

L'actualité chimique

Le journal de la Société Chimique de France
Mai 2013 - N° 374

Matériaux et quotidien
Enseignement et nouveaux programmes
Retour sur les JIREC 2012

Énergie : va-t-on manquer d'uranium ?
Les fourmis de la forêt amazonienne... et la chimie



Société Chimique de France



*Nous sommes membres de
la Société Chimique de France,
et vous ?*

**Rejoignez
le réseau
des chimistes :
votre association !**

www.societechimiquedefrance.fr



Société Chimique de France

RÉDACTION

Rédactrice en chef : Rose Agnès Jacquesy

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

Stagiaire : Alexane Roupioz

Webmestre : Jérémie Meyer de Ville

Comité des rubriques :

Recherche et développement : Rose Agnès Jacquesy, Industrie : Gilbert Schorsch, Enseignement et formation : Katia Fajerweg, TP : Xavier Bataille, Histoire de la chimie : Marika Blondel-Mégrelis, Comment ça marche ? : Véronique Nardello-Rataj, Un point sur : Jean-Pierre Foulon, Chimie des aliments et du goût : Hervé This, 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, J. Belloni, E. Bordes-Richard, J. Buendia, C. Cartier dit Moulin, R.-E. Eastes, J. Fournier, P. Massiani, M.-T. Ménager, N. Moreau, J.-M. Paris, P. Pichat, A. Picot, M. Quarton, J. Rangapanaiken, F. Rocquet, H. Toulhoat, M. Verdager

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

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

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, www.edif.fr

Index des annonceurs : p. 50

© SCF 2013 - Tous droits réservés

Dépôt légal : mai 2013

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 1^{er} 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 2013 - 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 : abonnement inclus

dans la cotisation ou à tarif préférentiel

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'édition en open access, avenir de la recherche ?, par **R.A. Jacquesy**

2

Clin d'œil étymologique

3

À propos de l'éthane, par **P. Avenas**

3

Chroniques

4

On va manquer d'uranium..., par **J.-C. Bernier**

4

À propos de

5

Chimie des substances naturelles : la forêt amazonienne comme vertigineuse source d'inspiration. Entretien avec Christophe Duplais

5

Enseignement et formation

7

JIREC 2012 : Matériaux et quotidien (coord. : K. Fajerweg)

Matériaux et quotidien : retour sur les JIREC 2012, par **B. Garreau-**

de Bonneval, I. Hallery, F. Milon, N. Vujkovic et K. Fajerweg

7

Quelques exemples d'illustration de concepts de base de la chimie à l'aide de matériaux du quotidien, par **J.-L. Vignes (prix de la division Enseignement-Formation)**

13

PCI Geofug®, un nouveau produit à base de technologie géopolymère,

par **J. Riedmiller, M. McIlhatton et S. Zuern**

18

Activités expérimentales de chimie des matériaux : anodisation du titane

et dosage du cuivre et du zinc dans le laiton, par **L. Hallez, F. Touyeras,**

P.-L. Fabre et O. Reynes

22

L'innovation systématique : rêve ou réalité ?, par **C. Bryon-Portet,**

J.-M. Le Lann et S. Negny

25

La transdisciplinarité ou l'art d'enseigner la chimie du bleu, par **F. Boulc'h,**

M. Andrieux, O. Morizot, E. Audureau, M. Anglade et G. Hagel

30

Introduction du « référentiel de compétences comportementales » d'Axelera

dans une formation en apprentissage, par **J. Randon et J.-L. Lefevre**

33

Estimation de l'incertitude de la mesure. Détermination expérimentale du

degré d'acidité d'un vinaigre, par **C. Ducamp, I. Hallery et F. Marchal**

36

Le dossier

p. I-XII

À propos des nouveaux programmes de chimie au lycée – Ateliers JIREC 2012

* Introduction, par **M. Vigneron**

* De nouveaux profils étudiants en 2013, par **M.-B. Mauhourat, B. Garreau-**

de Bonneval et K. Fajerweg

* Enseignement de la spectroscopie de résonance magnétique nucléaire,

par **V. Gilard et A. Gilles**

* Synthèse organique et chimie verte, par **J. Calafell, F. Milon et M. Urrutigoity**

* Zoom sur la pratique expérimentale autour des nanoparticules

Chimie et société

40

Les ChaDoCs, une association qui s'inscrit dans la mission de diffusion

du savoir du Collège de France, par **A. Roupioz**

40

En bref

42

Livres et médias

47

Agenda

48

Actualités de la SCF

49

Un point sur

51

Les produits lourds pétroliers, par **D. Espinat et A. Quignard**

51



Couverture :

Cristal liquide lamellaire constitué de molécules chirales à propriétés anti-ferroélectriques.

