix, Rue de Bruxelles 61, B-5000 Namur (Belgique).

² Service de Chimie générale, CP 250, Université Libre de Bruxelles, Campus de la Plaine, Boulevard du Triomphe, B-1050 Bruxelles (Belgique).

³ Département de Chimie, Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix, Rue de Bruxelles 61, B-5000 Namur (Belgique).
 Courriel : johan.wouters@fundp.ac.be

« Made in Europe for the World »
 Oui, mais avec vos contributions !

Analytical and Bioanalytical Chemistry
 Springer
 the language of science

L'Actualité Chimique
 Société Chimique de France

Les journaux de ChemPubSoc*
 *ChemPubSoc regroupe 14 sociétés de chimie européennes, dont la SCF

WILEY-VCH ChemPubSoc

- Chemistry, a European Journal
- European Journal of Organic Chemistry
- European Journal of Inorganic Chemistry
- ChemBioChem
- ChemCatChem
- ChemMedChem
- ChemPhysChem
- ChemSusChem

Pour montrer la vitalité de la chimie française,
 toutes ces revues attendent vos communications.

Première approche de la recherche et du métier d'ingénieur

Retour sur le projet de chimie organique mis en place à CPE Lyon

Christel Gozzi et Claire Marchal

Résumé Un projet de chimie organique a été mis en place en 1^{ère} année du cursus ingénieur à CPE Lyon (niveau bac + 3). Des sujets correspondant à des parties du cours de chimie organique sont impartis à des groupes d'étudiants. Les sujets sont approfondis de manière théorique par des recherches bibliographiques puis illustrés par des synthèses réalisées au laboratoire, dont les étudiants ont dû transcrire le protocole depuis des publications originales. Ce travail donne lieu à la rédaction d'un rapport scientifique et à la présentation d'un poster en anglais devant des industriels. Ce projet correspond à une première approche de la recherche et du métier d'ingénieur. Il met en jeu diverses compétences scientifiques théoriques et pratiques avec certains outils de l'ingénieur (travail de groupe, gestion de projet, recherche bibliographique).

Mots-clés Chimie organique, projet, synthèse, bibliographie, rapport scientifique, MIEC-JIREC 2009.

Abstract **Organic chemistry project at CPE Lyon for undergraduate students**

An organic chemistry project has been set up for first year students at CPE Lyon (HE - year 3). Subjects corresponding to different parts of the organic chemistry course are shared out between groups of six or seven students. These groups study their subject first theoretically by carrying out a literature search and then illustrate it by organic syntheses in the lab after having translated the experimental procedures of these syntheses from the original publication. This work gives rise to the writing of a scientific report and to the presentation in English of a poster to industrial chemistry researchers. Thus this project is a first experience of academic research and of the job of a chemical engineer. Students effectively need to use their scientific, theoretical and practical skills as well as different professional skills such as team work, project management and literature searches.

Keywords Organic chemistry, project, synthesis, literature search, scientific report writing, MIEC-JIREC 2009.

Dès la première année du cursus ingénieur (année 3), CPE Lyon propose à ses étudiants un projet associant des sciences fondamentales (chimie organique et analytique) et des outils de l'ingénieur (gestion de projets, bibliographie et travail en équipe). Ce projet représente une nouvelle approche pour les élèves d'année 3 : sortant d'une logique où les enseignements sont cloisonnés, ils doivent faire preuve, dans cet « exercice », d'une vision plus globale en mettant en relation leurs connaissances dans différentes matières.

La promotion est répartie en 24 groupes de six ou sept étudiants et un sujet correspondant à une partie du cours de chimie organique (« Transformation d'un alcool en halogénure » ou « Alkylations et acylations des noyaux aromatiques », par exemple) est impartit à chaque groupe. Le but est de rédiger un chapitre du cours, à partir de la littérature scientifique, et de l'illustrer par des réalisations pratiques (voir exemple dans l'encadré 1).

Les étudiants ne participent pas à la recherche des protocoles des synthèses illustrant leur sujet car les contraintes de temps, d'approvisionnement et de sécurité nous ont amenés à imposer à chaque groupe les expériences à faire. Par ailleurs, ceci nous permet de mettre l'accent sur des réactions importantes dans la partie bibliographique. En revanche, ils doivent retrouver la publication correspondant à la référence donnée et traduire le protocole en français avec une transposition d'échelle (voir paragraphe « Étude de protocoles », p. 34).

À l'issue du projet, les étudiants rédigent un rapport de type « publication » avec notamment une « Partie bibliographique » correspondant à l'étude théorique du sujet donné

Encadré 1

Exemple de sujet donné aux étudiants : synthèses des alcènes et alcynes par réactions d'ylures

Étude bibliographique

Étude des réactions de Wittig et Wittig Horner. D'autres méthodes de formations d'alcènes *via* des ylures seront abordées : Tebbe, Peterson, Julia ou Corey Fuchs.

Partie expérimentale

17.1- Synthèse du cinnamate d'éthyle à partir de 1,5 g de benzaldéhyde (Speed T.J., *J. Chem. Ed.*, **2004**, *81*, p. 1355 et Nguyen K.C., *J. Chem. Ed.*, **2007**, *84*, p. 119, protocoles dans les suppléments du *JCE WebWare*) (prévoir une purification du cinnamate par flash).

17.2- Synthèse du E,E-1,4-diphénylbutadiène à partir de 10 g de chlorure de benzyle (Breuer S.W., *J. Chem. Ed.*, **1991**, *68*, p. A58) et de l'acide 3-(5'-méthyl-2'-thiophényl)-(E)-propénoïque à partir de 2 g de 5-méthyl-2-thiophénecarboxaldéhyde (l'isomère E,Z-1,4-diphénylbutadiène sera isolé du résidu de cristallisation par passage sur colonne de silice pour identification et quantification).

17.3- Synthèse du 5-phénylpent-2-yn-1-ol à partir de 2 g de 3-phénylpropionaldéhyde (Mori M., *Organic Syntheses*, **2005**, *81*, p. 1) (l'hexane des flash sera remplacé par de l'éther de pétrole).

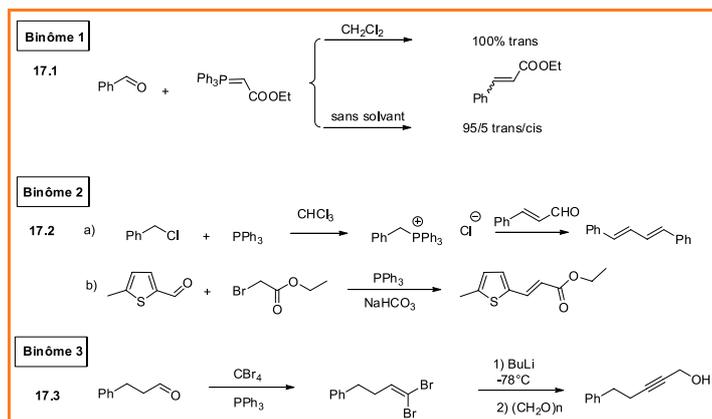


Figure 1 - Exemples de réactions (en une ou deux étapes) réalisées au laboratoire : synthèse des alcènes et alcynes par réactions d'ylures (sujet 17).

ainsi qu'une partie « Études réalisées : résultats et discussion » et une « Partie expérimentale » au sortir des séances au laboratoire. Cet exercice nécessite rigueur rédactionnelle et esprit de synthèse. Il correspond, dans la plupart des cas, au premier rapport scientifique de leurs études. Les recherches bibliographiques et la rédaction du rapport s'effectuent par groupe ; les séances en laboratoire sont réalisées en binômes ou trinômes.

Les étudiants sont ainsi initiés à la tâche de chercheur, et plus globalement à celle d'ingénieur (recherche bibliographique, travail en équipe, gestion de projet...). De plus, sur un plan pratique, ils doivent développer une certaine autonomie au laboratoire. En effet, contrairement aux travaux pratiques traditionnels, chaque binôme réalise des réactions différentes (voir exemples *figure 1*).

Déroulement global des projets

Au vue des difficultés rencontrées par les étudiants des années précédentes (notamment lors de la rédaction de la partie bibliographique du rapport, où ils ne se sentaient pas assez guidés), et grâce à une formation sur le « management de projet », nous avons quelque peu modifié notre approche pédagogique du projet en donnant un cahier des charges précis (*tableau 1*). Par ailleurs, chaque groupe d'étudiants est suivi par un tuteur, enseignant de l'école, qui corrige les

Tableau I - Cahier des charges distribué au début des projets.		
Date	Séances & « délivrables »	Référence
21/01/10	Protocoles en français	Voir TP 1 ^{er} semestre et page 3
21/01/10	Planification et allocation des tâches	Voir cours C. Ségaud
01/02 au 12/02	Séances de bibliographie « projet »	Voir TP de bibliographie
12/02/10	Plan détaillé du rapport	Voir guide rédaction
25/02 au 22/03	Séances au laboratoire	Voir consignes page 7-8
23/03 au 29/04	Rencontres tuteurs	
30/04/10	Rapport et poster A4 (séparément et en deux exemplaires) (+ tous les spectres originaux séparément du rapport, propres et sans annotations, notez au dos le produit et votre n° de groupe)	Voir guide rédaction et pages 3 à 5
12/05/10	Soutenance des posters/société GSK (en anglais)	

protocoles, les conseille lors de l'élaboration du plan du rapport et les suit au cours de la rédaction. Un « étudiant-animateur », désigné par le groupe, se doit d'assurer le lien avec le tuteur. Les projets se déroulent en quatre étapes principales.

Étude des protocoles

Pour chaque sujet, des réactions de la littérature sont choisies par les enseignants de manière à illustrer un point de l'étude bibliographique. Le groupe se divise en binômes ou trinômes pour la partie pratique. Chaque sous-groupe a deux synthèses à réaliser. Pour chaque expérience, la référence bibliographique et la charge en réactif initial sont données. Les étudiants doivent donc transcrire l'ensemble des opérations selon cette charge. Le protocole de la littérature doit être transcrit et analysé (notamment du point de vue de la **sécurité** des réactifs, des réactions et du matériel) afin d'être réalisable dans le laboratoire d'enseignement selon nos procédures et à l'échelle demandée. Les caractéristiques et données analytiques (T_{fusion} , $T_{\text{ébullition}}$, n_D^T , IR et RMN) des produits et des réactifs doivent aussi être recherchés. Ce travail (déjà réalisé au 1^{er} semestre) doit être effectué par le groupe avant les séances de bibliographie « projet ». Un protocole détaillé (incluant toutes les charges, les schémas de montages envisagés, la méthode envisagée pour suivre la réaction) et la planification sur les quatre séances de 4 h prévues au laboratoire doivent être rendus au tuteur pour accord avant toute manipulation au laboratoire. En effet, les étudiants doivent déterminer les arrêts possibles dans le protocole sans dégrader les produits. Le protocole doit inclure une section sur la sécurité inhérente aux réactifs, mais également aux produits de réaction. Aucune manipulation au laboratoire n'est autorisée si le protocole n'est pas validé par le tuteur.

Étude bibliographique

(deux séances de 4 h à la bibliothèque)

À la fin du 1^{er} semestre, les étudiants ont suivi des séances de TP d'initiation générale en bibliographie afin d'apprendre à chercher des informations précises dans les ouvrages généraux de la bibliothèque et à utiliser des logiciels de recherche et des bases de données telles que Beilstein® ou SciFinder®.

Pour le projet, deux séances de 4 h sont réservées au travail en bibliothèque : en présence de quatre enseignants, les étudiants recherchent les données scientifiques nécessaires à leur sujet. Pour chaque sujet, ils doivent discuter de l'ensemble des aspects théoriques, à partir de la littérature : mécanismes, réactivité et sélectivités (chimio-, régio- ou stéréo-). Lorsque plusieurs techniques existent, une discussion peut être faite sur leurs avantages et leurs inconvénients relatifs. Les références se doivent d'être majoritairement des publications ou éventuellement des ouvrages généraux.

Cette recherche bibliographique constitue la première partie du rapport. Il s'agit d'une sorte de « cours » sur les réactions étudiées. Les explications mécanistiques doivent être complètes et systématiquement étayées de références pertinentes. Les étudiants doivent donc lister l'ensemble des

réactions devant être décrit dans leur sujet. Le plus difficile pour eux est de structurer la partie bibliographique pour rédiger un cours clair et complet. Les enseignants présents les guident dans leurs choix. Des exemples de plans détaillés réalisés par des étudiants sont donnés dans l'*annexe 1**. Le plan global du rapport final est basé sur le document fourni « Guide pour la rédaction de rapports scientifiques » (*annexe 2**).

La partie bibliographique (donc la note du rapport) est commune à tout le groupe. À l'issue de ces deux séances, le groupe établit un plan détaillé de la partie bibliographique et le soumet au tuteur.

Réalisation pratique au laboratoire (quatre séances de 4 h)

Les réactions sont menées en binômes ou trinômes qui réalisent chacun une synthèse différente, sous l'œil de six encadrants, chercheurs ou enseignants-chercheurs, pour une cinquantaine d'étudiants. Cet exercice effraie généralement les étudiants car ils ne peuvent pas s'appuyer sur leurs voisins. Par ailleurs, ils doivent travailler avec leur propre transcription du protocole et ont alors un regard plus « critique » sur les différentes opérations car ils ont peur de s'être trompés. Ils n'opèrent plus, comme dans les TP traditionnels, en suivant aveuglément une « recette toute prête ».

Des étudiants ont été désespérés de voir que certains encadrants leur donnaient des conseils différents de ce qu'ils avaient l'habitude d'entendre (tout le monde sait que chaque chercheur a sa propre méthode de préparation d'une colonne de chromatographie flash sans que cela n'ait d'incidence sur le résultat, mais les étudiants ont des difficultés à l'admettre...). Après discussion avec les encadrants, ceci permet aux étudiants de relativiser l'aspect « procédure » des différentes opérations et d'en extraire le principe essentiel.

Ces projets permettent aux étudiants de se familiariser avec de nouvelles techniques de synthèse (synthèse sous atmosphère inerte, distillation sous vide avec une pompe à palettes, réactions à froid (-78 °C)...) et d'analyses (RMN ¹H et ¹³C) et de revoir les techniques apprises au 1^{er} semestre (recristallisation, distillation, chromatographie flash, IR, n_D^T, CCM...).

À l'issue de ces séances, les bilans, les rendements et les analyses effectuées donnent aux étudiants l'opportunité d'apprendre à rédiger une section « Études réalisées : résultats et discussion » ainsi qu'une section expérimentale.

Présentation des posters

Chaque groupe présente son poster en anglais devant des industriels de la société GSK venus spécialement les écouter (*figure 2*). C'est un exercice que les étudiants appréhendent particulièrement mais sont finalement heureux de réaliser (voir statistiques en *annexe 6**). En effet, pour un étudiant, être félicité par un chercheur de l'industrie n'a probablement pas la même saveur que de l'être par un enseignant de l'école.

Jusqu'à l'année passée (2008-2009), chaque groupe présentait un sujet différent (24 sujets en tout). Mais pour des raisons de sécurité nous avons décidé de n'en proposer plus que huit (*annexe 3**), chaque sujet étant étudié par trois groupes différents. Ceci permet également une mise en compétition des groupes les uns envers les autres, et peut-être de pousser les étudiants à se dépasser.

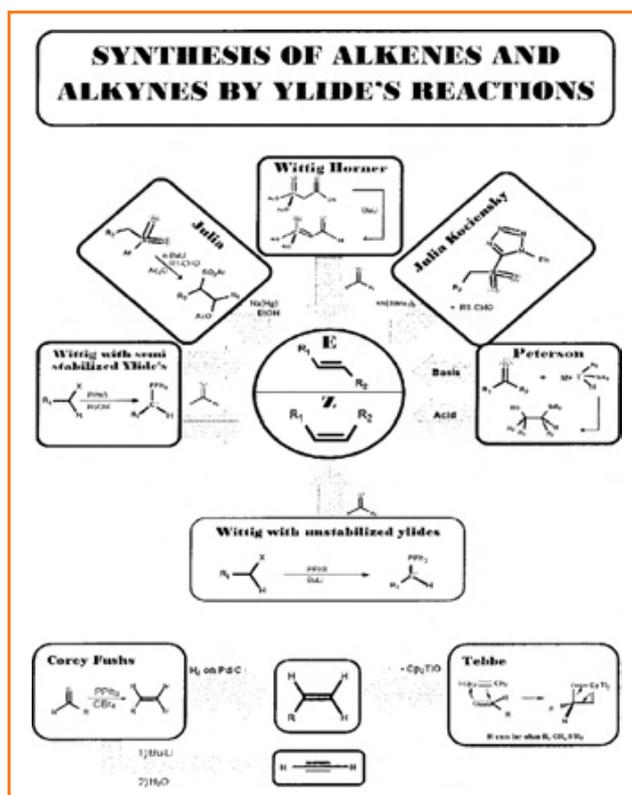


Figure 2 - Exemple de poster présenté par les étudiants.

À l'issue de la présentation, les différents posters sont compilés en un fascicule distribué aux étudiants, afin que ces derniers aient un aperçu du travail de leurs collègues. Par ailleurs, ce fascicule constitue un joli résumé du cours de chimie organique d'année 3 à CPE Lyon.

Méthode de notation

La question de la notation du travail de groupe est toujours épineuse : la note du rapport est commune à l'ensemble du groupe mais si des problèmes, des conflits au sein du groupe nous sont révélés, faut-il noter différemment les étudiants ? Afin de répondre en partie à ce problème, nous avons décidé d'inclure une note « méthodologie de projet » correspondant à 10 % de la note finale de chaque étudiant, qui inclut une évaluation de :

- la participation de chacun lors des recherches bibliographiques (note personnelle évaluée à la bibliothèque),
- l'implication de chacun dans le travail du groupe et son organisation (note personnelle évaluée lors des rencontres étudiants/tuteurs),
- la participation de chacun à la présentation du poster (note personnelle),
- qualité des « délivrables » et respect des délais (note collective).

De plus, afin de pousser les étudiants à prendre du recul par rapport au travail réalisé, nous avons mis au point un questionnaire leur demandant d'évaluer le fonctionnement de leur groupe, comprenant le règlement des éventuels conflits (*annexe 4**).

Ainsi, la notation globale du projet de chimie organique se découpe selon le barème suivant : 10 % note QCM du TP de bibliographie (personnel), 50 % rapport écrit (travail collectif), 10 % de méthodologie projet (collectif et

personnel), 20 % note de travail au laboratoire (personnel), 10 % poster (travail collectif).

Restitution des projets

Afin de connaître les sentiments des étudiants vis-à-vis de ces projets, des fiches d'évaluation (*annexe 5**) leur sont distribuées à l'issue de la présentation des posters. Sur les deux dernières années (*annexe 6**), le taux de satisfaction est bon. Un effort a été mené sur la définition des objectifs et semble mieux convenir aux attentes des étudiants. Globalement, le but pédagogique a été atteint avec un taux important d'étudiants confirmant un gain d'autonomie et de compréhension. En ce qui concerne le niveau de difficulté et la densité du projet, les avis sont plus dispersés, ce qui est probablement le reflet de la diversité d'origine des étudiants.

Conclusion

L'enseignement à CPE Lyon cherche le plus tôt possible à faire passer les étudiants d'un système d'apprentissage purement scolaire à un système plus « professionnalisant ». Une difficulté majeure pour les étudiants est le cloisonnement artificiel des domaines alors que le métier d'ingénieur chimiste nécessite continuellement un travail interdisciplinaire. C'est avec cet objectif que dès la première année d'école, nous avons choisi d'intégrer un projet pluridisciplinaire. Ainsi, les étudiants font une première approche de la formation à la recherche et du métier

d'ingénieur. Ce projet touche à la fois des aspects scientifiques (chimie organique, chimie analytique, sécurité, dimensionnement, analyse de résultats en comparaison avec la théorie) et des compétences transversales telles que le travail en groupe, la communication, la gestion de projet et la rédaction d'un rapport (*annexe 7**). De plus, les étudiants sont amenés à présenter leur projet sous forme de poster en anglais à des industriels. Ce dernier volet leur permet de découvrir un nouvel outil de communication et de mieux comprendre la nécessité d'un niveau correct d'anglais dans leur futur métier. L'implication d'industriels dans l'évaluation de leur travail permet aux étudiants de mieux voir l'adéquation entre la formation suivie à CPE et leurs futurs besoins en termes de compétences pour la vie active.

* Annexes téléchargeables librement en format pdf sur www.lactualitechimique.org, via la page liée à l'article.



C. Gozzi

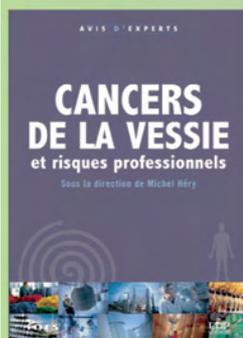
Christel Gozzi et Claire Marchal sont enseignantes-chercheurs à CPE Lyon*.

* CPE Lyon, 43 bd du 11 Novembre 1918, BP 82077, F-69616 Villeurbanne Cedex.
Courriels : gozzi@cpe.fr, claire.marchal@cpe.fr



C. Marchal

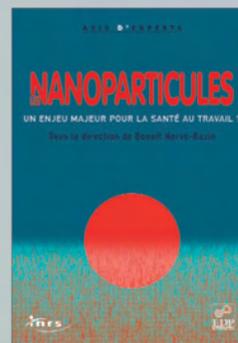
Avis d'experts, une collection de l'Institut National de Recherche et de Sécurité



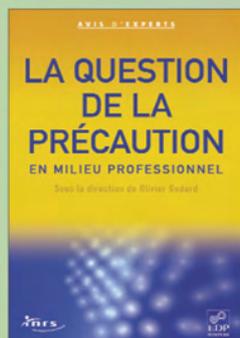
ISBN : 978-2-7598-0445-0
348 pages - 42 €



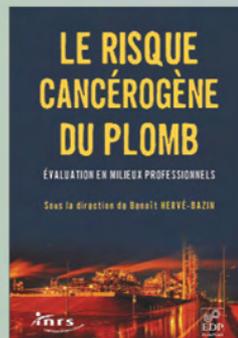
ISBN : 978-2-7598-0096-4
378 pages - 49 €



ISBN : 978-2-86883-995-4
704 pages - 54 €



ISBN : 2-86883-911-8
256 pages - 32 €



ISBN : 2-86883-703-4
360 pages - 42 €



ISBN : 978-2-7598-0073-5
314 pages - 39 €

Commandez sur www.edpsciences.org

Formation aux bonnes pratiques de laboratoire

Patrick Leghié

Résumé

Dans un contexte où les cadres sont de plus en plus soumis à la pression de leur responsabilité envers leurs salariés, l'École des Hautes Études d'Ingénieur de Lille (HEI) a décidé de mettre en place, sur ses cinq ans d'études, un programme d'enseignement pour sensibiliser et former les étudiants aux règles élémentaires de sécurité au travail. Dès le début de la première année, les étudiants doivent réussir les évaluations de deux formations afin de pouvoir prétendre à continuer normalement leurs études : l'habilitation électrique et la formation aux bonnes pratiques de laboratoire (encore appelée habilitation aux risques chimiques). Si la première est très courante en entreprise, la seconde l'est nettement moins, même si sous l'impulsion de représentants de l'Union des Industries Chimiques, ce type de formation se développe dans certaines régions. Pourtant, les produits chimiques, dont certains présentent des risques bien spécifiques, sont présents dans de nombreux secteurs d'activité. De plus, les matériels utilisés dans les laboratoires de TP de chimie, pouvant présenter des risques particuliers, rendent nécessaire la formation des étudiants. Les outils mis en place sont simples, complets, attrayants et transposables à d'autres établissements d'enseignement.

Mots-clés

Risques chimiques, formation, évaluation, sécurité, laboratoire de chimie, MIEC-JIREC 2009.

Abstract

Training to safe laboratory practices

Within a context in which company's executives are more and more submitted to the pressure of their employees, the "École des Hautes Études d'Ingénieur", an engineering school located in Lille (France), has decided to set up, over its five year syllabus, a teaching program in order to make the students aware of safety and to train them to the elementary rules at work. Consequently, from their first year on, the students have to pass assessments in two fields in order to be allowed to carry on with their curriculum: the electrical accreditation and the training to safe laboratories practices (also called chemical hazard accreditation). If the former is quite common in most industries, the latter is more unusual, even if, owing to members of the "Union des Industries Chimiques" (France), this kind of qualification exists in some regions. Though chemical substances – some with very specific hazards – are present in many fields of activity. Chemical hazards specific to teaching labs makes the training to safety compulsory for students. The programs set up are simple, thorough, attractive and easily transferred to other educational structures.

Keywords

Chemical hazard, formation, assessment, safety, chemistry labs, MIEC-JIREC 2009.

L'École des Hautes Études d'Ingénieur (HEI)

HEI est une école privée d'ingénieurs située à Lille. L'essentiel de son recrutement se fait à l'issue du baccalauréat, chaque promotion comptant environ 350 étudiants. C'est donc une école avec des classes préparatoires intégrées, qui forme des ingénieurs généralistes en proposant des cursus assez particuliers.

Tout d'abord, le cycle préparatoire (appelé HEI1 et HEI2) suit le programme officiel de l'Éducation nationale avec trois filières : MP, PC et PSI. La première année du cycle ingénieur (HEI3) complète la formation générale et initie le projet professionnel. Les deux dernières années (HEI4 et HEI5) offrent ensuite la possibilité aux étudiants d'ouvrir leur esprit dans l'un des dix domaines proposés par l'école : banque, finance et assurance ; bâtiment, aménagement, architecture ; bâtiment et travaux publics ; chimie ; conception mécanique ; énergies, systèmes électriques et automatisés ; informatique et technologies de l'information ; ingénierie médicale et santé ; organisation et management des entreprises ; technologies, innovation et management international textiles. Associés aux matières de tronc commun, ces domaines forment le cycle de professionnalisation.

Durant le cycle ingénieur, les étudiants suivent environ 1 400 heures de cours de tronc commun apportant une formation généraliste, et 400 heures orientées plus spécifiquement vers leur projet professionnel.

Contexte de l'élaboration des outils de formation

C'est dans ce contexte d'hétérogénéité, filières MP, PC ou PSI en classes préparatoires puis de « spécialisation » en cycle ingénieur – un étudiant en BTP ou en conception mécanique n'aura pas la même approche de la chimie qu'un étudiant en chimie ou en textile –, qu'est née la « formation aux bonnes pratiques de laboratoire ». En effet, d'où qu'il vienne et où qu'il aille, chaque étudiant entrant en HEI est amené à passer un certain nombre d'heures en salle de TP de chimie. De ce fait, il sera confronté à la manipulation de produits chimiques, à la réalisation de montages expérimentaux, voire à l'utilisation d'appareils plus ou moins sophistiqués.

Ajoutons à ceci que les problématiques QSE (qualité, sécurité, environnement) sont abordées dès la HEI1 et développées tout au long des cinq années. En 2004, l'école a mis en place une formation à « l'habilitation électrique »

permettant aux étudiants de réaliser des travaux au sein de l'école et à l'extérieur.

Nous sommes partis de cette démarche pour construire les différents outils de notre « formation aux bonnes pratiques de laboratoire ». Comme toute formation de ce type, elle est sanctionnée par une évaluation notée qui intervient dans la moyenne de l'étudiant, et qui lui ouvre (ou non) les portes des laboratoires de chimie afin d'y réaliser ses travaux pratiques (voir le chapitre « Droits et devoirs des étudiants »).

Du fait de leur parcours scolaire, les besoins des étudiants seront différents. Nous avons rapidement constaté qu'il fallait deux niveaux de formation :

- le niveau 1, généraliste, s'adressant à tous les étudiants de HEI1 et à ceux rejoignant l'école en HEI3 à l'issue de leur BTS, DUT, ou suite à une CPGE ;
- le niveau 2, plus spécifique, s'adressant aux étudiants HEI4 du domaine chimie.

Autre paramètre important, nous voulions que ces outils soient exploitables par d'autres établissements, ce qui impliquait d'être neutre dans la formation et l'évaluation.

Niveau 1 : présentation des outils

La mise en place de ces outils a nécessité trois groupes de travail d'étudiants [1-3], à divers degrés d'évolution du projet ; l'apport des étudiants a été vital dans leur réalisation car en tant qu'acteurs (ils avaient fait les différents TP de chimie), leur expérience sur les points importants à aborder était précieuse. Les outils mis en place sont :

L'outil de formation

C'est un document PowerPoint® et la formation dure presque 2 h. Il est composé de quatre thèmes introduits par une justification de cette formation. Les thèmes retenus sont :

- **Thème 1 – Caractéristiques d'un produit chimique.** Il évoque ce qui permet de caractériser le danger d'un produit chimique : pictogrammes de sécurité, phrases de risques et de sécurité (phrases R et S), fiches toxicologiques et fiches de données de sécurité (FDS).
- **Thème 2 – Le matériel et verrerie classique de laboratoire.** Il traite de la bonne utilisation (en termes de sécurité) d'une pipette, d'une burette, d'un poste de filtration sur entonnoir de Buchner, d'une ampoule à décanter, d'un bec électrique chauffant, du chauffage d'un tube à essai, d'un banc Kofler, de la réalisation d'une CCM (chromatographie sur couche mince), d'un montage à reflux et de la manipulation sous hotte. Toutes ces opérations sont abordées grâce à des montages photos ou des films commentés, réalisés par les étudiants. Naturellement, elles se concrétisent par un « résumé » (figure 1).
- **Thème 3 – Les bonnes pratiques de laboratoire :** de l'entrée à la sortie de la salle de TP, en passant par la bonne utilisation du vestiaire, du port des EPI (équipements de protection individuelle) adéquats et en état.
- **Thème 4 – Les produits chimiques :** une présentation des produits chimiques les plus utilisés (nom, formule, dangers : association au thème 1), les bons réflexes à avoir en cas d'accident et les moyens d'intervention (extincteur, douche oculaire et corporelle...).

L'outil d'évaluation

C'est un outil multiple composé d'une banque de données de questions, d'un générateur d'énoncés et d'un système correcteur. Pour les deux premiers éléments, nous utilisons

le logiciel « Questions/Réponses® » créé par la société Atlence® et téléchargeable gratuitement sur leur site [4]. Ce logiciel permet une évaluation informatique (nécessitant que chaque étudiant utilise un PC) ou manuscrite et peut générer différents types d'énoncés (QCM, interrogation classique...). Du fait du grand nombre d'étudiants à évaluer, nous avons choisi le QCM évalué par écrit. Pour le QCM proposé, chaque affirmation/question est accompagnée de trois possibilités de réponse. Les étudiants cochent alors sur la feuille la réponse qu'ils pensent être juste pour chaque affirmation/question. Nous avons opté pour un QCM de 60 questions (15 questions par thème), noté + 1, 0, - 0,5 si la réponse à la question/affirmation est bonne, absente ou fautive (respectivement) et nous considérons que la note minimale de ce QCM doit être de 14/20. La correction est ensuite effectuée par un système de lecture optique avec saisie informatique du résultat. De ce fait, nous sommes capables d'obtenir des éléments statistiques quant à la réussite globale de l'évaluation, la réussite par type de formation. L'échec à des questions bien précises montre que certains points de la formation nécessitent d'être revus ultérieurement en séance de TP. Comme précisé précédemment, la note obtenue par l'étudiant compte dans sa moyenne et lui ouvre les portes des laboratoires de chimie.

L'outil d'apprentissage

Ce document de 142 pages, que nous avons appelé « Livret d'accompagnement », est destiné aux enseignants. Il est indispensable car vu le nombre d'étudiants, ce sont les enseignants de chimie en HEI1 qui sont chargés de la formation. Il faut qu'ils sachent sur quels points insister et qu'ils connaissent parfaitement le langage « sécurité », tel que la différence entre danger et risque par exemple. Le livret d'accompagnement est composé de cinq parties :

- Une partie dite « réglementaire » replace le contexte juridique ainsi que la responsabilité de l'enseignant lorsqu'il enseigne dans une salle de TP (Code civil et règlement intérieur de l'école).
- Les deuxième et troisième parties plus axées sur les aspects sécurité et conseils : pourquoi les laboratoires de TP de chimie sont-ils particulièrement à risques ? ; historique des accidents survenus dans l'école ; conduites à tenir en cas d'accident ; moyens d'intervention.

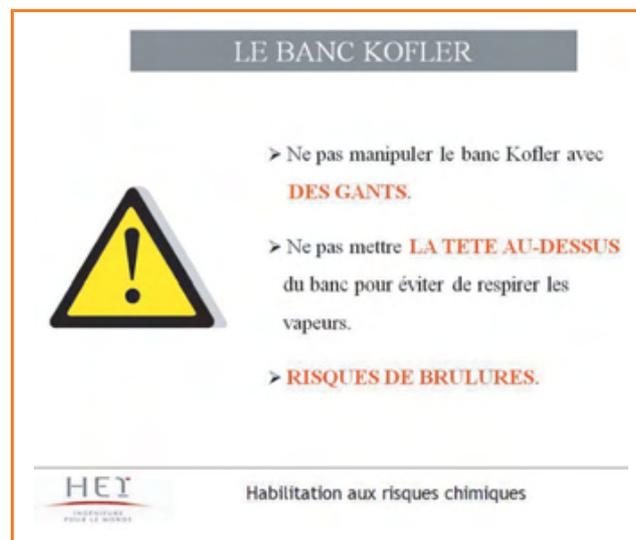


Figure 1 - Diapositive récapitulant les risques liés à l'utilisation d'un banc Kofler.

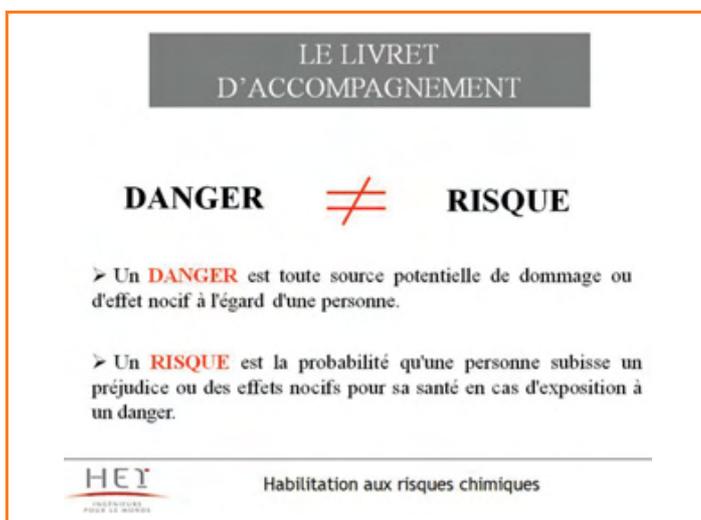


Figure 2 - Diapositive traitant de la différence entre danger et risque telle qu'elle est présentée aux étudiants lors de la formation.



Figure 3 - Commentaires associés à la diapositive présentée aux étudiants (figure 2).

On y trouve les définitions (en caractères normaux) que les étudiants doivent retenir. Ces définitions sont accompagnées d'exemples (en italique) permettant à l'enseignant d'approfondir ces notions s'il le souhaite.

- Une quatrième partie relative à la formation des étudiants. Chaque diapositive de l'outil de formation est reprise et des commentaires y sont ajoutés. Selon la « priorité » du message à faire passer auprès des étudiants, les commentaires sont écrits normalement ou en italique (figures 2 et 3).
- Une dernière partie concernant l'évaluation de la formation. Tout comme la formation, les enseignants du cycle préparatoire doivent mettre en place cette évaluation. Nous leur expliquons comment fonctionne le logiciel permettant de générer les énoncés, et quels sont les critères de réussite de cette évaluation.

Résultats

Pour l'année scolaire 2007-2008 (première mise en place de cette formation), les sept classes représentant 362 étudiants – 159 PC, 96 PSI, 107 MP – ont été « testées ». Lors du premier test, 300 étudiants – 139 PC, 77 PSI, 84 MP – ont réussi, soit 82,9 % de la promotion. Lors du

deuxième test (deux semaines plus tard), 57 autres étudiants – 17 PC, 19 PSI, 21 MP – ont réussi, soit 15,7 % de la promotion. Un troisième test a été nécessaire pour que les cinq derniers étudiants réussissent. Globalement, nous pouvons dire que la formation est à la portée de chacun puisque les PC ne semblent pas être avantagés.

Pour l'année scolaire 2008-2009, l'ensemble des sept classes a validé la formation à l'issue du premier test. Pour 2009-2010, le test vient juste d'avoir lieu et tous les étudiants ont obtenu des notes supérieures à 14.

Niveau 2 : présentation du contexte et des outils

Cette formation est destinée aux étudiants de deuxième année du cycle ingénieur du domaine chimie. Elle fait suite à la formation niveau 1 destinée aux étudiants de première année.

Cette année scolaire 2009-2010, qui correspond à la première mise en place de ce niveau 2, est exceptionnelle car les étudiants de HEI4 domaine chimie avaient suivi la formation niveau 1 en 2008-2009 mais n'avaient pas été évalués.

Le niveau 2 s'adresse à un public averti car les étudiants ont non seulement suivi la première formation mais ont également eu des séances de TP en classes préparatoires et en première année de cycle ingénieur.

La formation devient plus exigeante car dans le domaine chimie, une plus grande autonomie est laissée aux étudiants lors des séances de TP. Ils sont en effet amenés à réaliser eux-mêmes leurs montages et peuvent rencontrer des conditions opératoires particulières (hautes températures, gaz inerte, gaz sous pression...). Ils peuvent se retrouver dans ces situations lorsqu'ils seront en projet.

Cette formation a donc pour principaux objectifs :

- d'informer les étudiants sur les pratiques de laboratoires qu'ils ne connaissent pas ou qu'ils maîtrisent mal ;
- d'inciter les étudiants à être attentifs en laboratoire pour leur sécurité mais aussi pour celle des autres : en tant que futurs cadres, ils se doivent de recadrer les étudiants pouvant être dangereux pour eux-mêmes et pour les autres ;
- d'instaurer des bonnes pratiques de laboratoire lors des manipulations mais aussi lors des situations dégradées (épandage, incendie...);
- de renforcer ainsi les actions de sensibilisation des étudiants à la notion de risques.

Un seul enseignant suffisant à dispenser la formation aux étudiants ; les outils mis en place sont :

L'outil de formation

C'est également un document PowerPoint® et la formation dure une heure et demie. On y aborde les aspects liés :

- aux phénomènes de pression/dépression : quand peuvent-ils survenir ? Montage et rôle des flacons de garde ;
- aux montages particuliers : distillation sous vide, entraînement à la vapeur... ;
- aux produits chimiques : manipulation de bouteilles de gaz, « CMR » (cancérogènes, mutagènes et reprotoxiques) ; que faire en cas d'incendie, d'épandage ?... ;
- aux risques spécifiques du chauffage : taux de remplissage d'un ballon, condition de chauffage... ;

L'outil d'évaluation

L'évaluation se déroule en deux parties : un QCM et des « mises en situation ».



Figure 4 - Une des mises en situation présentée lors du premier test.

On distingue différentes erreurs : l'opérateur a sa blouse ouverte, ses manches sont relevées, il ne porte pas de lunettes de protection, le flacon est laissé ouvert, le montage au premier plan présente un ballon trop rempli, l'élevateur est baissé, pas d'élevateur sous l'erlen, un chiffon se trouve près de la partie chauffante, un stylo traîne sur la paillasse...

Le QCM est basé sur le même principe que pour le niveau 1 : banque de données, logiciel Questions/Réponses®. Il comprend 60 questions, notation + 1, 0, - 0,5, et porte sur les aspects évoqués dans la formation « niveau 2 », mais reprend également certains points évoqués lors de la formation « niveau 1 ».

Les mises en situation sont réalisées à partir de photos où l'on voit des étudiants en train de manipuler. Deux photos sont présentées aux étudiants évalués, qui doivent retrouver les erreurs et les situations à risque : tenue vestimentaire, comportement, montages réalisés, manipulations effectuées... (figure 4). Le nombre d'erreurs et de situations à risque à trouver est défini et la notation est moins agressive : 0 si l'erreur n'est pas trouvée ou erronée (traduisant une mauvaise interprétation) et + 1 si elle est corrigée. Une note globale de 14/20 est demandée. La note minimale de 10/20 est exigée pour le QCM et les mises en situation.

Résultats

Pour cette année scolaire 2009-2010, les 19 étudiants HEI4 domaine chimie ont été formés et évalués ; 14 ont réussi dès le premier test. Pour les cinq autres, deux ont « raté » leur QCM et trois n'ont pas correctement identifié les erreurs et les situations à risque des mises en situation. Ils ont tous réussi le deuxième test.

Remarque : cette formation fait partie d'un ensemble d'outils développés par un binôme d'étudiants dans le cadre

de leur travail de fin d'étude [5]. Un site Internet, intitulé « S et KOH » (en français, soufre et potasse : deux conditions « nécessaires » à l'étude de la chimie), a été créé dans l'objectif d'aider les étudiants à préparer leurs TP [6]. Les étudiants y trouvent toutes sortes de renseignements, y compris les aspects sécurité. On y retrouve les deux PowerPoint® de formation et des exemples de QCM ou de mises en situation.

Les droits et devoirs des étudiants et des enseignants

Les étudiants et les enseignants ont droit à l'information et à la formation : les documents sont présents sur l'intranet de l'école.

Les étudiants ont le devoir de réussir les tests pour accéder aux salles de TP de chimie. À défaut, ils sont considérés comme absents et notés 0/20 aux séances manquantes. Ils ont aussi le devoir de mettre en application ce qu'ils apprennent à chaque séance de TP.

Les enseignants ont le devoir de continuer à former les étudiants à la sécurité. Ce n'est pas parce que les tests sont réussis que les étudiants sont les « dieux » de la sécurité ou de la manipulation. La formation et les tests sont des éléments de base pour construire un édifice « sécurité ». La solidité de cet édifice ne dépend pas que de la motivation des étudiants, elle est directement liée à celle des enseignants.

Références

- [1] Baux N., Guérin V., Hilal M., Loens A., Nowackyk R., Seingier A., They G., Projet PISTE HEI3 Tronc commun, **2005-2006**.
- [2] Dernaucourt J., Fournier V., Projet de fin d'année HEI4 Chimie, **2005-2006**.
- [3] Fichau A., Oger S., Travail de fin d'étude HEI5 Chimie, **2006-2007**.
- [4] www.atlence.com
- [5] Cabel M., Fontaine E, Travail de fin d'étude HEI5 Chimie, **2008-2009**.
- [6] <http://skoh.hei.fr>

Les références [1-3 et 5] sont disponibles sur simple demande auprès de l'auteur.



Patrick Leghié

est enseignant à l'École des Hautes Études d'Ingénieur, Lille*.

* École des Hautes Études d'Ingénieur, 13 rue de Toul, F-59046 Lille Cedex.
Courriel : patrick.leghie@hei.fr

Connaissez-vous bien le site de l'AC ?

www.lactualitechimique.org

Alors vite, à votre souris !

Le nouveau système de classification et d'étiquetage des produits chimiques

Annabel Maison

Résumé Le SGH ou Système Général Harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques a été élaboré en 2003 au niveau international. Voué à devenir le système unique à l'échelle mondiale, il a pour but d'harmoniser les différents systèmes existants. Dans les secteurs du travail et de la consommation, c'est par le biais d'un règlement, dit règlement CLP, entré en vigueur le 20 janvier 2009, que ces recommandations internationales sont mises progressivement en application en Europe. L'apparition de nouvelles étiquettes vient bousculer les repères des entreprises du monde de la chimie ou simples utilisatrices. Afin de préparer ces entreprises et l'ensemble des acteurs de la prévention à ces évolutions, l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) a lancé une campagne d'information et met à leur disposition de nombreux outils complémentaires.

Mots-clés Produits chimiques, étiquetage, SGH, CLP, dangers, MIEC-JIREC 2009.

Abstract **The new system of classification and labelling of chemicals**
The Globally Harmonised System of classification and labelling of chemicals (GHS) was established in 2003 at international level. Designed to become the universal system used worldwide, it aims to harmonise the various existing systems. The international GHS recommendations are being progressively implemented at the workplace and for consumers in Europe through the "CLP" regulation entered into force on 20th January 2009. The emergence of new labels is disorientating both for the chemical industry and for users. To prepare the companies concerned and all of the stakeholders in occupational health and safety for these developments, the French Research and Safety Institute for the prevention of occupational accidents and diseases (INRS) has launched an information campaign and is putting a wide range of tools at their disposal.

Keywords Chemicals, labelling, GHS, CLP, hazards, MIEC-JIREC 2009.

Au niveau international : le SGH

Le SGH ou Système Général Harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques est constitué d'un ensemble de recommandations élaborées au niveau international. Elles décrivent pour les secteurs du transport, du travail, de la consommation et pour les services d'intervention d'urgence :

- des critères de classification harmonisés qui permettent d'identifier les dangers des produits chimiques ;
- des éléments de communication harmonisés sur ces dangers, c'est-à-dire les informations qui devraient apparaître sur l'étiquette et sur la fiche de données de sécurité.

Plusieurs constats sont à l'origine de la création de ce système : l'existence de systèmes de communication sur les dangers différents à travers le monde, l'absence de système dans d'autres pays... Il est ainsi apparu nécessaire d'harmoniser les systèmes existants afin de créer un système unique à l'échelle mondiale couvrant la classification et l'étiquetage des produits chimiques ainsi que les fiches de données de sécurité afférentes.

L'élaboration de ces recommandations a été confiée à des organismes internationaux, principalement l'OIT (Organisation Internationale du Travail), l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Économiques) et le Sous-Comité d'experts du transport des marchandises dangereuses du Conseil économique et social des Nations unies. Comme le concept le préconisait, ces instances ont travaillé à partir des principaux systèmes de classification et

d'étiquetage existants : règlements des États-Unis et canadiens applicables aux lieux de travail, aux consommateurs et aux pesticides, directives européennes relatives à la classification et à l'étiquetage des substances et préparations dangereuses, recommandations des Nations unies relatives au transport des marchandises dangereuses.

Ces travaux ont abouti à une première version du SGH, formellement adoptée par le Conseil économique et social des Nations unies en 2003. Depuis lors, ces recommandations sont révisées tous les deux ans et la troisième édition a été publiée en juillet 2009.

Le concept d'approche modulaire intégré dans ce système international permet aux pays qui l'adoptent de choisir les modules qu'ils souhaitent mettre en application.

En Europe : le règlement CLP

L'Europe a décidé de participer à cet effort d'harmonisation internationale en matière de classification et d'étiquetage des produits chimiques. Dans les secteurs du travail et de la consommation, c'est par le biais du règlement (CE) n° 1272/2008 du 16 décembre 2008 [1], dit règlement CLP (pour « Classification, Labelling and Packaging ») que les recommandations SGH vont être progressivement mises en application.

Ce qui change !

Le règlement CLP a repris une grande partie des recommandations du SGH. Aussi, de nombreuses

différences sont à noter entre le système européen préexistant et ce nouveau texte en matière de terminologie, de définition des dangers, de critères de classification et d'étiquetage.

Terminologie

Certains termes du système européen préexistant sont conservés mais d'autres changent. Le terme de « substance » est conservé, mais celui de « préparation » est remplacé par « mélange ».

Par ailleurs, « catégorie de danger » est remplacé par « classe de danger ». Une classe de danger définit la nature du danger, qu'il s'agisse d'un danger physique, d'un danger pour la santé ou pour l'environnement – par exemple, liquides inflammables, cancérogénicité, dangers pour le milieu aquatique... Une classe de danger peut être divisée en catégories de danger qui permettent une comparaison du degré du danger au sein de cette classe.

Définition des dangers

Le système européen préexistant utilisé dans le cadre de la mise sur le marché et de l'utilisation des produits chimiques définit 15 catégories de danger. Le règlement CLP définit quant à lui 28 classes de danger : 16 classes de danger physique, 10 pour la santé, et 2 pour l'environnement.

Comme le permet le principe d'approche modulaire du SGH, certaines catégories de danger de ce système international n'ont pas été adoptées par l'Europe. Ainsi le règlement CLP n'a pas retenu la catégorie 4 de la classe de danger des liquides inflammables définie par le SGH, catégorie couvrant les produits chimiques de point d'éclair supérieur à 60 °C et inférieur ou égal à 93 °C.

Critères de classification

Les critères de classification, c'est-à-dire les règles qui permettent de définir l'appartenance d'un produit chimique à une classe de danger et à une catégorie de danger au sein de cette classe, varient dans certains cas entre le système préexistant et le nouveau système CLP.

Les critères de classification des dangers physiques sont basés sur des tests émanant des recommandations internationales relatives au transport des marchandises dangereuses. Par conséquent, selon les classes de danger, ces critères nouvellement définis sont plus ou moins différents de ceux utilisés dans le cadre du système préexistant dans le secteur du travail. Les nouveaux critères relatifs aux dangers pour la santé et pour l'environnement sont, quant à eux et d'une façon générale, basés sur les mêmes principes généraux que ceux de « l'ancien système ». Mais on note de nouvelles règles de classification pour les mélanges ainsi que des changements dans les seuils de classification. Ainsi, les seuils de classification basés sur les résultats d'essais expérimentaux définis pour le danger de toxicité aiguë évoluent : par exemple, en application du règlement CLP, les produits classés auparavant « nocif par ingestion » sur la base de résultats de tests expérimentaux se retrouvent classés soit en toxicité aiguë de catégorie 3 (et associés au pictogramme « tête de mort »), soit en toxicité aiguë de catégorie 4 (et associé au pictogramme « point d'exclamation »).

Étiquetage

L'étiquette du règlement CLP est différente de celle que l'on a l'habitude de trouver encore aujourd'hui sur les lieux de travail ou dans la grande consommation. Les informations



Affiche INRS présentant les « anciens » symboles et les nouveaux pictogrammes de danger. © INRS.

requises pour le nouvel étiquetage sont : l'identité du fournisseur, les identificateurs du produit, les pictogrammes de danger, la mention d'avertissement, les mentions de danger, les conseils de prudence, la section des informations supplémentaires, et la quantité nominale pour les produits mis à disposition du grand public (sauf si elle est précisée ailleurs sur l'emballage).

Identité du fournisseur

Le règlement CLP prévoit que les étiquettes des produits chimiques comportent le nom, l'adresse et le numéro de téléphone du ou des responsables de la mise sur le marché du produit.

Identificateurs du produit

Pour les substances, l'identificateur est un nom chimique et dans certains cas, un numéro d'identification.

Les étiquettes des mélanges doivent, quant à elles, comporter la dénomination ou le nom commercial du produit, ainsi que le nom chimique de certaines des substances entrant dans la composition du mélange et responsables d'une partie de la classification.

Pictogrammes de danger

Il y a neuf pictogrammes de danger prescrits par le règlement CLP. Ces carrés debout sur une pointe sont composés d'« un symbole en noir sur fond blanc dans un cadre rouge suffisamment épais pour être clairement visible. » Le règlement les associe à un code composé de la façon suivante : « SGH » + « 0 » + 1 chiffre.

Les symboles noirs sur un fond carré orange-jaune figurant sur les « anciennes » étiquettes des produits chimiques présents sur le lieu de travail vont donc progressivement être remplacés par ce type de pictogrammes.

Le règlement CLP définit le pictogramme associé à chaque catégorie de chaque classe de danger, mais certaines catégories de danger ne sont liées à aucun pictogramme. D'autre part, si certains symboles (la tête de mort par exemple) sont communs au système européen préexistant et au règlement CLP, ils ne sont pas forcément associés aux mêmes dangers et aux mêmes produits.

Les nouveaux pictogrammes peuvent représenter différents types de danger. De plus, il existe des règles de priorité entre pictogrammes afin de réduire leur nombre sur l'étiquette.

Autant de raisons pour ne pas se contenter de regarder ces « logos » et de lire l'étiquette dans son intégralité pour connaître d'une part les dangers liés à l'utilisation du produit chimique, et d'autre part comment bien le manipuler, le stocker et que faire en cas d'accident.

Mention d'avertissement

Il y a deux mentions d'avertissement indiquant le degré relatif d'un danger : « Danger » (pour les catégories de danger les plus sévères) et « Attention ». Certaines catégories de danger ne sont associées à aucune mention d'avertissement.

Mentions de danger

Une mention de danger « est une phrase qui, attribuée à une classe de danger et à une catégorie de danger, décrit la nature du danger que constitue [un produit chimique] et, lorsqu'il y a lieu, le degré de ce danger. » Un code alphanumérique unique constitué de la lettre « H » et de trois chiffres est affecté à chaque mention de danger.

Ces mentions de danger équivalent aux phrases de risque (phrases R) déjà utilisées dans le système européen préexistant. Citons par exemple H290 « Peut être corrosif pour les métaux » ou H350 « Peut provoquer le cancer ».

Conseils de prudence

Les conseils de prudence du règlement CLP sont, dans leur codification et dans leur libellé, différents de ceux déjà utilisés en Europe (phrases S), mais ils ont la même fonction. Ils informent des mesures recommandées pour réduire au minimum ou prévenir les effets néfastes découlant de l'exposition à un produit chimique. Il existe des conseils de prudence généraux, des conseils concernant la prévention, l'intervention, le stockage et l'élimination. Ils se voient attribuer un code alphanumérique unique constitué de la lettre « P » et de trois chiffres, par exemple P271 pour « Utiliser seulement en plein air ou dans un endroit bien ventilé » ou P338 pour « Enlever les lentilles de contact si la victime en porte et si elles peuvent être facilement enlevées. Continuer à rincer ».

Pour chaque catégorie de danger, le règlement CLP définit les éléments d'étiquetage qui doivent y être associés : pictogrammes de danger, mention d'avertissement, mentions de danger et conseils de prudence.

En règle générale, un maximum de six conseils de prudence peut figurer sur l'étiquette. Ils sont choisis parmi ceux qui sont associés aux catégories de danger du produit, en tenant compte de ses utilisations.

Informations supplémentaires

Dans la section des informations supplémentaires, on peut notamment trouver, le cas échéant :

- des informations additionnelles sur les dangers : il s'agit de mentions attribuées à des substances ou mélanges

dangereux présentant des propriétés physiques ou de danger pour la santé spécifiques. Ces mentions sont codifiées par « EUH » + « 0 » + 2 chiffres, par exemple EUH066 pour « L'exposition répétée peut provoquer dessèchement et gerçures de la peau ».

- des éléments d'étiquetage additionnels concernant certains mélanges contenant une substance dangereuse ; ces mentions sont codifiées par « EUH » + « 2 » + 2 chiffres, par exemple EUH204 pour « Contient des isocyanates. Peut produire une réaction allergique ». Des critères d'attribution sont associés à l'application de ces mentions spécifiques qui émanent directement du système européen préexistant.

- une mention spécifique pour les produits phytopharmaceutiques : EUH401 pour « Respectez les instructions d'utilisation afin d'éviter les risques pour la santé humaine et l'environnement ».

- les mentions d'avertissement, les mentions de danger et les conseils de prudence relatifs à la classe de danger « dangereux pour la couche d'ozone » : au moment de l'élaboration du règlement CLP, cette classe de danger n'avait pas encore été prise en compte dans le SGH ; elle est donc intégrée dans le règlement en tant que « classe supplémentaire pour l'Union européenne ».

Zoom sur l'annexe VI du règlement CLP

L'annexe VI du règlement CLP est constituée de la liste européenne des substances dangereuses pour lesquelles une classification et un étiquetage harmonisés ont été adoptés au niveau communautaire. Elle comprend plus précisément dans sa partie 3 deux tableaux :

- le tableau 3.1, qui intègre la liste des classifications et des étiquetages harmonisés fondés sur les critères du nouveau système du règlement CLP ;
- le tableau 3.2, comportant les mêmes informations que le tableau 3.1 mais établies selon le système préexistant.

Les classifications et les étiquetages figurant dans les tableaux de cette annexe sont obligatoirement applicables dans les 27 États membres et doivent être complétés si nécessaire par l'industriel. Il est important de souligner qu'il ne s'agit pas d'une liste exhaustive des substances dangereuses présentes sur le marché européen : ce n'est pas parce qu'une substance ne figure pas dans cette liste qu'elle n'est pas dangereuse, cela signifie simplement qu'elle n'a pas fait l'objet d'un travail d'harmonisation au niveau européen. La publication du règlement (CE) n° 790/2009 du 10 août 2009 [2], première adaptation au progrès technique et scientifique du règlement CLP, modifie cette liste. Dans le cadre d'une recherche de classification, il faut donc consulter ces deux textes.

Dates d'application

Le règlement CLP prévoit une période de transition au cours de laquelle le système européen préexistant (mis en application jusqu'alors) et le nouveau système de classification et d'étiquetage vont coexister (*tableau I*). Il définit deux principales dates butoirs d'application obligatoire du nouveau système : le 1^{er} décembre 2010 pour les substances, et le 1^{er} juin 2015 pour les mélanges.

Les fournisseurs peuvent néanmoins choisir d'anticiper ces dates d'application obligatoire. Ainsi, depuis le 20 janvier 2009, date d'entrée en vigueur du règlement, de nouvelles étiquettes peuvent apparaître sur l'emballage des produits chimiques. Il y a lieu de signaler que le double étiquetage

Tableau I - Règlement CLP : les dates clés.

3 septembre 2008	Vote du règlement CLP en première lecture au Parlement européen
28 novembre 2008	Adoption du règlement CLP par le Conseil de l'Union européenne
31 décembre 2008	Publication au Journal officiel de l'Union européenne
20 janvier 2009	Entrée en application du nouveau règlement dans les 27 États membres Début de la possibilité d'application volontaire pour les substances et les mélanges, entrée dans la période transitoire de coexistence des deux systèmes
1^{er} décembre 2010	Application obligatoire pour les substances : mention obligatoire des deux classifications dans la fiche de données de sécurité des substances Dispense de réemballage et de réétiquetage durant deux ans pour les lots de substances mis sur le marché avant cette date
1^{er} décembre 2012	Fin de la dispense de réemballage et de réétiquetage pour les lots de substances mis sur le marché avant le 1 ^{er} décembre 2010
1^{er} juin 2015	Application obligatoire pour les mélanges Dispense de réemballage et de réétiquetage de deux ans pour les lots de mélanges mis sur le marché avant cette date Abrogation du système préexistant Disparition de l'ancienne classification dans la fiche de données de sécurité des substances
1^{er} juin 2017	Fin des dernières dispenses et de la période de coexistence des deux systèmes

L'étiquetage évolue, l'INRS vous informe



Pour alerter et sensibiliser les professionnels et les aider à mettre en œuvre les changements réglementaires en matière de classification et d'étiquetage des produits chimiques, l'INRS a initié une campagne d'information et propose une série d'outils pratiques et complémentaires disponibles sur son site :

www.inrs.fr/focus/nouveletiquetage.html

Pour informer :

- un « questions-réponses »,
- un dossier web, « Nouvel étiquetage des produits chimiques », qui regroupe les informations essentielles sur le nouveau système réglementaire et contient plusieurs fichiers téléchargeables :
 - informations sur le SGH,
 - règlement CLP et sa 1^{ère} adaptation (versions officielles du Journal officiel de l'Union européenne),
 - sommaire commenté du règlement CLP,
 - pictogrammes et classes et catégories de danger associées,
 - liste des mentions de danger (avec classes et catégories de danger associées), des informations additionnelles sur les dangers, des éléments d'étiquetage/informations supplémentaires sur certaines substances et certains mélanges,
 - liste des conseils de prudence avec classes et catégories de danger associées.

Pour agir en entreprise :

- un mode d'emploi (extrait du dossier web) résumant les conséquences de la nouvelle réglementation pour les entreprises et leurs obligations.

Pour dialoguer et former :

- une présentation « Produits chimiques : apprenez à décoder les nouvelles étiquettes » qui permet, en 42 diapositives, de se familiariser avec le nouveau système d'étiquetage des produits chimiques.

Pour sensibiliser :

- un dépliant de sensibilisation : « Étiquettes de produits chimiques : attention ça change ! » (réf. : ED 6041)



- des affiches (réf. de gauche à droite : AD 735, AD 736, AD 737, AD 738, AD 739, AD 740)



- un audiovisuel : « Napo dans... Attention produits chimiques ! » (réf. : DV 0386)



Pour étiqueter :

- les pictogrammes de danger téléchargeables,
- les listes de mentions de danger, conseils de prudence...

Pour relayer l'information :

- les éléments de la campagne de presse, notamment les visuels pour insertion presse et un dossier de presse. Différents kits téléchargeables sont également disponibles, reprenant certaines de ces informations.

(présence de deux étiquettes sur l'emballage) est interdit pour éviter toute confusion.

Par contre, les informations concernant les deux classifications devront apparaître sur les fiches de données de sécurité dès lors que l'industriel appose une nouvelle étiquette, et ce jusqu'au 1^{er} juin 2015.

La disparition définitive des « anciennes étiquettes », du fait de l'existence de dispenses spécifiques de réétiquetage, est susceptible de n'intervenir qu'en 2017 pour certains mélanges. Il est donc nécessaire de rappeler l'importance de la formation des salariés qui doivent être préparés à l'arrivée de nouvelles étiquettes et donc de nouvelles informations sur les dangers des produits chimiques présents sur leur lieu de travail.

Quelles conséquences pour les entreprises ?

Toutes les entreprises, qu'elles soient directement impliquées dans le commerce des produits chimiques ou simples utilisatrices, sont concernées par le règlement CLP. Tout d'abord, ces changements réglementaires engendrent la nécessité de formation des salariés à la lecture des nouvelles étiquettes. De plus, les professionnels devront mettre à jour l'ensemble des documents faisant référence à la classification ou à l'étiquetage des produits chimiques. Outre la nécessité d'actualiser les étiquettes et les fiches de données de sécurité, le règlement CLP prévoit un certain nombre d'obligations pour les fournisseurs de produits chimiques, notamment une obligation de notification des classifications de certaines substances mises sur le marché auprès de l'Agence européenne des produits chimiques. La première date butoir pour cette

notification est fixée au 3 janvier 2011. Par ailleurs, ce règlement aura des répercussions sur la réglementation dite « aval », c'est-à-dire la réglementation qui s'appuie sur (ou fait référence à) la classification et l'étiquetage des produits chimiques (par exemple, la réglementation s'appliquant aux installations classées pour la protection de l'environnement – directive Seveso II). Des changements réglementaires interviendront donc au cours des prochaines années.

Si concrètement les nouvelles étiquettes ne sont encore aujourd'hui que très rarement apparues sur le marché, il est important de se préparer dès maintenant à ces différentes évolutions (voir encadré p. 44).

Références

- [1] Règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges, modifiant et abrogeant les directives 67/548/CEE et 1999/45/CE et modifiant le règlement (CE) n° 1907/2006.
- [2] Règlement (CE) n° 790/2009 de la Commission du 10 août 2009 modifiant, aux fins de son adaptation au progrès technique et scientifique, le règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges.



Annabel Maison

est expert d'assistance conseil à l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS)*, Département Expertise et conseil technique, Pôle Risques chimiques.

* INRS, 30 rue Olivier Noyer, F-75680 Paris Cedex 14.
Courriel : annabel.maison@inrs.fr

Laboratoires Pierre Fabre

Une recherche de pointe pour développer les soins de demain

- PIERRE FABRE MÉDICAMENT
- PIERRE FABRE ONCOLOGIE
- PIERRE FABRE DERMATOLOGIE
- DUCRAY
- A-DERMA
- AVÈNE
- KLORANE
- GALÉNIC
- ELANCYL
- RENÉ FURTERER
- ELGYDIUM
- NICOPATCH
- ELUSANES

MÉDICAMENT
SANTÉ FAMILIALE
DERMO-COSMÉTIQUE

Pierre Fabre

de la santé à la beauté

Contact : Direction de la Communication et de la Stratégie • Tél. 05 63 71 44 00
www.pierre-fabre.com

Voici 20 ans : Perrier ou l'analyse qui fit « pschitt ! »

Patrick Arpino

Résumé La détection de benzène dans l'eau de Perrier en janvier 1990 allait entraîner une tourmente médiatique et de lourdes conséquences pour le groupe industriel qui la possédait. Beaucoup de lignes ont été écrites à ce sujet, mais sans doute pas encore du point de vue d'un analyste, car ce n'est pas un hasard si l'affaire survient à ce moment particulier, à la fin des années 1980, où les appareils pour le couplage de la chromatographie en phase gazeuse à la spectrométrie de masse (GC-MS) deviennent des instruments de routine au laboratoire.

Mots-clés Benzène, composés organiques volatils de l'eau (COV), analyse GC-MS, histoire de Perrier.

Abstract **Twenty years ago: Perrier or the analysis which did "pschitt"!**

Benzene detection in Perrier water in January 1990 was the start of media turmoil, with heavily damaging consequences for the industrial group that possessed it. The subject is well documented, although rarely from the point of view of an analytical chemist. It is not a surprise that the situation emerged at the end of the 1980s, when cheap and compact benchtop gas chromatographs coupled to mass spectrometers (GC-MS) became routine instrument in the control laboratory.

Keywords Benzene, volatile organic compounds (VOC) in water, combined GC-MS, Perrier history.

Les instruments de la chimie analytique sont le fruit des efforts des chercheurs et des ingénieurs. Le travail de recherche consiste à découvrir de nouvelles propriétés physico-chimiques moléculaires, puis à les utiliser comme moyens de détection, d'identification et de dosage. Les ingénieurs utilisent ces concepts pour produire en série des équipements d'analyse précis, exacts et fiables, pour des coûts d'acquisition et de fonctionnement acceptables par leurs utilisateurs. Comme beaucoup de produits technologiques innovants, ces instruments ont souvent un impact sociétal majeur. Ils mettent parfois en évidence des faits ignorés précédemment, simplement parce qu'ils ne pouvaient pas être vus, ou seulement dans un trop petit nombre de cas, en raison de la complexité et des coûts des moyens à mettre en œuvre. Ainsi, la révélation de la présence de molécules polluantes à l'état de traces, mais aux conséquences à court ou long terme dommageables, est à l'origine de la prise de conscience des questions relatives à notre environnement. Ces instruments peuvent également servir à mettre en place une législation contraignante. Rien ne sert en effet d'édicter des normes s'il n'existe pas de moyens pour les mesurer, or le législateur précède parfois la technologie, par exemple en vertu d'un principe de précaution : on a pu ainsi vouloir imposer pendant une longue période une norme de présence du plomb dans l'eau potable de zéro, ce qui n'a pas de sens en chimie analytique où il faut définir une limite de détection,

une limite de quantification et un seuil de toxicité ; mais une norme de zéro sert de précaution, dissimulant l'absence de moyens d'analyse suffisamment précis.

Certaines innovations technologiques ont marqué durablement leur époque : la Citroën « DS 21 » apparue en 1956 ; le Concorde, en 1969. De la même manière, la chimie analytique a produit des instruments remarquables, dont les appli-

cations ont révolutionné des domaines scientifiques, et avec parfois des retombées marquantes aux yeux du grand public. Ainsi au début des années 1980, de nouveaux spectromètres de masse avec introduction d'échantillons par chromatographie en phase gazeuse (GC-MS) sont apparus. Ils étaient plus compacts et moins onéreux que leurs prédécesseurs, et purent être installés dans de nombreux laboratoires d'analyse. Leur désignation en français par « GC-MS de pailleasse » a pu leur nuire et les qualifier de manière péjorative, minorant ainsi leur impact, aussi parle-t-on plus fréquemment de « GC-MS benchtops ».

Il paraît que « l'affaire Perrier » est enseignée dans certaines écoles de commerce comme un exemple de mauvaise gestion d'une situation de crise, ou de celui d'une stratégie agressive dans le cadre de rivalités commerciales. Elle mériterait également d'être enseignée dans les cours de chimie analytique comme un exemple des retombées sociétales que peuvent induire les progrès technologiques de cette discipline.



Affiche du dessinateur Jean Carlu (1900-1997) : L'eau qui fait pschitt (lithographie couleur sur papier). Photo Les Arts décoratifs, Paris/Jean Tholance. Tous droits réservés - © ADAGP, Paris, 2010.

L'affaire, qui débute en janvier 1990 et dont les retombées perdurent, résulte de la conjonction de trois éléments, *a priori* sans liens directs entre eux, mais qui réunis provoquent un mélange détonnant :

- une situation en France propre à l'entreprise Perrier ;
- une législation américaine sur la qualité des eaux de boisson votée en 1974, mais longtemps inappliquée faute de moyens techniques adéquats ;
- l'introduction au début des années 80 de GC-MS benchtops peu onéreux et performants. Rapidement adoptés aux États-Unis par les laboratoires d'analyse chargés de contrôler la qualité des eaux de boisson, ils obtenaient enfin les moyens d'effectuer les contrôles sanitaires requis par le législateur quinze ans plus tôt.

Des origines de Perrier jusqu'en janvier 1990

L'histoire de la marque Perrier est abondamment documentée [1-4]. Les eaux de Vergèze, à 17 km de Nîmes, déjà connues des Romains qui venaient s'y désaltérer, sont surnommées Bouillens au XVIII^e siècle car elles jaillissent comme une source bouillonnante. Le citoyen Dax, médecin de Sommières près de Vergèze, rédige en l'an IX de la République (1801) un mémoire sur leurs propriétés curatives, et le professeur Courrière montre que le gaz dégagé est du gaz carbonique naturel, l'eau étant issue de collines calcaires et traversée par un courant de CO₂ d'origine volcanique. Par un décret du 23 juin 1863, Napoléon III accorde au propriétaire du terrain où se trouve la source, Alphonse Granier, le droit de l'exploiter – les eaux étant avant gratuites –, lui permettant de créer la « Société de l'Établissement Thermal des Eaux Minérales de Vergèze ». En 1888, un cultivateur de la région, Monsieur Rouvière, acquiert la source et s'associe avec le Dr Louis Perrier, médecin de Nîmes et directeur de la station thermale d'Euzet-les-Bains dans le Gard. Dix ans plus tard, Louis Perrier devient l'unique propriétaire de la « Société des eaux minérales, boissons et produits hygiéniques de Vergèze ». Il étudie les propriétés de cette eau gazeuse naturelle, découvre ses vertus thérapeutiques lui permettant d'être déclarée d'intérêt public, et lui donne également son nom, ce qui aura de lourdes conséquences près de 150 ans plus tard, l'eau étant désormais liée au nom d'une personne et non plus rattachée au lieu de sa source. Encore aujourd'hui, le gaz naturel et l'eau sont pompés séparément, puis le gaz est récupéré grâce à un système de cloches et réinjecté dans l'eau afin de restituer la composition originelle de la nappe souterraine.

Pendant la première partie du XX^e siècle, la source passe sous contrôle britannique après son acquisition par Sir John Harmsworth en 1903, car cette eau est estimée par les Anglais être le meilleur compagnon du whisky. Son nouveau propriétaire conserve le nom de celui qui l'a fait connaître, et la source Perrier est désormais « fournisseur breveté de Sa Majesté Edouard VII et de Sa Majesté le roi Georges V ». En 1936, la compagnie fusionne avec la petite « Société d'eaux minérales de Vergèze » et devient « La Source Perrier S.A. » – deuxième disparition d'un lien entre la désignation de l'eau et sa localisation géographique.

Après la Seconde Guerre mondiale, quatre Français s'associent en 1946 pour reprendre le contrôle de la Source Perrier : Georges Leven et son fils Gustave, Maurice Epy et Jean Davray, le publicitaire de la marque jusqu'en 1985, date de sa mort, et à qui l'on doit la plupart des célèbres campagnes publicitaires qui ont tant marqué les esprits

– son œuvre est enseignée dans les écoles de publicité. De cinq millions de bouteilles en 1908, le chiffre de 100 millions est atteint en 1952. Le soda Pschitt apparaît en 1954 parmi les efforts de diversification du groupe. En 1973, devant l'abandon général du verre comme emballage des eaux de boisson, mais bien forcé à cette époque de continuer à l'utiliser pour son eau à cause du gaz, le groupe Perrier devient également verrier après l'acquisition d'une sablière à Bédouin, au pied du Mont Ventoux. Vergèze sera en 1986 la seule usine au monde à réunir en un même lieu verrerie et embouteillage d'une eau de source ; ses 3 000 salariés débitent 120 000 bouteilles par heure. C'est la troisième verrerie française derrière BSN (futur Danone) et Saint-Gobain (les conditionnements en bouteilles plastiques seront introduits bien plus tard, à partir de 2001).

En 1977, Gustave Leven implante la marque aux États-Unis, y détenant 6 % du marché, et s'y développe rapidement, comme dans beaucoup d'autres pays – l'exportation représentant en 1984 45 % du chiffre d'affaires global. Elle s'appuie sur une image insistant sur l'aspect « luxe et snob à la française », d'un produit 100 % naturel et non calorique. Fin 1989, le groupe Perrier est à son apogée, la production atteignant plus d'un milliard de bouteilles. Gustave Leven est le lauréat de la Palme d'Or de l'Excellence décernée par le journal *L'Usine Nouvelle*, une récompense attribuée aux sociétés cotées à la Bourse de Paris, au vu de leurs résultats sur une période de sept ans. Le 8 novembre 1988, M. Leven annonce un bénéfice net semestriel de 290 millions de francs (soit environ 44,2 millions d'euros), en hausse de 55,9 % par rapport à la même période de 1988 [5].

L'année 1989 se présente ainsi comme faste et radieuse, bien que des nuages se profilent au cours du dernier trimestre. Novembre marque le début d'un conflit avec Pepsi Cola qui décide unilatéralement, le 6 novembre, de rompre au 31 décembre 1990 le contrat de franchise le liant avec une filiale de Perrier depuis 1962 pour la distribution en France de ses marques de boisson – il devait durer encore 32 ans –, estimant que les objectifs du contrat ne sont pas réalisés [5]. Pepsi Cola appuie cette rupture en attaquant Perrier en justice pour demander des dommages et intérêts [6]. En réplique, Frédéric Zimmer, directeur général de Perrier, annonce le 7 décembre 1989 qu'il va assigner en justice Pepsi Co Inc. pour « rupture abusive de contrat et orchestration d'une campagne de dénigrement ayant nui à l'image de Perrier ». C'est dans ce contexte que, tel le battement d'aile d'un papillon au Brésil, susceptible de déclencher une tornade au Texas – selon la métaphore du météorologue Edward Lorenz [7] –, une simple analyse GC-MS par un laboratoire américain de Caroline du Nord, à des milliers de kilomètres de Vergèze, va précipiter Perrier dans la tourmente au début de février 1990.

La législation votée en 1974 aux États-Unis

En 1974, le congrès des États-Unis vote le « Safe Drinking Water Act ». Au sujet du benzène (voir encadré 1), dont la toxicité et la cancérogenèse sont alors fortement mises en avant, l'objectif est d'atteindre dans les eaux de boisson une concentration limite de... zéro (MCLG = 0, « maximum concentration limit goal »). Toutefois, en attendant de pouvoir atteindre un jour ce but idéal, la concentration limite maximale (MCL) est fixée en pratique à 5 ng/L (ou 5 ppb). L'Agence américaine de protection de l'environnement (« Environmental Protection Agency », EPA)

Encadré 1

Le benzène

Propriétés physico-chimiques

Les propriétés du benzène sont décrites dans de très nombreuses sources bibliographiques, notamment la fiche toxicologique de l'INERIS, en libre accès sur Internet [a]. Le benzène est produit principalement par l'industrie pétrochimique (0,9 million de tonnes en France en 2001) et sert de matière première pour la synthèse de plusieurs produits chimiques de base (cumène, acétone, cyclohexane, nitrobenzène, alkylbenzènes, acide maléique, chlorobenzènes...). Il reste encore un solvant couramment employé non seulement dans l'industrie (production du caoutchouc, de peintures, vernis, matières plastiques, utilisation en métallurgie), mais aussi dans les laboratoires de recherche et d'analyse. Il est d'utilisation très large dans les pays du tiers-monde (dégraissage à sec des « pressings » locaux par exemple). Présent dans le carburant pour automobile, le benzène contribue à la pollution atmosphérique en raison des gaz d'échappement des véhicules et des émanations lors du remplissage des réservoirs. Il est également rejeté dans l'environnement par les industries qui l'utilisent, et de manière plus naturelle, à l'occasion de feux de forêts ou dans les rejets d'activités volcaniques. Des causes accidentelles peuvent survenir lors de sa manipulation et de son transport. Le benzène est aussi présent dans la fumée de tabac, à hauteur de 0,5 mg par cigarette consommée [b]. Bien que sa dégradation aérobie soit facile et rapide (avec une demi-vie de l'ordre de 15 jours), le benzène sous forme gazeuse dans l'air est ubiquitaire ($\approx 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), une concentration cependant très en dessous de son seuil olfactif ($\approx 3,2 \text{ mg}/\text{m}^3$). Il est relativement soluble dans l'eau pure (1 830 mg/L à 25 °C), d'où sa présence également ubiquiste dans les eaux de surface – rivières, estuaires lacs ($< 1 \mu\text{g}/\text{L}$), l'eau de pluie ($< 0,5 \mu\text{g}/\text{L}$), les eaux souterraines ($< 30 \text{ ng}/\text{L}$), l'eau de mer ($< 5 \text{ ng}/\text{L}$).

Toxicologie

La toxicité du benzène suite à son inhalation est bien établie, tant chez l'animal que chez l'homme. Le benzénisme, qui concerne l'intoxication par le benzène seul, et le benzolisme, provoqué par le benzène mélangé à ses homologues supérieurs (toluène,

xylyènes) sont des maladies professionnelles graves décrites dès le XIX^e siècle. Une intoxication aiguë due à l'exposition à $65 \text{ g}/\text{m}^3$ pendant 5 à 10 minutes est fatale (moins que la vaporisation d'une bouteille d'un litre, soit 879 g, dans une petite pièce non ventilée – par exemple une cage d'ascenseur). Concernant sa toxicologie chronique, plus de vingt-cinq études toxicologiques au cours des cinquante dernières années, portant sur des salariés de diverses entreprises de par le monde – le nombre de sujets étudiés allant de quelques centaines à plusieurs dizaines de milliers – et potentiellement exposés de par leur activité professionnelle à des vapeurs de benzène, ont rapporté une augmentation incontestable des taux de cancer, une leucémie étant l'affection la plus souvent citée. En raison de son caractère génotoxique bien établi, l'Union européenne a classé le benzène en 2004 dans sa liste des substances mutagènes.

L'intoxication chronique chez l'homme par voie orale, notamment par ingestion de solutions aqueuses de benzène, est bien moins documentée que l'intoxication par inhalation, car les situations où elle pourrait se produire sont *a priori* beaucoup plus rares. Cependant, le pouvoir cancérigène du benzène chez l'animal (rats ou souris) pour des expositions par voie orale a été également observé et extrapolé à l'homme pour définir les valeurs toxicologiques de référence du benzène dans l'eau. D'autres études ont estimé que l'absorption par inhalation était 50 % de celle par la voie orale, et se sont basées sur les résultats des tests par inhalation pour proposer des valeurs doublées dans l'hypothèse d'une intoxication par voie orale.

Ces travaux ont conduit à établir des normes de valeurs sanitaires et environnementales pour la présence de benzène dans l'air et dans l'eau, ainsi que des objectifs de concentration à des échéances futures préétablies. En milieu de travail en France, la valeur limite d'exposition professionnelle depuis 2004 est de 1 ppm ($3,25 \text{ mg}/\text{m}^3$), soit une valeur identique à son seuil olfactif. Pour la population générale, la qualité de l'air est fixée à une concentration de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, avec pour objectif d'atteindre un seuil de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2010.

[a] Pichard A., INERIS, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, 2006, www.ineris.fr/index.php?action=getContent&id_heading_object=3&module=cms

[b] Lofroth G., Burton R.M., Forehand L., Hammond S.K., Seila R.L., Zweidinger R.B., Lewtas J., *Environ. Sci. Technol.*, 1989, 23, p. 610.

reçoit pour mission de mettre cette législation en œuvre : les nombreux laboratoires d'analyse qui dépendent de cette agence doivent vérifier périodiquement la qualité des eaux de boisson et avertir les autorités et le public, par tous les moyens – presse, radio, télévision – dès que ce taux est dépassé. Ces centres doivent ensuite continuer de procéder à des analyses complémentaires jusqu'au moment où la concentration du benzène repasse sous la barre des 5 ng/L.

Au moment du vote du Safe Drinking Water Act, les composés organiques volatils de l'eau (VOC), dont fait partie le benzène, sont majoritairement séparés et identifiés par chromatographie en phase gazeuse, sur des colonnes à garnissage, peu efficaces, jusqu'à la fin des années 1970, puis sur des colonnes capillaires au pouvoir de séparation bien meilleur. Les VOC sont détectés au moyen d'un détecteur à ionisation de flamme (FID). Les protocoles d'extraction, d'enrichissement des VOC contenus dans les eaux de boisson sont bien établis et efficaces ; la sensibilité du FID est excellente, permettant de quantifier le benzène avec une limite inférieure de quantification inférieure à la norme de 5 ng/L. Toutefois, l'identification n'est obtenue que par comparaison des temps de rétention avec ceux de témoins authentiques. L'analyse est longue, et surtout, elle est parfois ambiguë si d'autres substances viennent interférer avec celles visées par l'analyse, le FID ne pouvant pas faire la différence. Des séparations chromatographiques sur deux colonnes aux propriétés de rétention différentes

sont alors parfois nécessaires pour identifier correctement le « pic du benzène ».

La spectrométrie de masse couplée à la chromatographie en phase gazeuse (GC-MS) existe déjà, pouvant identifier les VOC sans ambiguïté, mais les équipements sont lourds, très onéreux, peu rapides, et le coût d'une analyse est élevé. Les niveaux requis par la législation du Safe Water Drinking Act concernant l'analyse du benzène pouvaient en principe être vérifiés dès 1974, mais l'équipement des laboratoires de contrôle ne permettait pas de le faire à une échelle suffisante.

L'apparition des GC-MS benchtops

Souvent, après avoir fait la preuve de leurs performances et de leur utilité, les objets technologiques sont transformés afin de les rendre plus compacts, plus faciles d'usage et moins onéreux. On le voit aujourd'hui pour les téléphones portables ou les ordinateurs ; ce fut le cas pour les appareils GC-MS, dont les premiers appareils produits en grande série à la fin des années 60 étaient d'un coût et d'un espace au sol conséquents. Les analyseurs quadripolaires étaient moins lourds, plus rapides et moins volumineux que les analyseurs magnétiques qui les avaient précédés, mais jusqu'au début des années 80, un spectromètre de masse pour l'analyse chimique consistait en un gros appareil, seul dans une pièce, et aux mains d'un spécialiste très qualifié. L'un des tout premiers GC-MS benchtops fabriqué en série fut certainement

le modèle HP5990 de Hewlett-Packard (aujourd'hui Agilent), dont la solution audacieuse pour réduire l'encombrement consistait à introduire l'analyseur quadripolaire au cœur même d'une pompe à diffusion de vapeurs d'huile pour la production du vide (figure 1). Comme les barreaux de l'analyseur se contaminaient néanmoins, ce modèle eut une existence brève, mais le départ vers la compacité était donné. La deuxième étape marquante fut la commercialisation par la société Finnigan (aujourd'hui Thermo Fisher) d'un appareil compact basé sur la géométrie d'une trappe tridimensionnelle selon la géométrie de Paul, désigné comme « ion trap detector » (ITD, figure 2). Le premier modèle fut l'ITD600, pour rappeler sa gamme de masses décelables limitée à $m/z = 650$. Peu onéreux, pouvant véritablement être posé sur une paillasse, l'appareil était volontairement présenté plus comme détecteur de chromatographie en phase gazeuse que comme spectromètre de masse. Les lettres « MS » étaient gommées de sa désignation et remplacées par le « D » de détecteur, pour contourner les réticences des « experts » en spectrométrie de masse dans les entreprises et permettre aux services de chromatographie de s'équiper d'un premier spectromètre de masse. Tous les constructeurs s'efforcèrent ensuite de rivaliser en produisant des appareils de plus en plus compacts et plusieurs modèles étaient disponibles à la fin des années 80.

L'analyse « gâchette » du LUESA

Aux États-Unis, dans l'État de Caroline du Nord, plus précisément à Charlotte dans le comté de Mecklenburg, se trouve un laboratoire d'analyse de la qualité des eaux de boisson destinées à la population environnante, dénommé Mecklenburg County Land Use & Environmental Services

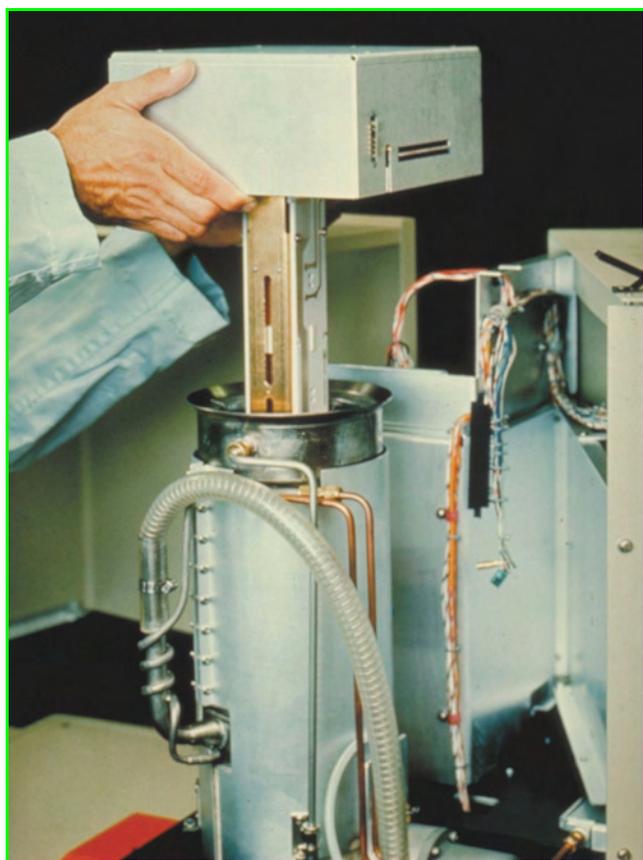


Figure 1 - Le premier GC-MS benchtop, le modèle HP5992 (1976), dans lequel le quadripôle était introduit au cœur même d'une pompe à diffusion à vapeurs d'huile.

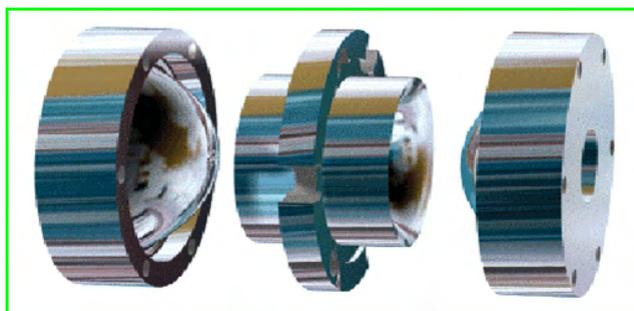


Figure 2 - Représentation en perspective d'un spectromètre de masse compact, de type à trappe d'ions, analogue à celui équipant les premiers GC-MS benchtop de la société Finnigan, aujourd'hui Thermo Fisher (selon photo aimablement communiquée par le Pr. Richard A. Yost, Département de Chimie, Université de Floride, États-Unis).

Agency, ou LUESA [8]. L'histoire veut qu'un nouveau spectromètre de masse ait été installé au laboratoire en décembre 1989 [9]. Pour « se faire la main » et réaliser un blanc de méthode, les analystes du laboratoire se seraient procuré des bouteilles de Perrier auprès d'un épicer local afin de tester le protocole d'analyse visant à déceler des traces de benzène, tel que requis par le Safe Drinking Water Act... et ils en trouvèrent entre 10 et 20 ng/L, soit au-delà de la norme de 5 ng/L*. Il semble que l'instrument ait été un quadripôle Finnigan, modèle INCOS 50, associé à un thermo-désorbeur dynamique, modèle Tekmar – une association classique pour l'époque, mais un modèle de spectromètre de masse un peu ancien, basé sur un petit quadripôle linéaire conventionnel –, et non pas une trappe de type ITD qui avait encore des détracteurs. Ceci est confirmé par René Petit, alors directeur des ventes de Finnigan France, et Éric Génin, alors responsable du laboratoire d'applications ; les ventes de l'INCOS 50 redémarrèrent, suite aux événements décrits plus loin, alors que ce modèle était alors plutôt jugé « en fin de course » [10].

La crise et ses conséquences

Quelles qu'aient été les véritables motivations du LUESA, ce laboratoire paraît avoir suivi les directives de 1974 et informé l'administration américaine et les médias de son résultat d'analyse. La crise pouvait alors débuter : elle fut rapide et violente. Le 2 février 1990, l'agence américaine pour l'alimentation et la pharmacie (« Food and Drug Administration », FDA) prévient la filiale américaine de Perrier que des traces de benzène ont été découvertes, tout en affirmant à ce moment que les quantités décelées ne présentaient « aucun risque significatif à court terme pour la santé » [11] – attitude plutôt bienveillante de la FDA, mais qui évoluera par la suite. Le résultat analytique est confirmé le 5 février [12], entraînant la chute du cours à la Bourse. En réaction, dès le 13 février, Perrier retire la totalité de ses stocks du marché américain (États-Unis et Canada), soit 3 millions de caisses. Le lendemain, le groupe Suntory au Japon qui commercialisait l'eau Perrier rappelle 10 000 caisses. Le 12 février, l'action Perrier est incotable à la Bourse de Paris, tant les ordres de vente sont importants. Au 14 février, pas moins de 72 millions de bouteilles vertes ont été retirées de la vente [13], créant un dommage de 200 millions de francs (~ 30,5 millions d'euros).

À Vergèze, c'est la stupeur, certains n'hésitant pas à invoquer « un coup bas des Américains » pouvant être lié au

contexte de novembre 1989, d'autant que dans un premier temps, le laboratoire de contrôle des eaux de la Faculté de médecine de Clermont-Ferrand, le laboratoire Bouisson-Bertrand de Montpellier, habituellement chargé des contrôles, les services de la Direction départementale d'action sanitaire du Gard et ceux de la répression des fraudes ne décèlent aucune trace de benzène dans l'eau prélevée à la source. Perrier invoque une possible erreur humaine de la chaîne d'embouteillage dans le filtrage de l'eau pouvant être facilement corrigée [14]. Toutefois, le laboratoire d'hydrologie de l'Université de Clermont-Ferrand que dirige Denise Pépin dose le benzène dans les eaux de la source, dans des prélèvements effectués au niveau de la chaîne de gazéification, et dans les bouteilles commercialisées, obtenant des concentrations entre 10 et 20 ng/L, identiques à celles mesurées aux États-Unis [9]. Dans l'urgence, le laboratoire de Montpellier demande auprès de Finnigan de pouvoir se procurer les mêmes équipements analytiques que ceux utilisés au LUESA [10]. Les résultats suivants infirment l'argument d'une unique pollution par les filtres et le problème du benzène est désormais localisé « au propre comme au figuré » : à la source.

La suite des événements serait trop longue à écrire en détail, dépassant le cadre des sujets habituellement traités dans *L'Actualité Chimique*, et l'on se bornera à n'en citer que quelques éléments marquants. Sous les coups de boutoir de la FDA, qui désormais conduit le procès à charge, l'image « naturelle et pure » de Perrier est durablement ternie. Ayant fait valoir que le gaz et l'eau avaient des origines différentes, l'affirmation « *eau gazeuse naturelle* » ne doit plus désormais figurer sur les emballages, de même que doivent être enlevées les indications de « sans calorie » ou « sans sodium », après que des analyses en aient révélé la présence de traces. Gustave Leven, honoré en 1989, doit démissionner en juin 1990 et céder la place à son vice-président [15], mais il conservera cependant le titre de président d'honneur jusqu'à son décès, à l'âge de 94 ans, en août 2008. La chute du cours en bourse permet à Nestlé de lancer une OPA hostile et d'acquiescer Perrier en 1992. Si après une décennie de décroissances, les bénéfices reviennent en 2001 au niveau de ceux avant la crise de 1990, le nombre d'employés chute de 3 000 à 1 800 en 2001 [16], tendance qui se poursuivra au cours des années 2000 [17]. Dans le bras de fer engagé dès lors entre la direction de Nestlé Waters et la CGT, majoritaire à Vergèze, les menaces de délocalisation seront régulièrement invoquées ; ainsi Peter Brabeck rappelle en 2004 que « *Perrier n'est pas associé à la source du village et peut donc être théoriquement produit n'importe où dans le monde* » [18]. Pour l'éviter, le Conseil municipal de Vergèze tente une manœuvre en octobre 2006 et renomme le lieu-dit « Les Bouillens » en « Source Perrier - Les Bouillens ». Le différend juridique avec Nestlé Waters France que cette décision a entraîné n'était pas réglé en 2008 [19]. Tout cela, au départ, à cause d'une simple analyse GC-MS !

Épilogue provisoire

Le recul et les progrès de la chimie analytique permettent aujourd'hui d'y voir un peu plus clair sur les causes du problème ayant conduit à la situation de 1990. Les eaux gazeuses naturelles auxquelles appartient l'eau de la source Perrier sont enrichies naturellement par du CO₂ venant des couches géologiques sous-jacentes profondes. Plusieurs origines de ce gaz naturel ont été répertoriées [20] : par exemple, le métamorphisme de carbonates d'origine marine, ou des fluides magmatiques dérivés du manteau volcanique,

conduisant à un CO₂ très pur, mais aussi la diagenèse de matières organiques d'origine sédimentaire, celles-là mêmes pouvant conduire à la formation de pétrole ou de charbon. La présence d'aromatiques légers dans le CO₂ obtenu dans certaines conditions paraît inévitable. Si ce gaz est réinjecté dans l'eau naturelle, il doit être préalablement purifié de ses hydrocarbures par passage sur du charbon actif. Tout analyste qui utilise un procédé similaire en chromatographie en phase gazeuse pour purifier le gaz vecteur de ses hydrocarbures résiduels sait que le remède peut s'avérer pire que le mal si le filtre n'est pas régulièrement changé. En fait, bien des problèmes auraient été évités si du CO₂ d'origine industrielle, que l'on sait obtenir à des qualités très pures, était réinjecté, plutôt que de recycler celui de la source, même s'il doit être qualifié de plus « bio » et « naturel ». La focalisation particulière sur l'analyse du benzène dans l'eau de Perrier en 1990 ne peut occulter le fait que la situation était sans doute identique pour bien d'autres eaux gazeuses, mais que l'on n'avait pas disséqué de manière aussi radicale.

La présence de benzène dans les boissons gazeuses ne concerne désormais plus l'eau Perrier, mais le sujet est revenu au premier plan en 2006 dans un tout autre contexte. La FDA dresse des conclusions alarmantes après avoir constaté, entre 1995 et 2001, la présence de benzène dans 79 % des échantillons de 24 marques de soda basses-calories, contenant de l'acide ascorbique (vitamine C) et du benzoate de sodium comme conservateur ; ce dernier étant suspecté d'être à l'origine des teneurs en benzène supérieures à 5 ppb [21]. La suite a montré que le problème provenait de la méthode analytique pour doser le benzène, au moyen d'une méthode dynamique après avoir chauffé les échantillons à 100 °C pendant 30 minutes (voir encadré 2). Au contraire, les teneurs restent en dessous du minimum légal de 5 ppb, souvent même sous la limite de détection, si le benzène est dosé au moyen d'une méthode statique à basse température, comme vérifié dans 199 boissons gazeuses différentes [22]. Même avec le meilleur spectromètre de masse, on n'insistera jamais assez sur l'importance de la préparation des échantillons !

Conclusion

Cet épisode est typique de l'impact sociétal créé par une avancée technologique en chimie. Sans la banalisation des GC-MS dans les laboratoires d'analyse à la fin des années 80, l'affaire Perrier n'aurait pu se produire et se développer aussi rapidement. On pourrait citer d'autres exemples plus récents, par exemple le couplage de la chromatographie en phase liquide et de la spectrométrie de masse (LC-MS) qui désormais a changé la donne, notamment dans le contrôle du dopage et la détection des fraudes.

Remerciements

Des interlocuteurs que j'ai tentés d'approcher ont marqué leur incompréhension à vouloir encore remuer aujourd'hui « ces vieilles histoires », ou n'ont pas souhaité s'exprimer ; plusieurs barrages se sont révélés infranchissables, aux États-Unis, mais aussi en France. D'autres au contraire m'ont aimablement aidé lors de la recherche documentaire pour cet article, en particulier : Mike Story, ancien vice-président du groupe Finnigan USA ; René Petit, ancien directeur de Finnigan France ; Éric Génin, toujours en poste au laboratoire d'application de Thermo Fisher ; Auguste Bruchet, de Suez-Environnement, anciennement Lyonnaise des Eaux ;

Encadré 2

Méthodes de détection et de dosage du benzène dans l'eau par GC-MS

Deux méthodes sont habituellement mises en œuvre pour identifier et doser les substances organiques volatiles de l'eau auxquelles appartient le benzène [i], reposant sur la partition à l'équilibre de composés volatils entre leur solution aqueuse et la phase gazeuse au-dessus du liquide (figure a), ou espace de tête (« headspace ») [ii]. L'analyse des BTX désigne un protocole visant à analyser simultanément le benzène, le toluène et le xylène.

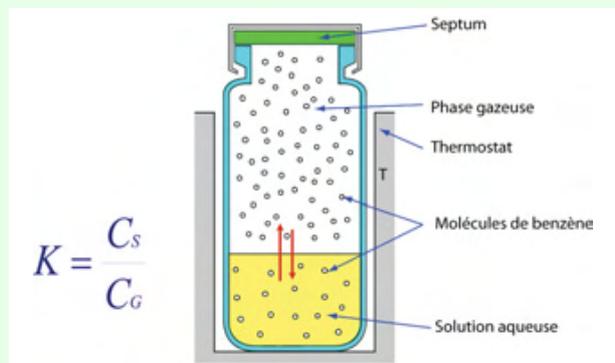


Figure a - Principe du partage à l'équilibre d'une molécule volatile en solution aqueuse.

K : coefficient de partage ; C_S : concentration de benzène dans la solution aqueuse ; C_G : concentration de benzène dans la phase gazeuse. K dépend de la température T et des compositions des phases gazeuse et liquide, y compris la concentration de sels dissous.

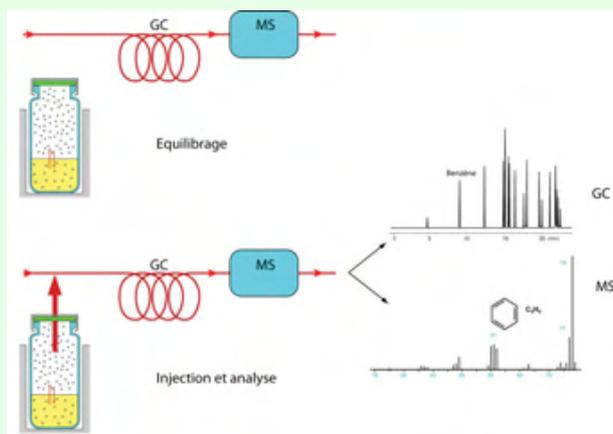


Figure b - Principe de l'analyse espace de tête statique-chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse.

La solution analysée est préalablement équilibrée en température. Dans un deuxième temps, un volume gazeux défini de l'échantillon de l'espace de tête est injecté et analysé.

• **La méthode statique** (« static headspace ») consiste à enfermer un volume d'eau dans un flacon, hermétiquement scellé par un septum et thermostaté à une température précise. Un dispositif de prélèvement gazeux, comprenant une aiguille venant perforer le septum, transfère un volume précis de l'espace de tête au-dessus de l'eau et l'entraîne vers le GC-MS, où les BTX sont identifiés et dosés (figure b). Dans certains montages, l'espace de tête est préalablement pressurisé au-delà de la pression atmosphérique pour d'accroître la quantité d'échantillon gazeux prélevé lorsque l'aiguille perce le septum, afin d'améliorer la sensibilité de la méthode.

• **La méthode dynamique** (« purge and trap ») consiste à faire circuler un débit constant de gaz inerte, pendant un temps déterminé, au travers d'un volume d'eau maintenu dans une enceinte thermostatée. Les composés volatils purgés de l'espace de tête au-dessus du liquide sont transférés vers un piège adsorbant (carbone, polymère poreux de type Tenax...) qui les concentre. Dans un deuxième temps, le piège est rapidement chauffé, ce qui désorbe les BTX et les entraîne vers l'appareil GC-MS (figure c).

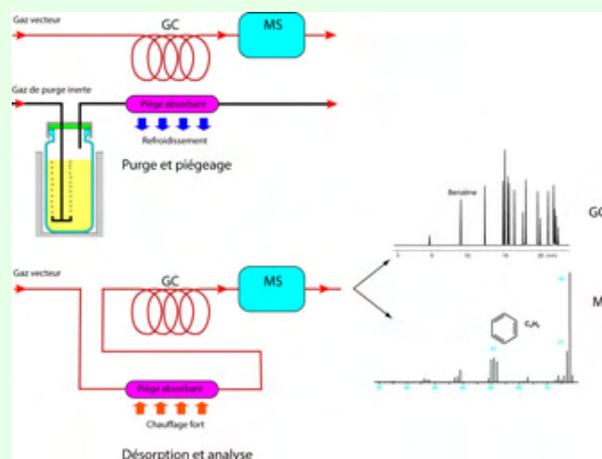


Figure c - Principe de l'analyse espace de tête dynamique-chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse.

La solution analysée est préalablement équilibrée en température et parcourue par un gaz de purge entraînant les solutés volatils vers un piège, éventuellement refroidi. Dans un deuxième temps, la commutation de circuits pneumatiques et le chauffage rapide du piège désorbent les solutés vers le GC-MS où ils sont identifiés et dosés.

[i] Qualité de l'eau - Dosage par chromatographie en phase gazeuse d'un certain nombre d'hydrocarbures aromatiques monocycliques, du naphthalène et de divers composés chlorés par dégazage, piégeage et désorption thermique, NF EN ISO 15680, AFNOR, 2004.

[ii] Kolbe B., Ettre L.S., *Static Headspace-Gas Chromatography*, Wiley-VCH, 1997.

Claudine Villey de l'INERIS. Je leur adresse à tous mes sincères remerciements.

Note et références

- * J'ai tenté de vérifier la véracité de cette histoire, mais mes courriers adressés en 2004 au LUESA sont restés sans réponse.
- [1] www.perrier.com/FR/entrezbulle/rubrique141.asp, 2010.
 - [2] Belleret R., *Le Monde*, 29 septembre 2004.
 - [3] Watin-Augouard J., *La revue des marques*, octobre 1995, 12.
 - [4] www.lesartsdecoratifs.fr/francais/publicite/collections-97/l-univers-de-la-publicite/marques-et-personnages/perrier, 2010.
 - [5] Anonyme, *Le Monde*, 8 novembre 1989.
 - [6] Anonyme, *Le Monde*, 10 novembre 1989.
 - [7] Lorenz E., Conférence à l'American Association for the Advancement of Science, 1972.
 - [8] www.charmeck.org/Departments/LUESA/Home.htm, 2010.
 - [9] Nau J.-Y., *Le Monde*, 16 février 1990.
 - [10] Petit R., Communication personnelle, 2004.
 - [11] Doyere J., *Le Monde*, 13 février 1990.

- [12] Chirof F., *Le Monde*, 16 février 1990.
- [13] Marti S., *Le Monde*, 16 février 1990.
- [14] Monin J., *Le Monde*, 16 février 1990.
- [15] Chirof F., *Le Monde*, 1^{er} juillet 1990.
- [16] Belot L., *Le Monde*, 10 août 2001.
- [17] Amalou F., *Le Monde*, 24 juin 2004.
- [18] Clavreul L., *Le Monde*, 14 juillet 2007.
- [19] Clavreul L., *Le Monde*, 21 février 2008.
- [20] Redondo R., Yélamos J., *Food Chemistry*, 2005, 92, p. 507.
- [21] Hileman B., *Chemical and Engineering News*, 24 avril 2006, 84(17), p. 10.
- [22] Nyman P.J., Diachenko G.W., Perfetti G.A., McNeal T.P., Hiatt M.H., Morehouse K.M., *J. Agric. Food Chem.*, 2008, 56, p. 571.



Ancien directeur de recherche au CNRS, **Patrick Arpino** est membre du Bureau de la division Chimie analytique de la Société Chimique de France et du Comité éditorial de *L'Actualité Chimique*.

Courriel : patrick-arpino@chimie-paristech.fr

Le risque chimique spécifique aux déchets

Philippe Pichat

Résumé Le détenteur d'une matière, d'un produit ou d'un objet en prend soin, compte tenu de la satisfaction ou du profit qu'il compte en tirer. Mais son comportement peut être différent lorsqu'il veut s'en débarrasser, et entraîne un risque chimique accru pour notre santé et notre planète. Les déchets sont souvent constitués de mélange de différentes substances, d'où la conjonction de risques. Toutefois la gestion d'un déchet, même toxique ou dangereux, présente l'opportunité d'une valorisation lorsque le prix des matières premières le permet. Si ce n'est pas le cas, il est nécessaire d'effectuer un traitement, y compris ultime, pour éviter la dispersion d'éléments toxiques dans notre environnement. L'urbanisation croissante favorise l'augmentation du risque chimique « déchets », qui peut toutefois être abaissé en intervenant dès la conception des produits pour mieux préparer leur fin de vie.

Mots-clés **Déchets, fin de vie, risque chimique, toxicité, hygiène/sécurité, santé publique, environnement, traitement ultime.**

Abstract **Reducing the chemical risk of wastes**
Material products are purchased and owned for purposes of enjoyment or profit. Problems arise when the useful life of the product is finished and it is time for disposal. In many cases, disposal of wastes results in dispersion into the environment and often in chemical risks to human health and even to the well-being of the planet. Wastes are often mixtures of substances not only with different particular risks but also with potential for synergistic effects. Of course some wastes, even toxic substances (such as heavy metals) can be recovered and recycled if there is a market and the price is high enough. However, when this is not the case, it is essential to immobilize the wastes in a form that is insoluble and non-reactive, generally by solidification. The increasing complexity of products in the urban environment also creates risks associated with end of life disposal. These risks can be minimized by a life-cycle approach, which means planning for ultimate disposal at the time of product conception and process design.

Keywords **Wastes, end of life, chemical risk, toxicity, safety, public health, environment, ultimate recycling, life cycle approach.**

Dans notre vie professionnelle comme dans notre vie privée, nous sommes tous directement ou indirectement producteurs de déchets, c'est-à-dire de matières, d'objets dont on souhaite se débarrasser parce qu'ils n'ont plus d'utilité [1]. Un déchet peut non seulement être encombrant mais aussi présenter un risque pour la santé humaine s'il est toxique, explosif, facilement inflammable..., voire même présenter un risque pour notre planète en provoquant une pollution du sol, de l'eau, de l'air... Un déchet peut aussi présenter simultanément ces deux types de danger. La *figure 1* donne une idée des dégâts causés par des déchets de chrome d'un atelier de traitement de surface expertisé.

Il existe de nombreux autres types de déchets susceptibles de produire des dommages [2]. Dans la suite de cet article, nous verrons tout d'abord pourquoi il y a un risque chimique « spécifique déchets », puis comment le gérer et enfin, nous aborderons l'évolution du risque déchets.

Le « continent déchets »

Il est formé de territoires très différents : on distingue classiquement selon leur provenance des déchets miniers, industriels, agricoles, domestiques et radioactifs (*tableau 1*). On peut distinguer aussi les déchets de consommation et de production par exemple. L'abandon de ces produits génère ultérieurement des déchets de consommation dont certains, par leurs caractéristiques, s'apparentent en fait aux déchets

industriels toxiques, que l'on peut retrouver en partie dans les réseaux d'assainissement des zones industrielles et des villes.

En France (65 millions d'habitants), la quantité totale de déchets produits est estimée à 700 millions t/an – elle est plus importante dans d'autres pays (États-Unis...) [2].

Les déchets sont caractérisés par divers paramètres, mentionnés ci-après.



Figure 1 - Les déchets de chrome de cet atelier de traitement de surface ont même détérioré le mur ! On imagine les répercussions sur la santé du personnel... Photo : P. Pichat.

Tableau I - Le « continent déchets » : quelques exemples.

Provenances	Déchets
Minérale	Préparation de minerais
Agricole	Déjections animales
Objet	La fabrication d'un vélo d'un poids de 10 kg génère 6 kg de résidus (déchets d'alliages d'acier au chrome et au molybdène, fluides de coupe usés...)
Énergie	Thermique, électrique (exemple : cendres volantes de charbon [2])

Les éléments chimiques constitutifs

Notre planète est constituée d'une centaine d'éléments chimiques. À l'exception de l'arsenic et plus récemment du plomb, la toxicité de certains d'entre eux est moins connue, et leur dangerosité encore moins (*tableau II*). D'autre part, le carbone ne présente pas de risque par lui-même, mais certains de ses composés nécessitent des précautions et on peut les retrouver dans les déchets, comme les déjections, contenant des micro-organismes pathogènes, en particulier de type anaérobie, leurs toxines, les cyanures.

Les molécules et ions constituants

D'une façon plus générale, la flore, la faune, le sol, les eaux et l'atmosphère de notre globe sont constitués par des dizaines de milliers de combinaisons des éléments du tableau. Les êtres humains, eux, ont synthétisé des dizaines de milliers de nouvelles substances : 80 000 environ évaluées dans le programme européen REACH seraient en usage [3]. Quelques-unes, telles que les cyanures, phénols,

Tableau II - Dangerosité et toxicité des éléments chimiques.
En jaune : risque de danger, en rouge : risque de toxicité pour la santé humaine.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
H							He
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe, Co, Ni
Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru, Rh, Pd
Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os, Ir, Pt
Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn

composés aromatiques ou métaux lourds... peuvent se retrouver dans des déchets et présenter un risque. C'était le cas d'un atelier de traitement de surfaces qui stockait dans une lagune après neutralisation des boues d'hydroxydes de nickel, cuivre, chrome, cadmium... jusqu'au jour où la compagnie des eaux locale mesura des quantités anormalement élevées de ces métaux « dans la ressource en eau ». Ces ions métalliques avaient migré à travers l'argile qui n'avait pas été mise en place correctement plusieurs années auparavant pour, en principe, étanchéifier la lagune. Une moindre vigilance aurait provoqué un risque chimique sournois pour les populations locales.

Les fonctions chimiques présentes

Des déchets comportent des fonctions chimiques telles que acide fort, oxydant énergétique, phénol... qui présentent un risque par elles-mêmes et éventuellement un risque accru par interaction entre elles – un oxydant énergétique avec un réducteur énergétique par exemple.

Le type de danger pour la santé humaine et l'environnement

Les différents risques chimiques des déchets pour les êtres vivants et/ou pour l'environnement sont représentés par des pictogrammes (*figure 2*) [4]. Ces types de dangers doivent être complétés par les risques CMR (cancérogènes, mutagènes, reprotoxiques). Ces pictogrammes rappellent la grande diversité des risques qu'encourent l'environnement et les êtres humains par contact, par inhalation (particules, aérosols...) ou par ingestion des déchets. La toxicité pour les êtres vivants peut être aiguë, comme à Abidjan (Côte d'Ivoire) en août 2007, suite au déversement dans une décharge d'un déchet de soude concentrée. La soude ayant été utilisée pour raffiner du pétrole, le déchet contenait donc sulfure d'hydrogène, mercaptans et crésol, ce qui a entraîné des dizaines de morts et des centaines de personnes intoxiquées [5].

La toxicité peut être aiguë, mais également lente et insidieuse [6]. Le risque chimique peut aussi être provoqué par des déchets classifiés à caractère non toxique (végétaux...), par exemple lorsqu'ils sont déversés en quantité importante dans une eau de surface, constituant ainsi un risque pour la vie aquatique et les ressources en eau potable d'une collectivité [7].

La conjonction de différents types de risque

Un être vivant en contact par exemple avec des composés minéraux et des composés organiques toxiques court un risque qui ne se résume pas en une simple addition, mais bien souvent en une synergie de risques. En effet, un

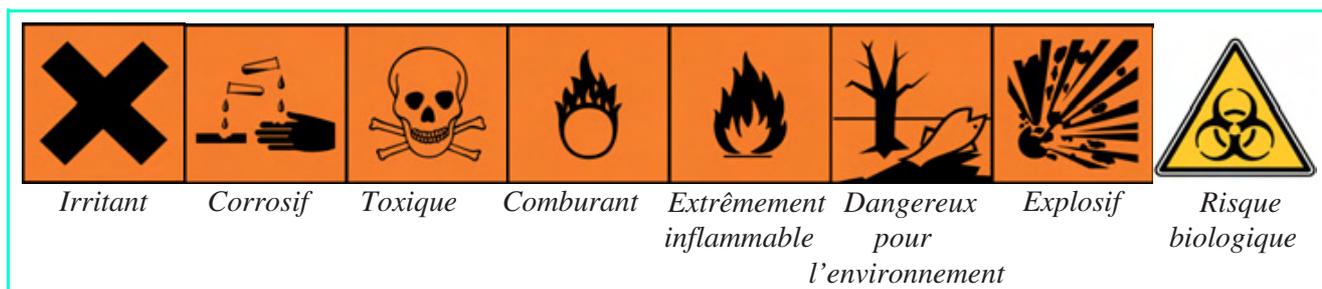


Figure 2 - Les risques chimiques des déchets.

composé peut agir sur le sang, un autre sur les voies respiratoires, un autre sur le système nerveux central, et l'on conçoit que ces actions conjuguées puissent entraîner un risque mortel. Or il est fréquent qu'un déchet soit constitué de plusieurs substances toxiques. Dans le cas de la décharge d'Abidjan, le nombre très élevé de victimes ne peut-il pas être attribué à la conjonction des substances toxiques constituantes du déchet ?

Le transport des déchets

Concernant l'accident d'Abidjan, il n'a pas été fait état d'un risque chimique survenu pendant le transport du déchet ; mais cela aurait pu de surcroît être le cas [5]. De manière plus générale, deux types de risque peuvent survenir lors d'un transport de déchets provenant :

- de son déversement dans la mer (pétrolier Amoco Cadiz...) ou sur terre suite à un naufrage, un chavirement, une collision ou un déraillement [8] ;
- d'une réaction chimique donnant lieu à la formation d'un composé toxique ou dangereux.

En effet, durant son transport, la matière est agitée, tassée – conditions favorables au déclenchement d'une réaction chimique –, d'où l'intérêt d'une réglementation et des pictogrammes appelant une vigilance accrue [9].

L'état physique

Bien connaître l'état physique d'un déchet rend sa gestion moins coûteuse, soit dans une optique valorisation, soit dans une optique traitement. Les installations industrielles de manutention doivent donc d'abord être adaptées à l'état physique du déchet :

- solide (blocs, granulés, poudre...) : on ne sait pas encore assez par exemple que de fines particules de l'ordre du micron d'un déchet solide combustible se comportent de façon similaire à un gaz et peuvent provoquer des incendies, voire des explosions ;
- pâteux (nécessitant d'utiliser des pompes spécifiques) ;
- boue, liquide, gaz...

Les variations des propriétés physiques, chimiques et biologiques dans le temps

Elles sont fréquentes avec les déchets. Un exemple : le gypse résidu, co-produit de l'acide phosphorique fabriqué en voie humide, a des propriétés (teneur en cadmium...) qui dépendent des caractéristiques du minerai de phosphate de calcium, matière première de base.

Le type de conditionnement

Notre vue est habituée à croiser des camions transportant en benne ou en citerne des quantités importantes de déchets. Mais il existe aussi des déchets moins visibles, contenus dans de « petits conditionnements » provenant, par exemple, d'applicateurs de peinture... Dans le camion collecteur de la figure 3, on peut procéder à des essais analytiques rapides qui facilitent l'orientation vers la meilleure filière de valorisation ou de traitement.

« L'opacité » du déchet

Dans le contenu d'une benne d'ordures ménagères, il n'est pas facile de repérer des déchets dangereux tels



Figure 3 - Le camion collecteur de déchets. Photo P. Pichat.



Figure 4 - Comment repérer les déchets dangereux parmi les déchets ménagers ? Photo P. Pichat.

qu'une boîte de désherbant, un produit de dératisation, ou encore une bouteille de solvant chloré... (figure 4).

En résumé

Le « continent déchets » est constitué de produits ou d'objets d'une grande hétérogénéité physique et chimique, aux propriétés variables dans le temps, ce qui rend leur valorisation et leur traitement plus ardu.

La diminution du risque chimique déchets

Pour protéger notre santé et notre environnement, il est nécessaire de gérer les déchets avec rigueur de façon à minimiser les risques chimiques et ne pas imiter les cas expertisés (figure 5).

La nécessité de nombreux essais analytiques

Pour optimiser la gestion des différents déchets, il est nécessaire de bien connaître préalablement leurs caractéristiques physiques et chimiques (voir chapitre précédent) par des essais analytiques [10].

Le premier risque chimique, et non le moindre, est rencontré lors de l'ouverture du conditionnement contenant le déchet. L'opérateur va-t-il devoir affronter un dégagement de COV (composés organiques volatils), une inflammation, une mini-explosion ? Des précautions doivent donc être prises au niveau de la protection individuelle du personnel.

Le conditionnement ouvert, on prélève un échantillon le plus représentatif possible – opération particulièrement difficile avec les déchets compte tenu de leur hétérogénéité. En ce qui concerne leur composition, il est nécessaire de connaître les principaux éléments chimiques présents : tout d'abord, s'agit-il d'une matière carbonée ou minérale ? Dans



Figure 5 - « Stockage » d'un déchet dans une lagune, sans doute avec l'espérance d'une évaporation rapide, voire d'une infiltration dans le sous-sol... Photo P. Pichat.

ce dernier cas, on peut utiliser la fluorescence de rayons X et l'échantillon est soumis à un intense faisceau de rayons X. Les éléments chimiques constituant l'échantillon sont excités par l'énergie ainsi envoyée. Ils réémettent un rayonnement caractéristique de chaque élément chimique de longueur d'onde plus grande : c'est le phénomène de fluorescence.

Des méthodes analytiques plus sensibles sont également nécessaires pour savoir si le déchet ne contient pas certains éléments (chrome...) qui peuvent avoir un caractère toxique, même à faible concentration. Le déchet est alors soumis à un plasma, créé par induction (ICP) ; la matière est vaporisée et un élément, même à l'état de trace (ppm), peut ainsi être détecté et sa concentration évaluée en mesurant son spectre d'émission.

La technique de l'absorption atomique est utilisée pour détecter des quantités encore plus faibles (ppb) d'éléments toxiques tels que le mercure ou l'arsenic. Ces essais analytiques doivent être complétés : un élément chimique comme le chrome existe sous plusieurs états, par exemple le chrome de valence/degré d'oxydation 6 est nettement plus toxique que le chrome de valence 2.

Il est nécessaire de procéder encore à d'autres types d'analyse, comme par exemple déterminer si les déchets sont facilement inflammables, quel est leur pouvoir calorifique, s'ils ont un caractère explosif ou très oxydant...

La gestion des déchets

Lorsque les caractéristiques du déchet sont connues, on possède les bases techniques d'une gestion, mais cet aspect ne suffit pas : l'aspect technique ne peut être dissocié de l'aspect « économique » [11]. La première question à se poser est : est-il valorisable ? Cet aspect est à vérifier continuellement car le prix d'une matière est fluctuant : il est le résultat de la confrontation entre l'offre et la demande et dépend de la conjoncture économique [2]. De plus, le prix peut être aussi le résultat d'une lutte commerciale (dumping... ou pénurie organisée).

Prenons l'exemple d'un déchet dont la valorisation n'est pas possible avec le prix actuel des matières premières utilisées : certains consommateurs souhaitent des jantes de roues de bicyclette très brillantes. Celles-ci s'obtiennent en faisant un traitement de surface aux jantes en acier : on leur applique du chrome dans un bain. Le chrome présent dans le bain est consommé peu à peu et s'appauvrit jusqu'à une concentration trop faible pour qu'il soit encore utilisable. Devenu un « déchet », il n'est pas valorisable tel quel. Pour diminuer son danger « chimique », il est neutralisé par un réactif basique (NaOH...), avec l'avantage supplémentaire



Figure 6 - Cuve de neutralisation d'un déchet acide. Photo P. Pichat.

que des éléments toxiques (cuivre, nickel...) précipitent sous forme d'hydroxydes peu solubles.

La neutralisation d'un déchet acide se fait en recueillant la boue d'hydroxydes métalliques dans une cuve (figure 6). Sa teneur en eau est alors substantiellement diminuée en l'envoyant dans un filtre presse dans lequel, sous l'influence de la pression et du vide, de l'eau va être extraite et recyclée dans l'environnement. Par précaution supplémentaire et pour diminuer le risque chimique pour l'environnement dû aux hydroxydes de métaux lourds, les éléments du gâteau du filtre presse sont convertis sous forme de silicates et d'aluminates. Ces familles de composés ont fait la preuve de leur stabilité dans le temps depuis 2 000 ans puisqu'ils sont les principaux constituants du béton romain utilisé dans la construction d'aqueducs par exemple (figure 7).

D'une façon plus générale, les opérations de gestion des déchets peuvent être représentées par le schéma de la figure 8 qui permet de voir les étapes menant jusqu'au bout de la dépollution [12]. Le producteur de déchets a tendance à externaliser entièrement ou partiellement l'activité du « centre de gestion » à des entreprises spécialisées [11].

En résumé, le risque chimique déchets tant pour les êtres vivants que pour l'environnement est présent durant toutes les étapes de leur gestion (figure 9). L'inobservation immédiate de ces règles de gestion ne fait que différer leur coût et les amplifier [2]. Quant au producteur du déchet, dans les pays responsables, il prend un risque sur le plan pénal, civil et administratif.



Figure 7 - Les silicates et les aluminates de calcium, principaux constituants du béton romain. Photo P. Pichat.

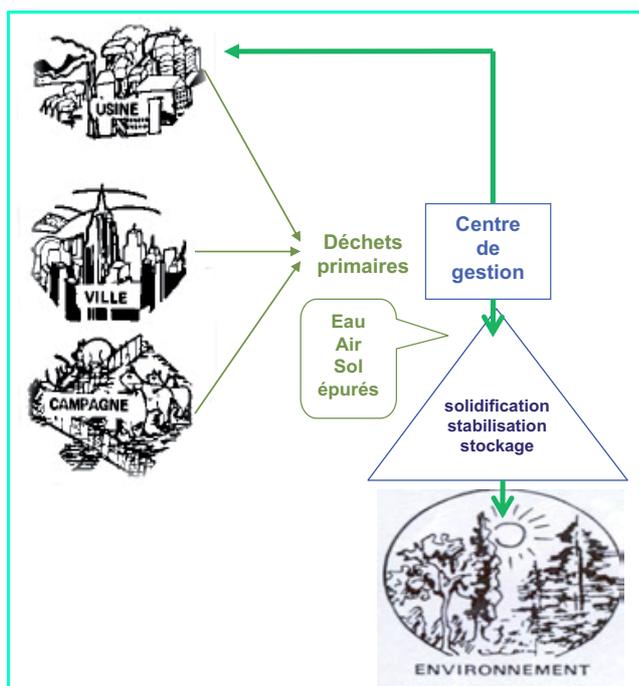


Figure 8 - Lutte contre la dispersion du risque chimique.

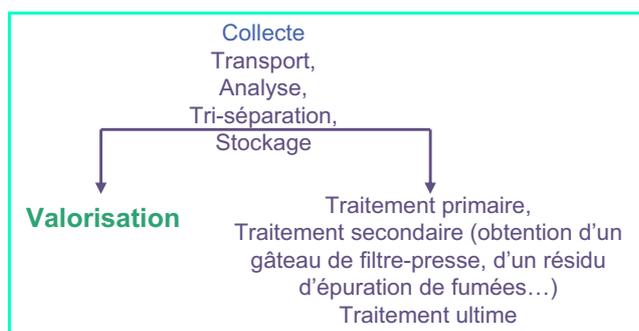


Figure 9 - Les étapes de la gestion des déchets.

Évolution du risque chimique déchets

« *It is better to be alarmed and scared now than to be killed hereafter* » : « *il faut mieux être alerté et avoir peur maintenant que d'être tué plus tard* » écrivait Winston Churchill en 1935 face au risque nazi. Nous avons maintenant à faire face à un danger, certes non militaire, mais plus insidieux et universel. Pour mieux l'évaluer, rappelons d'abord le passé [2].

Lorsque j'étais enfant, chez mes grands-parents dans la campagne bourguignonne, on prenait soin des objets ; on les entretenait, on les réparait ; on rétamait ainsi les casseroles. Lorsqu'ils devenaient vraiment inutilisables, on en récupérait des éléments. De temps en temps passaient des ferrailleurs, à qui l'on vendait quelques objets en métal car le fer, le cuivre, l'étain, le bronze étaient recherchés... On faisait les courses avec des cabas et des pots. Il n'y avait pas d'emballages, si ce n'est du papier journal. Aucune maison n'avait l'eau courante, on allait à la fontaine ; c'est pourquoi l'eau était économisée. On employait peu de médicaments, de produits chimiques, si ce n'est du savon et de l'eau de Javel, mais peu, car le lavage se faisait essentiellement avec les cendres de bois de la cuisinière. Les vignes et arbres fruitiers étaient traités au plus juste, au sulfate de cuivre neutralisé par de la chaux pour les protéger du mildiou. En

résumé, tant les déchets de consommation que ceux de production étaient minimisés, et le risque chimique tant pour les êtres humains que pour l'environnement était faible.

La situation a changé dans les pays occidentaux. Au niveau planétaire, il se pourrait que le risque chimique déchets augmente encore dans les années à venir pour plusieurs raisons :

- L'augmentation de la production de déchets due à la poussée démographique en Asie, en Afrique, en Amérique du sud et en Amérique centrale. La population mondiale, estimée aujourd'hui à sept milliards d'habitants, passerait à huit milliards dans dix ans et à dix milliards dans vingt ans [6].
- L'évolution de la composition des déchets : un éventuel ralentissement de l'augmentation de la population pourrait être compensé par la croissance d'une classe moyenne ayant pour objectif l'« American way of life », désireuse d'acquiescer des produits électroniques contenant une proportion non négligeable de produits ayant un caractère toxique (PC, téléphones, TV...).
- L'augmentation de l'urbanisation avec la formation de mégapoles. Actuellement, la moitié de la population vit dans des villes ; cela pourrait atteindre 70 %, voire 80 % dans vingt ans. Il y aurait huit cents centres urbains dépassant le seuil du million d'habitants ! Or l'urbanisation est une cause majeure du rejet de déchets : compte tenu de l'exiguïté de son logement et du peu d'espace de rangement dont il dispose (pas de cave, de bûcher, de grenier ou de remise), le citadin jette (toutes proportions gardées) beaucoup plus que son ancêtre campagnard qui pouvait faire la valorisation de proximité décrite précédemment. L'urbanisation provoque une concentration de la production de déchets dans un espace réduit, donc une augmentation du risque chimique déchets vis-à-vis des populations et de l'environnement.
- L'augmentation de la concurrence internationale : pour rester davantage compétitives, des entreprises compriment les coûts d'une gestion responsable des déchets [2, 13]. Par ailleurs, la concurrence internationale existe aussi en matière de gestion de déchets : il arrive que des entreprises responsables soient concurrencées par des filières organisées, à caractère criminel, qui acheminent les déchets dangereux vers des réceptacles les meilleurs marchés possibles [14], même en Europe comme le montre la figure 10.
- L'accroissement du trafic maritime mondial qui entraîne l'augmentation des rejets hydrocarbonés dans les zones internationales maritimes, estimés à 300 000 tonnes/an, en dépit des conventions Marpol [15]. Malgré les moyens de surveillance actuellement mis en œuvre, l'immensité des océans implique que la probabilité pour un bateau d'être pris en flagrant délit reste faible.

Aujourd'hui, le risque chimique déchets est mieux maîtrisé, avec des procédés de gestion et de valorisation toujours en évolution. Le danger au contact de déchets a sensiblement diminué, en particulier par l'utilisation d'équipements de protection spécifiques. Concernant le risque chimique par inhalation, en particulier de composés organiques volatils (COV), le détecteur d'un composé gazeux, qui peut avec fiabilité et rapidement avertir d'une contamination de l'air dans des bâtiments, peut ne plus en être capable à l'extérieur, le composé volatil pouvant en effet ne plus atteindre le détecteur compte tenu de la convection de l'air et de sa dilution rapide.

Des projets de R & D portent ainsi sur :

- l'amélioration des systèmes d'analyse utilisables en milieu industriel qui doivent pouvoir détecter et mesurer un nombre considérable de composés – aux États-Unis, le NIST (National

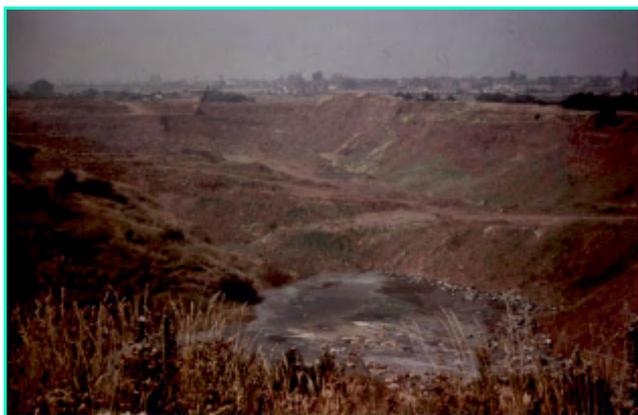


Figure 10 - En Europe, des déchets dangereux en pleine nature...
Photo P. Pichat.

Institute of Standards and Technology) répertorie le spectre de 192 108 composés uniques. Comme vu précédemment, les déchets sont le plus souvent constitués d'un mélange de composés, une situation particulièrement complexe.

- l'amélioration des dispositifs utilisés pour capter les COV et les procédés de traitement de ces composés à un coût raisonnable.
- la mise au point de nouveaux procédés de valorisation et de traitement pour les nouveaux types de déchets qui sont rejetés par les particuliers et les entreprises et qui arrivent dans une installation telle que celle représentée figure 11.

Conclusion

Le détenteur d'une matière, d'un produit ou d'un objet en prend soin compte tenu de la satisfaction ou du profit qu'il compte en tirer. Il n'en est plus de même lorsqu'il veut s'en débarrasser et c'est pourquoi il présente alors un risque chimique accru mais... avec des opportunités, illustration de l'adage « no risk, no reward » (pas de récompense sans risque). À quelques dizaines de mètres de mes locaux par exemple, un déchet liquide toxique est transformé en plaques de nickel de qualité.

De manière générale, le risque chimique d'un déchet est abaissé en procédant à une véritable valorisation et non pas à une pratique de facilité telle que l'utilisation comme remblai, inhibitrice de l'innovation technologique [11]. Lorsque le prix des matières premières ne permet pas une valorisation, il est nécessaire de procéder à un traitement adapté allant jusqu'au bout de la dépollution. En effet, le risque chimique déchets perdure lorsque le traitement ultime n'a pas été effectué avec la meilleure technologie disponible. Il n'y a pas d'autre méthode pour éviter la dispersion de substances toxiques dans l'environnement et abaisser ainsi le risque chimique déchets à court, moyen et long termes pour les êtres vivants et notre environnement. Les producteurs de déchets responsables ont compris qu'ils ont intérêt à se faire épauler pour modifier les procédés de gestion de leurs déchets, en faciliter le tri, en préparer la valorisation... y compris dès la conception des produits pour mieux préparer leur fin de vie, telles les batteries des futurs véhicules par exemple [11].

Notes et références

L'auteur remercie vivement ses collègues qui ont bien voulu relire ce texte.

- [1] Définition 91/56/EEC.
[2] Pichat P., *La gestion des déchets*, Flammarion, 1995.



Figure 11 - Centre de valorisation et de traitement de 200 000 t/an de déchets toxiques et dangereux (Yvelines).

- [3] Sillion B., L'innovation chimique dans la perspective de REACH, *L'Act. Chim.*, 2008, 323-324, p. 4 ; Rapport scientifique de l'INERIS, 2007-2008 ; Pichat P., *L'innovation : un concept et une démarche nouvelle pour maîtriser l'innovation technologique*, Ed. Chotard, 1989, p. 53.
- [4] Un système d'harmonisation se met en place avec un nouvel étiquetage des produits qui entrera en vigueur le 1^{er} décembre 2010. Voir : Messal R., Vers une nouvelle classification des produits chimiques, *L'Act. Chim.*, 2008, 319, p. 48 ; Tissot S., REACH : les éléments fondamentaux du dispositif, *L'Act. Chim.*, 2009, 333, p. 58 ; Maison A., Le nouveau système de classification et d'étiquetage des produits chimiques, *L'Act. Chim.*, 2010, 341, p. 41.
- [5] *L'Express*, 16/8/2007, p. 48 ; Elbert J., Fisher K., Ablagerung toxischer Chemieabfälle im August 2006 in Abidjan, Republik Côte d'Ivoire: Versuch einer Rekonstruktion, *Umwelt Wissenschaften und Schadstoff-Forschung*, Springer, 2007, 19(4), p. 265.
- [6] Manahan S.E., *Hazardous Waste Chemistry, Toxicology and Treatment*, Lewis Publishers, 1990 ; Pollution and sanitation problems as setback is to sustainable water resources management in Freetown, Senesie K.B., *Journal of Environmental Health*, 2008, 71(5), p. 34 ; Savory B., Vincent R., Caractérisation des risques chimiques potentiels dans quelques filières de traitement des déchets, INRS, 2007, INRS ND 2271-207-07.
- [7] Réunion d'Intermines, Association des anciens des écoles des Mines, Paris, déc. 2005.
- [8] Huge oil spill accident and the environmental damages at Taen Peninsula, South Korea. January 2008. Tazaki K., Suzuki S., Fujisawa E. (Hokuriku Branch, The Association for the Geological Collaboration in Japan, Kanazawa 920-1192, Japon) ; Chikyu K., Chigaku Dantai Kenkyukai, 2009, 63(1), p. 29.
- [9] www.troyes.cci.fr/pdf/securite_memento_transport.pdf
- [10] Pichat P., Analyses en Laboratoire, Compagnie des experts près des Cours administratives d'appel de Paris et de Versailles, Programme de formation, 9 mars 2009.
- [11] Stefaniak S., Twardowska I., Hazardous impacts on groundwater associated with the use of coal mining wastes in engineering construction, *Zeszyty Naukowe Politechniki Slaskiej, Gornictwo*, 2008, 285, p. 271 ; Déchets dangereux. Maîtriser les risques, valoriser les matières, *Galileo*, Veolia Propreté, déc. 2008, 6, p. 20 ; Entretien avec Olaf Kropp, directeur d'AGS, p. 35.
- [12] Pichat P., Aller jusqu'au bout de la dépollution : le traitement ultime des déchets toxiques, *L'Act. Chim.*, 2004, 277-278, p. 70.
- [13] Tremblay J.F., In the Hazaribagh district of Dhaka, Bangladesh, archaic tanneries put workers and the environment at risk., *Chemical & Engineering News*, 2009, 87(5), p. 18.
- [14] How billions are made through dumping waste-with little public outcry, *Business Week*, 27 janv. 2003 ; Here's to "old pals", *Business Week*, 28 fév. 1994, p. 50 ; Japan-industrial waste dumping, *International Environment Reporter*, 18 sept. 1996.
- [15] *The State of the Marine Environment: trends and processes*, UNEP/GPA, 2006 ; *Oil in the Sea III: inputs, fates and effects*, National Research Council, 2003.



Ingénieur et docteur ès sciences, **Philippe Pichat** participe à la mise en place de procédés industriels de valorisation et de traitement, y compris ultime, de déchets toxiques et dangereux.

Courriel : ppichat@sarpindustries.fr

Nominations



Jean-Marc Le Lann, président de la FGL

Ingénieur de l'Institut du génie chimique de Toulouse, professeur et directeur de l'École nationale supérieure des ingénieurs en arts chimiques et technologiques (ENSIACET Toulouse), Jean-Marc Le Lann a été élu en mars dernier à l'unanimité à la présidence de la Fédération Gay-Lussac pour une période de deux ans. Il succède au professeur Joël Moreau, directeur de l'ENSC Montpellier, arrivé au terme de son mandat.

• www.19ecolesdechimie.com

Helga Nowotny à la tête de l'ERC

Le Conseil européen de la recherche (European Research Council, ERC) a nommé à sa présidence l'Autrichienne **Helga Nowotny**. Professeur émérite reconnue en sociologie des sciences (EPF Zurich), auteur de plusieurs ouvrages, elle a pris ses fonctions le 1^{er} mars dernier.

Créé en 2007 dans le cadre du 7^e PCRD au titre du programme spécifique « Idées », l'ERC est un organisme paneuropéen de financement autonome doté de 7,5 billions d'euros, dont l'objectif est de stimuler l'excellence et la créativité de la recherche européenne en soutenant des activités de « recherche exploratoire » à l'initiative des chercheurs eux-mêmes, dans tous les domaines scientifiques. Plus de 900 projets ont été soutenus jusqu'à présent, le seul critère de sélection des candidats à l'obtention d'une bourse de l'ERC étant l'excellence. L'ERC est constitué d'un conseil scientifique indépendant et d'une structure de mise en œuvre spécialisée.

• <http://erc.europa.eu>

Appels à candidatures

Prix La Recherche 2010



Créé en 2004 à destination des chercheurs francophones, ce prix est ouvert à toutes les disciplines scientifiques, au carrefour de la recherche fondamentale ou appliquée, et encourage la pluridisciplinarité,

la francophonie et la diffusion des connaissances. Pour cette 7^e édition seront décernés le prix Mobilité durable (parrainé par Renault), le prix Santé humaine

(parrainé par les laboratoires Servier) et le prix du Ministère (parrainé par le Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche). Chaque lauréat, ou équipe lauréate, recevra 10 000 € et verra ses travaux communiqués au grand public par le biais d'une publication dans *La Recherche*.

Date limite de dépôt des dossiers :
31 mai 2010

• www.leprixlarecherche.com

Prix de thèse

« Gaston Berthier » 2010

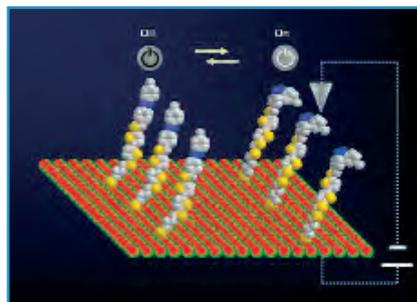
Ce prix du Réseau Français de Chimie Théorique (RCTF) a pour ambition de récompenser une thèse marquante dans le domaine de la chimie théorique, et de commémorer par la même occasion la précieuse contribution que Gaston Berthier (1923-2009) a apportée au développement de la chimie quantique et à la formation des jeunes chimistes théoriciens français.

Seront éligibles lors de cette 1^{ère} édition les thèses soutenues en France entre le 1^{er} octobre 2009 et le 30 septembre 2010 (non dirigées par les membres du RCTF). Les dossiers de candidatures (CV, avis du directeur de thèse, manuscrit, rapports des rapporteurs et de soutenance, copie des publications) devront être adressés au professeur Claude Pouchan par courrier postal **avant le 1^{er} novembre 2010**. Le lauréat recevra une bourse de 1 500 € et pourra présenter une conférence aux prochaines Rencontres des chimistes théoriciens français (Marseille, 2012).

• **Claude Pouchan, Université de Pau et des Pays de l'Adour, UMR 5254 - IPREM, Équipe Chimie-Physique, Hélioparc, 2 avenue du Président Angot, 64053 Pau Cedex 09.**

Recherche et développement

Des molécules pour l'électronique



© Jean Roncali/LCIM.

En électronique, le comportement d'un circuit logique est dit binaire car il est caractérisé par deux états : l'état 0 qui représente la valeur off et l'état 1 qui représente la valeur on. Pour accéder au stade ultime de miniaturisation de la taille des circuits électroniques, de nombreuses recherches sont actuellement

menées pour synthétiser des molécules qui miment les opérations élémentaires de circuits logiques comme le passage d'un état à l'autre (isolant ou conducteur, par exemple), à la manière d'un interrupteur, au sein de molécules ou d'architectures moléculaires individuelles. Aujourd'hui, il existe de nombreux exemples de molécules capables de se comporter comme un interrupteur moléculaire. Un des enjeux des recherches dans le domaine de l'électronique moléculaire est de mesurer directement la variation de conductance. Cette mesure est incontournable pour envisager l'insertion de ces molécules dans des dispositifs. Un moyen de réaliser la mesure est de préparer une monocouche de molécules auto-assemblées (SAM), déposées sur une surface d'or, voie de synthèse particulièrement adaptée puisqu'elle permet d'accéder aux propriétés électroniques de molécules en utilisant des techniques de microscopie à champ proche. Si la préparation de SAM a été largement développée, un défi majeur consiste à réaliser maintenant, au sein de telles couches, des mouvements moléculaires capables de conduire à une commutation des propriétés électriques de la molécule immobilisée sur la surface.

Deux articles récents ont décrit des SAM à base de systèmes conjugués (oligophénylènes comportant un groupe azobenzène). L'irradiation de la monocouche à l'aide d'une lumière de longueur d'onde appropriée provoque un mouvement moléculaire (photo-isomérisation *trans/cis* de l'azobenzène). Ce mouvement engendre le repliement de la molécule entraînant ainsi une réduction de l'épaisseur de la SAM et l'augmentation du courant tunnel à travers la molécule. Une variation d'un facteur 30 du courant entre l'état off (trans azobenzène) et l'état on (cis-azobenzène) a ainsi été mesurée par microscopie à force atomique.

Dans le cadre d'un projet ANR PNANO, le groupe Systèmes Conjugés Linéaires du Laboratoire Chimie, Ingénierie Moléculaire d'Angers (CNRS/Université d'Angers), en collaboration avec des chercheurs de l'Institut d'Électronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie (CNRS/Université Lille 1), vient de synthétiser de nouvelles séries de systèmes conjugués photo-commutables à base d'oligo-thiophènes comportant des groupes azobenzènes [1]. La caractérisation de ces systèmes a permis de montrer que l'ingénierie moléculaire de tels systèmes permet d'augmenter d'un facteur 100 le ratio on/off qui atteint maintenant des valeurs record de l'ordre de 3 500.

Ces résultats ouvrent de nouvelles perspectives en électronique moléculaire tant en ce qui concerne l'ingénierie des architectures moléculaires actives que la conception de nano-dispositifs dérivés de ces systèmes conjugués.

[1] Karpe S., Oçafraïn M., Smaali K., Lenfant S., Vuillaume D., Blanchard P., Roncali J., Oligothiophene-derivatized azobenzene as immobilized photoswitchable conjugated systems, *Chem. Commun.*, 2010, doi: 10.1039/c002072a.

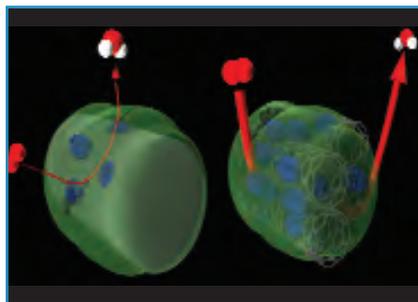
• Source : CNRS, 26 mars 2010.

Un portail pour faciliter les collaborations entre entreprises et recherche publique

Mis en place par l'Agence nationale de la recherche (ANR) à l'initiative de la ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, ce site gratuit interroge et agrège toutes les bases de données publiques pour répondre aux questions que peuvent se poser les entreprises et les chercheurs concernant leurs projets de R & D. Il permet aux entreprises de proposer des projets de recherche aux laboratoires publics, sous forme d'appels à projets ouverts.

• www.lemoteurdelarecherche.fr

La biopile la plus puissante jamais réalisée



Représentation schématique de la réduction de O_2 sur une fibre de carbone (à gauche) et sur une fibre de nanotubes de carbone (à droite) (en vert : polymère redox ; en bleu : enzyme).

© S. Chevalier/CRPP.

Après avoir réalisé une biopile capable de produire de l'électricité à partir de la photosynthèse d'un cactus [1], des chercheurs du Centre de recherche Paul Pascal du CNRS (CRPP) viennent de mettre au point la plus puissante et la plus petite biopile jamais réalisée [2].

De manière générale, améliorer les performances des dispositifs électrochimiques (capteurs, biopiles, actionneurs...) nécessite de concevoir des électrodes dont les matériaux répondent à des exigences de plus en plus strictes. Le transport de matière dans l'électrode doit être le plus faible possible et la surface spécifique des matériaux qui constituent l'électrode doit, elle, être très importante, pour augmenter la surface réactionnelle. Comment jouer avec ces deux paramètres pour augmenter la quantité de courant fournie par la pile ?

La limitation du transport de masse peut notamment être diminuée en réalisant des microélectrodes. Pour augmenter la

surface spécifique de l'électrode, un défi des recherches actuelles est d'augmenter sa porosité. Ceci revient à augmenter la surface réactionnelle de l'électrode sans toucher à ses dimensions. C'est une première que l'équipe Biopiles et l'équipe Nanotubes du CRPP pilotées par Nicolas Mano et Philippe Poulin ont réalisée en mettant au point de nouvelles microélectrodes à base de fibres de nanotubes de carbone de grande porosité, présentant une grande surface spécifique ($> 300 \text{ m}^2/\text{g}$) et dont le diamètre ne mesure que quelques microns. En utilisant ces fibres à l'anode et à la cathode, les chercheurs viennent de mettre au point la biopile glucose/ O_2 la plus puissante et la plus petite réalisée à ce jour, générant un courant électrique d'une puissance inégalée de $740 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ à $+ 0,57 \text{ V}$ (contre entre 1 et $50 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ jusqu'à présent).

Pour mettre en évidence les performances de cette biopile, les chercheurs ont tout d'abord étudié la réduction de l' O_2 et établi des comparaisons avec les meilleurs systèmes concurrents réalisés avec des fibres de carbone. Après modification avec des bioélectrocatalyseurs (polymère + enzyme), il a été possible de réduire l' O_2 à une densité de courant de $1,5 \text{ mA}/\text{cm}^2$ sur une fibre de nanotubes de carbone alors que l'on obtenait seulement $0,3 \text{ mA}/\text{cm}^2$ en utilisant une fibre de carbone « classique ». De plus, une fois modifiées, les fibres de nanotubes se sont montrées dix fois plus stables que des fibres de carbone. Ces résultats démontrent clairement les avantages de telles électrodes : augmentation de la surface spécifique de l'électrode et de la densité de courant limite, amélioration des transferts électroniques entre l'enzyme et l'électrode, et de la stabilité du système.

Ces nouvelles électrodes sont un progrès considérable pour la réalisation de futurs dispositifs comme des capteurs bioélectrochimiques ou des biopiles pour l'alimentation de capteurs médicaux ou d'appareils électriques portables (communication, électronique).

[1] voir brève p. 51 dans le numéro du mois dernier.

[2] Gao F., Viry L., Maugey M., Poulin P., Mano N., Engineering hybrid nanotube wires for high-power biofuel cells, *Nature Communications*, 12 avril 2010, www.nature.com/ncomms/journal/v11/n1/full/ncomms1000.html#.

• Source : CNRS, 13 avril 2010.

Pour en savoir plus et découvrir les autres actualités de l'Institut de chimie du CNRS, rendez-vous sur www.cnrs.fr/inc

Industrie

Une première unité de bioplastiques en Europe

Futero (joint-venture entre Galactic et Total Petrochemicals) vient d'inaugurer



son unité de démonstration de bioplastiques à Escanaffles (Belgique), destinée à développer une technologie de pointe pour la production de bioplastiques d'origine végétale renouvelable, de type PLA (acide polylactique), mise au point par les deux partenaires.

À la fois propre, innovante et compétitive, cette technologie comprend deux étapes principales : la préparation et la purification du monomère (le lactide) à partir de l'acide lactique, obtenu par un procédé de fermentation du sucre issu notamment de la betterave, suivies de la polymérisation du monomère afin d'obtenir des granules de plastique d'origine végétale et biodégradables (le PLA).

Avec cette usine d'une capacité de 1 500 t/an, qui aura nécessité 15 millions d'euros d'investissement et quinze années de développement, Futero devient le premier producteur de ce type de bioplastiques en Europe, capable de fabriquer une gamme complète de produits à partir de l'acide lactique qui seront destinés en particulier au marché de l'emballage, notamment alimentaire.

• Source : Futero, 16 avril 2010. www.futero.com

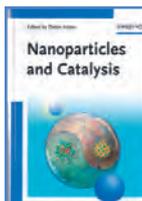
Axens et Headwaters Inc. s'allient pour liquéfier le charbon

Headwaters Inc., société américaine dédiée à l'amélioration de la durabilité par les transformations des ressources sous-utilisées en produits à forte valeur ajoutée, et Axens, axée sur le raffinage, la pétrochimie, avec des larges gammes de technologies et produits (catalyseurs et adsorbants), ont signé un accord pour former une alliance stratégique afin de produire des carburants propres par liquéfaction directe du charbon (DCL), seul ou en combinaison avec des résidus de raffinerie ou de la biomasse. La nouvelle « Alliance DCL » regroupera en une seule offre l'ensemble des technologies et services utiles à ce procédé.

Les deux entreprises ont fourni les dossiers d'ingénierie de base qui ont contribué à la construction et au démarrage réussis de la première usine commerciale de DCL en Chine en décembre 2008, et plusieurs nouveaux projets sont à l'étude par la nouvelle alliance.

• Source : Axens, 20 janvier 2010.

Livres

**Nanoparticles and catalysis**

D. Astruc (ed.)

640 p., 300 €

Wiley-VCH, 2008

Cet ouvrage collectif et international comporte dix-huit contributions de chercheurs spécialistes du sujet réunies par Didier Astruc, professeur à l'Université de Bordeaux et à l'Institut Universitaire de France. Dans sa préface, il constate l'importance que revêtent actuellement les nanosciences en catalyse hétérogène comme en catalyse homogène, domaines où l'on a considéré les « nano » bien avant que le terme soit inventé (premières nanoparticules développées pour la photographie au XIX^e siècle) et connaisse la fortune que l'on sait. Ces nanoparticules sont donc des agrégats d'une dizaine à plusieurs milliers d'atomes métalliques (de un à plusieurs dizaines de nanomètres), stabilisés par des ligands, des tensio-actifs, des polymères, des dendrimères, qui protègent leur surface et peuvent éventuellement modifier l'accès des molécules réagissantes. En tant que catalyseurs, elles peuvent être fixées sur des supports solides afin de permettre un recyclage plus aisé, ou bien employées telles quelles en phase homogène, colloïdale, etc. Dans ce livre sont traitées aussi bien les méthodes de synthèse permettant de conférer aux nanoparticules une stabilité et des formes particulières, que leurs principales applications dans des réactions catalytiques qui vont du reformage des hydrocarbures pour faire de l'hydrogène à des synthèses organiques diverses, en passant par la dépollution et la « chimie verte ». C'est dire que (presque) toutes les thématiques actuelles en catalyse sont concernées par l'utilisation et le développement des nanoparticules de métaux de transition (NPMT), ce qui conduit même D. Astruc à définir une catégorie de chercheurs travaillant en catalyse « semi-hétérogène » tant est nécessaire le recouvrement des notions des deux sous-disciplines.

Un chapitre d'introduction retrace l'histoire du développement des nanoparticules (NP) et présente les principaux concepts ainsi qu'un très

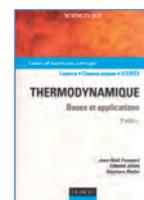
grand nombre de réactions et types de nanoparticules, justifiant ainsi le plan de l'ouvrage. Il est ainsi rappelé que les premières études ont principalement porté sur des réactions d'hydrogénation des C=C, C=O et C=N, la réduction des liaisons N-O et la formation des liaisons C-C. La caractéristique de ces travaux réside dans l'emploi des NPMT en électrocatalyse, ce qui a été utile pour les piles à combustible. Une série de contributions a trait à des méthodes de synthèse variées, qui ont évidemment pour but d'améliorer les propriétés catalytiques en maîtrisant la taille et la stabilité des NPMT. Des polymères, des dendrimères, des ligands sont ainsi utilisés. On peut aussi supporter les NP sur des aérogels, ce qui permet de les employer en catalyse homogène supportée mais aussi en catalyse hétérogène à plus haute température, utiliser des colloïdes ou mettre en œuvre les réactions dans des liquides ioniques.

Plusieurs contributions ont trait à des NPMT bi- ou multimétalliques, de métaux précieux ou autres, supportées sur des oxydes, et dont les applications sont surtout trouvées en catalyse hétérogène ; en particulier, les NP bimétalliques peuvent être préparées en mettant en jeu une réaction redox ou électrochimique. Les nanotubes de carbone, dont les avancées sont présentées, constituent un autre support plus original. Une bonne partie des travaux sur les NP concerne l'or, dont les propriétés sont plus particulièrement traitées dans cinq chapitres. En particulier M. Haruta, qui est à l'origine de l'intérêt porté aux nanoparticules d'or qui avant lui étaient considérées comme inactives, fait une revue sur l'oxydation de CO et l'époxydation du propène en présence d'oxygène et d'hydrogène. Puis est présenté un panorama des propriétés générales de l'or dans les réactions d'oxydation en incluant le rôle des agents structurants ainsi que celui des supports, dont la cérine. Ces aspects sont également illustrés par le rôle de la nature du support, les propriétés électroniques et morphologiques des NP ainsi que les aspects mécanistiques, principalement dans l'oxydation de CO par l'or à basse température. Dans le cas des autres métaux précieux mono- (Pd par exemple) ou multimétalliques, des études mécanistiques de l'oxydation du glucose d'alcools et d'aldéhydes sont présentées, ainsi que d'autres réactions liées à la dépollution (de NO_x), ou au reformage et à l'isomérisation. Dans ce dernier cas, il est montré également

comment les facteurs électroniques dépendent de la taille et de la forme des particules. Enfin le dernier chapitre est consacré aux concepts plus généraux de la chimie organométallique de surface et insiste sur le rôle des NPMT modifiées par réaction avec des composés organométalliques dont les applications en pétrochimie et chimie fine sont présentées.

Il faut souligner que ce bel ouvrage s'adresse à des chercheurs confirmés, qui trouveront là non seulement les derniers développements des nanoparticules catalytiques ainsi que les concepts qui sous-tendent leur fonctionnement, mais aussi les avancées obtenues dans les très nombreuses réactions catalytiques ayant trait à tous les domaines d'intérêt industriel.

Élisabeth Bordes-Richard

**Thermodynamique****Bases et applications (2^e éd.)****Cours et exercices corrigés****Licence, classes prépas, IUT/BTS**

J.-N. Foussard, E. Julien et S. Mathé

245 p., 24 €

Dunod, 2010

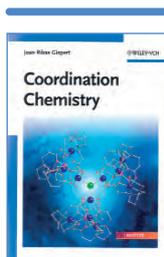
Cet ouvrage intéressant couvre toutes les bases de la thermodynamique, complétées par des exercices adaptés. Pour 95 % de son contenu, il peut être recommandé, et l'on regrette d'autant plus qu'il renferme souvent des imprécisions aussi bien dans l'expression que dans les termes utilisés. C'est ainsi qu'à plusieurs reprises les termes « *isotherme* » et « *monotherme* » sont utilisés l'un pour l'autre (et complétés, sans nécessité ni justification, par le terme « *isotempérature* ») ; la combustion dans une bombe calorimétrique est ainsi donnée comme exemple de réaction isochore et isotherme, alors que la combustion, comme chacun le sait, est loin de se dérouler constamment à la température ambiante. Un « *thermostat* » est défini comme une « *réserve d'un liquide chaud maintenu à une température constante* ». Espérons que l'étudiant verra d'autres définitions qui l'empêcheront de retenir qu'un thermostat est nécessairement à la fois « chaud » et rempli de liquide... De même, l'exemple parlant de la « cocotte minute » est introduit de manière ambiguë : après avoir écrit, à juste titre,

« en vase clos, comme dans un autoclave... le liquide ne peut pas bouillir », l'auteur enchaîne en écrivant « c'est sur ce principe que fonctionne la célèbre « cocotte minute ». » Le lecteur comprendra donc que, dans une cocotte minute, l'eau ne peut pas bouillir... sauf s'il fait l'exercice, quarante pages plus loin, pour retrouver des idées correctes. Toujours au niveau des approximations, il est dit que « le moteur électrique » a « un rendement voisin de 100 % ». L'étudiant qui a déjà vu un moteur électrique chauffer, parfois équipé d'un ventilateur et de sécurité thermique, sera plus satisfait si on lui dit la vérité, c'est-à-dire que le plus souvent le rendement atteint ou dépasse 90 %.

Ces approximations se poursuivent jusqu'au dernier chapitre, pourtant refondu, qui intéresse plus directement le chimiste puisqu'il s'intitule « Grands de réaction » (après s'être appelé dans l'édition précédente « Éléments de thermochimie »). On y voit en effet appeler « variables de composition » les quantités de matière (au lieu des proportions relatives des constituants), appliquer le terme de « schéma réactionnel » à une transformation purement physique comme la vaporisation de l'eau, utiliser l'un pour l'autre les termes de « schéma réactionnel » (aujourd'hui réservé pour décrire la réaction à l'échelle moléculaire) et d'« équation bilan » (aujourd'hui appliqué à l'échelle macroscopique), ou encore utiliser sans nécessité le terme de « système chimique fermé », pour dire seulement qu'on ne considèrera que les réactifs et les produits d'une réaction chimique donnée, qui peut en réalité très bien avoir lieu en système ouvert...

Une telle critique ne rend pas compte des 95 % de contenu utile de cet ouvrage, que je confirme, mais je me mets à la place de l'étudiant qu'aucun astérisque ne prévient de l'approche d'un terrain incertain, pourtant peu compatible avec une assimilation agréable et définitive de la thermodynamique, telle que la souhaite tout enseignant.

Françoise Rouquérol



Coordination chemistry

J.R. Gispert
600 p., 59 €
Wiley-VCH, 2008

Joan Ribas Gispert propose un nouveau cours de chimie de coordination dans la série « Master » de Wiley-VCH. Le livre s'adresse à des étudiants qui ont déjà une formation en chimie inorganique et organique, en spectroscopie, chimie quantique et théorie des groupes (doctorants et docteurs – graduate, undergraduate).

Ce gros volume est organisé en quatre parties, dix-sept chapitres et trois appendices : I Structure and bonding (bonding, classification of ligands, stereochemistry and distortions, isomerism, polynucleating ligands, metal-metal bonds and clusters, thermodynamic) ; II Electronic properties (crystal-field and spin-orbit coupling, electronic spectroscopy, molecular magnetism, electron paramagnetic resonance) ; III Electron transfer (redox mechanisms, mixed valence compounds) ; IV New trends (supramolecular chemistry, photochemistry and photophysics, crystal engineering and metal-organic frameworks, bio-coordination chemistry and life). Les trois appendices comportent les diagrammes de Tanabe-Sugano, les définitions et unités en magnétisme moléculaire et les expressions de susceptibilités magnétiques de quelques complexes dinucléaires, ce qui traduit les activités de recherche de l'auteur en magnétisme moléculaire.

Notre collègue s'appuie sur trente ans d'expérience d'enseignement de la chimie de coordination à l'Université de Barcelone. Le livre est d'ailleurs une adaptation et une révision de son

cours paru en 2000 aux Éditions Omega-Universitat de Barcelona. Il aborde, de manière relativement brève, les aspects traditionnels qui ont structuré l'enseignement de la discipline depuis de nombreuses années et que l'on peut trouver par ailleurs. Il consacre *a contrario* des développements plus importants à des aspects apparus plus récemment. Ainsi, la chimie supramoléculaire, la chimie bio-inorganique, la photochimie et l'ingénierie cristalline des éléments de transition, où les progrès ont été rapides et qui ne sont pas, ou peu, traités par ailleurs, bénéficient de chapitres à part entière. Il en va de même des transferts d'électrons, des mécanismes redox et des composés à valence mixte ou du magnétisme moléculaire. L'auteur s'efforce donc de combler des lacunes des manuels aujourd'hui accessibles au niveau considéré, en limitant ses développements pour garder un volume raisonnable.

Le traitement de la matière est plutôt descriptive, claire, avec de nombreuses figures, et évite de longues démonstrations mathématiques.

L'auteur ne craint pas de ponctuer son exposé de résumés ou d'encadrés avec les résultats importants, au risque d'une trop grande simplification. Quand les développements deviennent plus complexes, il renvoie systématiquement le lecteur curieux ou qui reste sur sa faim, soit à des textes classiques, soit à la littérature primaire et à des revues relativement récentes. Ces renvois sont particulièrement abondants pour les chapitres correspondant aux nouvelles tendances.

Alors que la sixième édition du livre de chevet du chimiste inorganicien (*Advanced inorganic chemistry* de F.A. Cotton *et coll.*) remonte maintenant à plus de vingt ans, le livre de Joan Ribas rajeunit donc le contenu de l'enseignement de chimie de coordination et permet à l'étudiant de satisfaire sa curiosité, avec des ouvertures sur la chimie qui se fait. Ainsi complété, l'ouvrage peut donc figurer en bonne place dans la bibliothèque de l'honnête chimiste du XXI^e siècle.

Michel Verdaguer

Bulletin de l'Union des professeurs de physique et de chimie (« Le Bup »)

La rédaction de L'Actualité Chimique a sélectionné pour vous quelques articles.



N° 923 (avril 2010)

- Au fil des réformes, par le Bureau national.
- Un voyage sur le thème de l'énergie, par B. Posseme.
- Histoire de la chimie : utilisation pour l'enseignement au lycée, par J.-F. Le Maréchal.
- Histoire de la chimie, par J.-F. Le Maréchal, H. Bastard, M.-C. Dubief et S. Maret.
- L'aventure humaine de la science, par J. Rosmorduc.

Sommaires complets, résumés des articles et modalités d'achat sur <http://www.udppc.asso.fr>

2-3 juin 2010

IMTec

Les microtechnologies dans l'analyse industrielle

Paris

- <http://www.forumlabo.com/imtec/index.htm>

6-10 juin 2010

PTM 2010

Solid-solid phase transformations in inorganic materials

Avignon

- <http://www.fcc-asso.fr/PTM2010>

27 juin-2 juillet 2010

Catalysis

Gordon research conference

New London (NH, États-Unis)

- <http://www.grc.org/programs.aspx?year=2010&program=catalysis>

30 juin-3 juillet 2010

ChemCH 2010

1st International congress

"Chemistry for cultural heritage"

Ravenne (Italie)

- <http://www.chemch.unibo.it>

2-7 juillet 2010

ESOF 2010

Euroscience open forum

Turin (Italie)

- <http://www.esof2010.org>

4-8 juillet 2010

12th IUPAC International congress of pesticide chemistry

Melbourne (Australie)

- <http://www.raci2010.org>

4-9 juillet 2010

ECRICE & DidSci 2010

10th European conference on research in chemical education and 4th International conference on research in didactics of the sciences

Cracovie (Pologne)

- <http://www.ecrice2010.ap.krakow.pl>

4-9 juillet 2010

ISHC-17

17th International symposium on homogeneous catalysis

Poznan (Pologne)

- <http://www.ishc17.amu.edu.pl>

4-9 juillet 2010

Joint EUROMAR 2010 and 17th ISMAR conference

A worldwide magnetic resonance conference

Florence (Italie)

- <http://www.cerm.unifi.it/wwmr2010>

5 juillet 2010

POLYSOLVAT-8

8th International conference on polymer-solvent complexes and intercalates

Strasbourg

- <http://www-ics.u-strasbg.fr/~polysolvat>

5-8 juillet 2010

MOLMAT 2010

4th International conference on molecular materials

Montpellier

- <http://www.molmat2010.fr>

5-9 juillet 2010

ISBOMC'10

5th International symposium on bioorganometallic chemistry

Bochum (Allemagne)

- <http://www.ruhr-uni-bochum.de/isbomc10>

10-11 juillet 2010

Organometallic chemistry

Gordon research seminar

Newport (RI, États-Unis)

- http://www.grc.org/programs.aspx?year=2010&program=grs_ormet

11-16 juillet 2010

BOSS XII

12th Belgian organic synthesis symposium

Namur (Belgique)

- http://www.lidorganisation.com/produits.php?langue=english&cle_menus=1238915308&cle_data=1238740743

11-16 juillet 2010

23rd IUPAC symposium on photochemistry

Ferrara (Italie)

- <http://www.unife.it/iupac-photochem-2010>

11-16 juillet 2010

Macro 2010

43rd IUPAC world polymer congress

Glasgow (Royaume-Uni)

- <http://www.macro2010.org>

13-16 juillet 2010

ISACS2

International symposia on advancing the chemical sciences

Budapest (Hongrie)

Challenges in physical chemistry and nanosciences

- <http://www.rsc.org/isacs2>

14-17 juillet 2010

SXNS11

11th International conference on surface X-ray and neutron scattering

Chicago (IL, États-Unis)

- <http://www.sxns11.northwestern.edu/index.html>

19-23 juillet 2010

SpectroCat 2010

Spectroscopies vibrationnelles pour la catalyse

Caen

- <http://www.unicaen.fr/universite/recherche/colloques/juillet.php>

20-24 juillet 2010

ISCC-9

International symposium on carbanion chemistry

Florence (Italie)

- <http://www.unifi.it/ISCC-9>

25-30 juillet 2010

Natural products

Gordon research conference

Tilton (NH, États-Unis)

- <http://www.grc.org/programs.aspx?year=2010&program=natproduct>

3-4 septembre 2010

150th Anniversary

Weltkongress Chemie

Chemistry in challenges and progress

Karlsruhe (Allemagne)

- <http://www.chem-bio.uni-karlsruhe.de/weltkongress/index.php>

23-26 octobre 2010

58^e Congrès de l'Union des professeurs de physique et de chimie (UdPPC)

Reims

- <http://www.udppc.asso.fr/national/index.php/component/content/article/25/57-reims-2010>

Vous trouverez de nombreuses autres manifestations sur le site de la SCF : <http://www.societechimiquedefrance.fr>, rubrique **Manifestations**.

Il est encore possible de s'inscrire :

- à la **Cérémonie de remise des Grands Prix et Prix binationaux**, qui aura lieu le **20 mai** à l'UPMC (site de Jussieu) - voir *L'Act. Chim.*, 340, p. 62.

Ouverture à 13 h par la conférence de Gérard Férey :

Chemistry: an art, a science and technologies. The example of porous solids.

Accès libre, mais inscription obligatoire (secretariat@societechimiquedefrance.fr).

Les lauréats des Prix binationaux effectueront une tournée de conférences qui débute ce mois-ci.

Voir détails sur www.societechimiquedefrance.fr

- au **Symposium SCF-Wiley-VCH**, le **21 mai** à la Maison de la Chimie, pour fêter les dix ans de *ChemBioChem* et de *ChemPhysChem*.

La liste des conférenciers comporte d'éminents chimistes, dont quatre prix Nobel de chimie : Gerhard Ertl (2007), Jean-Marie Lehn (1987), Roger Y. Tsien (2008) et Ada Yonath (2009).

Programme complet : www.chembiophyschem.org

Pour s'inscrire : www.ldorganisation.com/produits.php?langue=english&cle_menus=1238915319&cle_data=1238740745

Deux événements à ne pas manquer !

Le Bureau de la SCF

Prix des divisions 2010**Enseignement-Formation****• François Brut**

Le prix de la division a été attribué à François Brut, professeur à l'Université Joseph Fourier de Grenoble et à l'Institut des Sciences Nucléaires (INSTN) jusqu'en 2008, pour couronner

un dynamisme et un investissement exceptionnels pour l'enseignement de la chimie du nucléaire. Il a été, entre autres, créateur et responsable de deux spécialités du master *Ingénierie, Traçabilité, Développement durable* :
- Gestion scientifique et technologique des déchets radioactifs ;
- Assainissement, démantèlement des installations nucléaires. Pour ce master, des conventions de partenariat ont été signées avec la délégation régionale Rhône-Alpes d'EDF, le CEA de Marcoule et le CEA de Saclay. Grâce à cet environnement, les diplômés de ces spécialités ont trouvé très rapidement un emploi.

François Brut, qui a eu une activité d'enseignement très intense, s'est également impliqué sur le plan international dans un réseau européen de masters proposant une formation dans le domaine du nucléaire. Il a été membre de différents comités travaillant sur la pédagogie, l'apprentissage et l'éducation dans le domaine de la gestion du nucléaire.

Le prix lui sera remis pendant les prochaines Journées de l'innovation et de la recherche dans l'enseignement de la chimie (JIREC) qui se tiendront cette année à la Grande Motte près de Montpellier du 1^{er} au 4 juin, sur le thème « Chimie du nucléaire - Énergie et développement durable ».

Calendrier des prochaines manifestations de et avec la SCF

27 mai 2010

Conférence de la section régionale Alsace

Mulhouse

Les réseaux sociaux et leur rôle dans les Amicales d'écoles, conférence de F. Nordmann, consultant international en chimie des centrales nucléaires et responsable des réseaux sociaux pour les Amicales des écoles de chimie françaises.

• j.streith@uha.fr

30 mai-4 juin 2010

Gecom Concoord 2010

Lyon

Chimie de coordination, chimie organo-métallique et catalyse

• <http://www.ens-lyon.fr/CHIMIE/gecom2010>

2-4 juin 2010

JIREC 2010

La Grande Motte

« Chimie du nucléaire, énergie et développement durable »

• <http://event.enscm.fr/jirec2010>

3-4 juin 2010

Journées de printemps du Groupe français de photochimie, photophysique et photosciences

Villeneuve d'Ascq

• <http://www.societechimiquedefrance.fr/photochimie-photophysique-et-photosciences-france.html>

7-11 juin 2010

Formula VI

Stockholm (Suède)

Formulations for the future - from fundamentals to processing

• <http://www.chemsoc.se/sidor/KK/formulaVI/index.htm>

10 juin 2010

Journée de printemps de la section régionale Rhône-Alpes

Grenoble

• <http://www.societechimiquedefrance.fr/IMG/pdf/Journee-printemps-2010-Rhone-Alpes.pdf>

25 juin 2010

CAGE 2010**Chimie et avenir Grand Est**

Strasbourg

Forum étudiants-doctorants/chercheurs/industriels, organisé par le Club de jeunes Alsace

Participation gratuite mais inscription obligatoire avant le 13 juin.

• <http://cage2010.u-strasbg.fr>

4-7 juillet 2010

ICHIC 2010**3rd International conference on hypervalent iodine chemistry**

Bordeaux

• <http://www.sasn.u-bordeaux1.fr/ICHIC2010>

19-23 juillet 2010

SpectroCat 2010

Caen

• <http://www.unicaen.fr/universite/recherche/colloques/juillet.php>

29 août-2 septembre 2010

3rd EuCheMS Chemistry Congress

Nuremberg (Allemagne)

• <http://www.euchems-congress2010.org>

21-23 septembre 2010

JCO 2010**Journées de chimie organique**

Palaiseau

• http://www.ldorganisation.com/produits.php?langue=french&cle_menus=1238915340&cle_data=1238740752

2011 : Année internationale de la chimie

Le site français de l'Année internationale de la chimie vit ! Allez le visiter !

www.chimie2011.fr

Depuis le dernier numéro, vous trouverez sur le site de nouvelles informations, en particulier les initiatives dans vos régions. Mais les préparatifs pour l'AIC ne font que commencer et si vous avez des idées d'animations, de célébrations, alors n'hésitez plus, le site est là pour vous aider.

Il faut aller le visiter et y déposer vos idées. Tout le monde peut participer : individus, groupes d'amis, étudiants, sections régionales, laboratoires... La seule contrainte est que vos idées se rattachent à l'un des thèmes de l'année : l'environnement, l'énergie, les matériaux ou la santé.

Comment faire ? Rien de plus simple : tout commence par une demande de labellisation scientifique de votre projet. Si celui-ci s'inscrit dans le cadre de la célébration du centenaire du prix Nobel de Marie Curie, vous pouvez demander également le label MSC 100. Pour cela, aller sur le site et se rendre dans « Déposer un projet ».

Pour déposer un projet

Le dépôt de projets est ouvert à tout individu, association ou institution qui prépare une action pour l'Année internationale de la chimie ou la célébration du centenaire du prix Nobel de chimie de Marie Curie.

Il est demandé de compléter les rubriques accessibles dans « Déposer un nouveau projet ». La partie budget n'est demandée, pour le moment, qu'à titre indicatif, car le label scientifique doit vous permettre d'engager les démarches dans votre région pour obtenir le financement de votre projet.

Lorsque vous entrez un projet, visuali-

sez-le avant de le déposer.

À ce stade, vous aurez la possibilité de joindre un fichier complémentaire (format PDF, 16 Mo max.).

Une fois ces actions terminées, vous pouvez demander la labellisation.

Déroulement de la procédure d'évaluation des projets

Pour assurer le meilleur traitement des documents éligibles, la transmission des projets déposés au comité de labellisation devra être validée par le correspondant de votre région.

Le comité de labellisation se réunit une fois par mois pour évaluer les projets reçus. La prochaine date

d'évaluation est fixée au **14 juin 2010**.

Vous serez par la suite informés par courriel de l'évaluation donnée à votre projet.

Liens utiles

- L'Unesco déclare 2011 Année internationale de la chimie : <http://unesdoc.unesco.org/images/0015/001583/158362f.pdf>
- La chimie, une ambition pour la France et l'Europe : www.ambitionchimie.eu
- La Société Chimique de France s'engage : www.societechimiquedefrance.fr/fr/2011-sera-l-annee-internationale-de-la-chimie.html

Avec le soutien de : l'Académie des sciences – Comité National de la Chimie, le Comité Ambition Chimie, Chimie et Société, le CNRS/Institut de chimie, le CEA, la Direction générale de la Recherche et de l'Innovation, la FFC, la FGL, la Fondation internationale de la Maison de la Chimie, l'IFP, l'IUPAC, le Musée Curie/Institut Curie, Sanofi, la SCF, la SF2M, l'UdPPC, l'UIC et l'UNESCO.



„The criterion was excellence“

The 3rd EuCheMS Conference is an ideal platform for spotlighting chemistry as the key source of sustainable solutions to the mega-topics and challenges facing all of us today: energy, food supplies, and resources in a healthy environment. An interview with Francois Diederich and Andreas Hirsch, co-chairs of the Scientific Committee.

All good things come in threes. From August 29 to September 2, 2010 the 3rd EuCheMS conference will take place in Nuremberg. What differences can we expect from the conferences in Budapest and Turin?

Francois Diederich: First, both those two meetings were highly successful scientifically. So we have kept some of the structures that were working so well in Budapest in Turin Budapest and Turin as our „trademark“, as it were – just as the ACS meetings do. They keep the same format for years. The positive resonance of Budapest 2006 and Turin 2008 certainly made recruiting top conveners and guest lecturers easier this time around. We have also preserved the vertical thematic structuring that made the two previous meetings so successful.

What does this „vertical structuring“ look like?

Andreas Hirsch: Seven main topics lend a basic structure to the event. They are each introduced by eminent plenary speakers. But at the Nuremberg congress, the panel of plenary speakers is different from that of Turin: though thoroughly international, Europe is the showcase of the plenary lecturers here.

Only criterion: excellence

What were the criteria for choosing these seven main themes?

Hirsch: The main themes were selected for their significance in terms of future impact. Chemistry generates much of its progress and achievements for a sustainable society within these seven areas. The plenary lecturers are leaders in each of these fields, as are the conveners, whose reputa-



„We are very excited about both the setting of the congress and its scientific programme.“ Francois Diederich (left) and Andreas Hirsch are looking forward to the 3rd EuCheMS conference which will take place in Nuremberg from August 29 to September 2, 2010. (Photos: Barbara Jessel)

tions have attracted a group of outstanding guest speakers. These persons amount to a virtual „who's who“ of names outstanding in Europe and globally.

We understand that each main topic will then be discussed in various sub-symposia.

Diederich: That's right. Each of the seven main themes will be discussed at three or four symposia, each featuring some six guest speakers from Europe and elsewhere, plus shorter talks and poster presentations. The symposia are organised by leading conveners who have attracted high-level guest speakers from all over Europe. The only criterion for the selection of lecturers was excellence. The symposia are an ideal format for presenting and debating the basic scientific developments needed to cope with the mega-themes of the future.

Hirsch: In addition to the core programme, a number of special symposia will be organised by EuCheMS divisions on Life Sciences, Inorganic Chemistry, Chemical Education at Work, Organic Chemistry, Party on Physical Chemistry, and two satellite meetings at the University of Erlangen-Nuremberg.

So this is what makes up the conference's vertical structure.

Diederich: Yes – 132 hours of lectures and more than 1000 posters. Then, in addition to this vertical structure, the conference's horizontal structure is sure to appeal to specialists from industry and academia.

Horizontal structure?

Diederich: Yes. Each field – organic, inorganic, analytical and physical chemistry, as well as chemical biology and materials sci-

ences – will also be presented and debated over the entire four days. So each specialist will find something in their specific field during the entire conference. Thus the meeting will provide perspectives that are readily translatable to the general public – how essential chemistry is to energy research, food supplies, environmental sustainability, etc. – as well as a high-level specialist programme in the various sub-disciplines within each field. Specialists and experts will be looking for high-quality proceedings in their discipline throughout the conference period. This is what I mean by the horizontal structure.

Are there any scientific lacunas in the programme? Intentional ones, even?

Hirsch: No single congress can cover everything. We have tried to allow for the fact that conferences today actively compete with one another. The conveners – all members of the Scientific Committee – report exceptionally positive response to their invitations to guest speakers.

Diederich: So we now have reason to expect that this excellent programme frame will be attracting many more scientists – from industry, academia, and government agencies – and that they will give poster presentations and discuss their work in person in oral contributions. These talks, which are selected from the participants' abstracts, should offer a unique platform, especially for younger scientists, for reporting on findings and the challenges encountered in research, both in academia and industry. After all, it is today's young people who will be facing tomorrow's challenges.

For young chemists and for chemists in industry

What benefits does the EuCheMS conference offer young scientists?

Diederich: They obtain a broader view of the main focuses for chemistry in the future and what tools and methods are being developed to reach which key objectives. They can meet leading European and international scientists in lectures and in person and make contacts for scientific exchange



Francois Diederich and Andreas Hirsch in discussion with Nachrichten aus der Chemie editor Ernst Guggolz (German Chemical Society).

and postdoctoral opportunities. They can also meet industrial scientists and learn about the opportunities their companies have to offer. They can also see at first hand how prosperous chemistry is in Europe, and that belonging to this creative scientific force is very much worthwhile. Career days and a job fair will be organized for young chemists looking for jobs in industry by the GDCh and the European Young Chemists Network. In the past, such events have made ACS meetings much more attractive: we hope they will be a highlight of this congress series as well.

Will travel grants be available for young scientists?

Hirsch: The Karl Ziegler Foundation offers stipends for German participants to the amount of EUR 400. In an effort to strengthen and advance the European Young Chemist Network (EYCN) and attract talented young Eastern European chemists to Nuremberg, the Forum of Young Chemists in Germany (JCF) will also award travel grants to scientists from Eastern Europe: 10 grants worth EUR 250 each. The French and British Chemical societies have also announced stipend programmes.

Will EuCheMS 3 attract chemists from industry, too?

Hirsch: Undoubtedly! The mega-topics and mega-trends in industry and academia are actually the same: energy, food supply, resources and environment, new analytical methods and tools, new functional materials, new synthetic methods, catalysis, etc....

Diederich: Industrial and academic research laboratories will need to pull together in future to cope with these challenges. The congress offers a platform for industrial chemists to broaden their scientific knowledge and get to know the academic scientists pursuing original work that can help a company meet its objectives. They can get in touch with numerous young scientists, doctoral and postdoctoral, on the career days and at the job fair – and also in more informal settings within or around the meeting. Industrial chemists will get a broader perspective on what is going on and what is available all over Europe – not just in the country where they live and work. The fact that all scientific proceedings are held under one roof in the excellent conference centre ensures many opportunities for contact. The exhibition is expected to be very attractive. A long list of companies and vendors, in addition to scientific publishers,

have already announced their participation.

Is conference attendance expensive?

Diederich: The registration fees could fortunately be kept to the level of previous conferences, with EUR 400 for the 150,000 members of the 50 member societies from 34 countries within EuCheMS, and EUR 200 for students below the age of 35.

Why Nuremberg?

Why was Nuremberg chosen as the site of the third EuCheMS conference?

Hirsch: Nuremberg has an excellent modern congress centre and a fine infrastructure – all at a reasonable price. There are the many cultural offerings, too. Medieval Nuremberg with the Kaiser's Castle is very attractive, very interesting, and historically significant.

The 4th EuCheMS conference will be in Prague, only 250 km away from Nuremberg: is Eastern Europe a favoured focus?

Hirsch: Nuremberg's position at the interface between the early EU countries and the new Eastern European EU countries is important. Chemists from Poland, Czechia, Slovakia, Slovenia and Hungary can easily come by car, which is convenient and economical. We hope for a large participation from Eastern Europe and have tailored parts of the programme specifically for this audience. I am certain that there is much untapped chemical talent in the Eastern European countries. We hope many Eastern Europeans will attend and show us in their presentations what they have done and can do. As an example, organic chemists in Eastern European countries focus in their research on heterocyclic chemistry, which is essential for drug development. Theoretical chemistry is prominently represented, too. So these topics are highlighted in the programme. We hope to make a smooth transition to Prague 2012.

If I'm counting correctly, more awards will be presented here than ever before. Is that right?

Diederich: That's right. To name some, there is the August-Wilhelm von Hoffmann-Denkünze of the GDCh, the European Young Chemist Award from EuCheMS, the Heinrich Emanuel Merck award for Analytical Sciences, the Reaxys PhD Prize, the Young Chemist Award and, for the first time, the First European Sustainable Chemistry Award, sponsored by SusChem, the European Environment Agency, and Cefic.

An international impact

What is the impact of EuCheMS compared with other international conferences?

Diederich: The format of the EuCheMS conferences resembles that of the ACS meetings in many respects, with division symposia organised by eminent conveners, an exhibition, career days and awards sessions. European Chemistry needs a regularly scheduled European Meeting. It is just like sports. It is nice to have national conventions but the really exciting events involve all of Europe and higher levels of competition – just like in the Football Champions League. The higher quality of European chemistry journals demonstrates the benefits of changing from national-only to European.

So you hope that the EuCheMS Conferences will also play this role?

Diederich: Absolutely. As we move from national to more competitive, higher-level European meetings, the visibility and impact of European chemical sciences will grow far beyond Europe. Such meetings will ultimately attract eminent scientists from the other major players in chemistry such as the USA, Japan, India, and China. Particularly strong attendance by industrial and young scientists, besides being fertile ground for scientific discussion, is one of the impact factors that mark a conference's quality and success. We certainly expect to have a high impact. The Asian scientific communities realize this, too, and they are putting a lot of work and resources into holding Asian congresses.

The specifically European

What is specifically „European“ about EuCheMS conferences?

Hirsch: A top-level scientific event in a historical medieval setting is possible only in Europe. Both speakers and audiences reflect not only the great diversity among scientific communities but also the cultures of the various European countries. Different countries have different strengths in chemistry, too. Assembling them all in a single showcase allows an outstanding overview of European science. This kind of up-to-date picture of the European research landscape gives a big boost to the creation of a European research sphere. For example, supramolecular chemistry is one highlight and a strength of European research, so this theme is expected to have particular weight in the conference programme.

Do you think the individual European societies are properly aware of EuCheMS as their own conference? Do they do enough to promote it?

Hirsch: There's a worthwhile video on the conference home page showing strong support for the conference from all over Europe. Acceptance by the 50 EuCheMS member societies to attend the conference is already a substantial plus. The large advertisement by the Italian Chemical Society is particularly worth noting.

What do you personally expect from EuCheMS Nuremberg?

Diederich: We are very excited about both the setting of the congress and its scientific programme. It promises to be a most rewarding and enriching few days and to make a unique contribution to establishing the EuCheMS Congress as the leading bi-annual event of European chemistry. See you in Nuremberg!

3rd EuCheMS Chemistry Congress

Chemistry – the Creative Force



29.08. – 02.09.2010 · NÜRNBERG · GERMANY

Topics

Innovative Materials
Resources and Environment
Supramolecular Systems
Catalysis
Molecular Life Sciences
Analysis, Manipulation and Simulation
Advances in Organic and Inorganic Chemistry



Chairmen

François Diederich

Swiss Federal Institute of Technology Zurich/CH

Andreas Hirsch

University Erlangen-Nuremberg/D

www.euchems-congress2010.org

EuCheMS, the European Association for Chemical and Molecular Sciences incorporates 50 member societies which in total represent some 150,000 individual chemists in academia, industry and government in over 35 countries across Europe.

Contact: Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V. · Congress Team · P.O. Box 90 04 40 · 60444 Frankfurt am Main · Germany
Phone: +49 69 7917-358/-366 · E-mail: euchems-congress2010@gdch.de



Abonnement 2010 (numéros spéciaux inclus)

Cochez la case qui correspond à l'abonnement auquel vous voulez souscrire :

	Abonnement papier + électronique*		Abonnement électronique seul*
	France	Étranger	France / Étranger
Particuliers	<input type="checkbox"/> 95 €	<input type="checkbox"/> 100 €	<input type="checkbox"/> 55 €
Lycées	<input type="checkbox"/> 110 €	<input type="checkbox"/> 130 €	<input type="checkbox"/> 70 €
Institutions	<input type="checkbox"/> 195 €	<input type="checkbox"/> 205 €	<input type="checkbox"/> 155 €

* Courriel obligatoire

Complétez votre collection

Les sommaires de tous les numéros peuvent être consultés sur notre site <http://www.lactualitechimique.org>

Les numéros spéciaux

Les numéros spéciaux sont disponibles en **version électronique** sur le site à un tarif préférentiel

- Chimie et développement durable. L'engagement des écoles de la Fédération Gay-Lussac (fév.-mars 2010) : 32 €
- Adolphe Pacault, un acteur majeur dans la renaissance de la chimie physique en France (décembre 2009) : 24 €
- Electrochimie & Art, Environnement, Santé, Nanosciences... (fév.-mars 2009) : 32 €
- Les cosmétiques. La science au service de la beauté (oct.-nov. 2008) : 32 €
- Chimie organique physique. Hommage à Jacques-Émile Dubois (juin-juil. 2008) : 32 €
- Chimie et patrimoine culturel, vol. II (avril 2008) : 24 €
- La photochimie pour transformer la matière (mars 2008) : 24 €
- Chimie et patrimoine culturel, vol. I (oct.-nov. 2007) : 15 €
- La photochimie pour mieux vivre (mai-juin 2007) : 15 €
- Fluor et produits fluorés à l'aube du XXI^e siècle (oct.-nov. 2006) : 15 €
- Les matériaux carbonés (mars-avril 2006) : 15 €
- Chimie moléculaire et nanosciences (oct.-nov. 2005) : 15 €
- Sciences chimiques et déchets radioactifs (avril-mai 2005) : 15 €
- Le chimiste et le profane (2004) : 15 €
- Chimie et environnement (2004) : 15 €
- La chimie dans les sciences médicales (2003) : 15 €
- Les isotopes stables (2003) : 15 €
- Quoi de neuf en chimie organique ? (2003) : 15 €
- La chimie des substances renouvelables (2002) : format papier épuisé
- La catalyse enzymatique (2002) : 15 €
- Quoi de neuf en catalyse ? (2002) : 15 €
- Les matériaux (2002) : 15 €
- L'hydrogène, carburant propre ? (2001) : 15 €
- Magnétisme moléculaire (2001) : 15 €
- La femtochimie (2001) : 15 €
- Nourrir les hommes, hier et demain (2000) : 15 €
- La chimie combinatoire (2000) : 15 €
- Chimie et vie quotidienne (1999) : 15 €



Achat à l'unité hors numéros spéciaux

11 € pour les numéros avant 2008 ; 20 € à partir de 2008
(à partir de 2005, ces numéros sont également disponibles en version électronique sur le site)

Numéros souhaités :

Hors-séries "L'Actualité Chimique - Livres", co-édités et diffusés par EDP Sciences

- La chimie et la santé (janv. 2010) : 19 €
- La chimie et la mer (sept. 2009) : 24 €
- Radiation chemistry (mai 2008) : 59 €

À commander chez votre libraire
ou directement sur <http://livres.edpsciences.org>



Bon de commande

Nom Prénom Fonction
Adresse (pour les particuliers, préciser l'adresse personnelle)
Code Postal Ville Pays.....
Tél Fax Courriel

Montant total de la commande :

Mode de règlement

- sur facturation (joindre obligatoirement le bon de commande)
- par chèque bancaire ou postal libellé à l'ordre de la SCF
- par virement bancaire ou postal
- souhaite recevoir une facture acquittée

France Société Générale Paris Seine Amont, 03081/00037265820/87 CCP Paris 30041 Compte 070786U020/90

Étranger IBAN FR7630003030810003726582087 Swift.Sogefrpp

par carte bancaire (Visa, Eurocard Mastercard) Validité

Cryptogramme visuel (les trois derniers chiffres du numéro imprimé au dos)

L'Actualité Chimique

SCF, service abonnements, 250 rue Saint-Jacques, 75005 Paris. Tél. : 01 40 46 71 66 - Fax : 01 40 46 71 61.
adhesion@societechimiquedefrance.fr - <http://www.lactualitechimique.org>

INCONTOURNABLE !

 www.materiaux2010.net

MATÉRIAUX 2010 :
Le rendez-vous
des spécialistes
des matériaux,
destiné aux chercheurs,
industriels et doctorants

La conférence fera le point sur les principales préoccupations de la science des matériaux dans des secteurs essentiels pour le futur : habitat, énergie, transport, développement durable et santé.

Des thématiques plus spécifiques seront également abordées : nouveaux procédés d'élaboration, nanomatériaux, surface et interfaces, propriétés thermiques, mécaniques et fonctionnelles, matériaux poreux, techniques d'assemblage.

Véritable carrefour d'échanges lors de la Conférence, une **EXPOSITION** se tiendra au cœur des colloques.

Riche de l'expérience et du succès des précédentes éditions, **MATÉRIAUX 2010** est l'événement **INCONTOURNABLE !**

SECRÉTARIAT DE LA CONFÉRENCE

FFC - Tél. : +33 (0)1 53 59 02 18
Courriel : materiaux@materiaux2010.net

CONTACT EXPOSITION :

Tél. : +33 (0)1 53 01 90 30
gweltaz.hirel@vide.org

AVEC LE SOUTIEN DE :

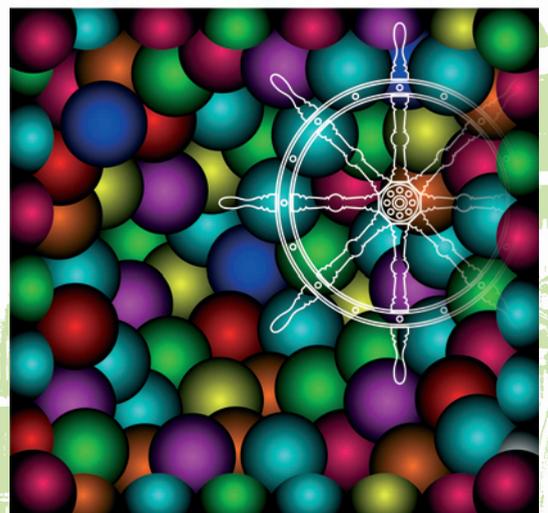


MATÉRIAUX 2010

2010

18 - 22 OCTOBRE

Nantes



Conception/Réalisation: IMEBO



**FÉDÉRATION
FRANÇAISE
DES MATÉRIAUX**