Le cristal liquide, entre lames de verres traitées avec du téflon, est observé au microscope

polarisant. Objet : 0,18 mm x 0,27 mm. Laboratoire des colloïdes, verres et nanomatériaux

(LCVN, UMR CNRS 5587), Montpellier.

© CNRS Photothèque/Monique BRUNET.



L'édition en open access, avenir de la recherche ?

Toutes les communautés scientifiques sont en effervescence : comment offrir au plus grand nombre et dans les meilleures conditions, l'accès aux résultats de la recherche ? La fronde vise certains très grands éditeurs, accusés de s'être approprié la publication des résultats

de la recherche financée sur fonds publics, et de l'avoir rendue financièrement inaccessible, y compris aux bibliothèques universitaires (coût annuel estimé en France à 70 millions d'euros).

Depuis la Seconde Guerre mondiale, l'augmentation du nombre des chercheurs et l'apparition de nouvelles disciplines ont entraîné une multiplication du nombre des revues et des publications. Ce nombre augmente de 3 à 4 % par an, essentiellement lié à la contribution des pays asiatiques (dont la Chine, + 17 %, et la Corée du Sud, + 16 %).

La baisse générale des crédits accordés à la recherche et la compétition qui en résulte ont changé radicalement le rôle de la publication qui, de partage des savoirs, est devenu une unité d'évaluation pour la carrière, l'accès aux financements et aux recrutements... Publier dans une revue à haut facteur d'impact devient alors un objectif en soi, quel qu'en soit le coût. Au cours des dernières années, un marché captif s'est « naturellement » constitué, qui a permis à certains éditeurs (dont l'American Chemical Society) d'augmenter annuellement de plus de 6 % le coût des abonnements au cours des vingt-cinq dernières années.

Les initiatives pour lutter contre cet état de fait sont nombreuses. Très tôt, les bibliothécaires universitaires français ont créé le consortium Couperin pour peser face aux exigences des principaux éditeurs. Des plateformes d'accueil de publications en libre ou semi-libre accès et d'archivage d'articles ont été créées, dont certaines ont acquis une réputation méritée, comme PloS One. Dès 2006, un protocole créant HAL (« hyper articles en ligne »), une plateforme commune, multidisciplinaire, d'archives ouvertes, a été signée par la plupart des établissements français de recherche, des universités et des grandes écoles. HAL est hébergée par le Centre pour la communication scientifique directe (CCSD) du CNRS (voir *encadré* p. 45). Même si l'accès aux données est libre, le droit des auteurs est préservé. HAL est interopérable avec les archives ouvertes créées par diverses institutions ou disciplines (arXiv pour la physique, les mathématiques et l'informatique, PubMedCentral pour les sciences de la vie ou REPEC pour l'économie), sans oublier MediHal pour les images scientifiques.

La généralisation de l'open access ne se fera pas sans coût, car une infrastructure et un contrôle de la qualité des articles mis en ligne sont nécessaires. Divers modèles économiques ont été proposés, chacun avec ses avantages et ses inconvénients. Le « **green open access** » (auto-archivage contrôlé) est celui en œuvre dans HAL, complété par l'infrastructure nationale de la Bibliothèque scientifique numérique (BSN) et renforcé par le projet Initiative d'excellence de l'information scientifique et technique (ISTEX). Ce projet, adoubé en avril 2012, est doté de 60 millions d'euros sur trois ans par l'ANR, dont 55 millions destinés à l'achat d'archives scientifiques,

pour constituer un patrimoine formé de collections (revues, livres électroniques, bases de données, corpus patrimoniaux, etc.).

La voie dorée, l'« **open access gold** », prévoit le transfert de la charge du financement en amont, et donc une maîtrise des coûts et un nouvel équilibre avec les éditeurs. Il s'agit d'un véritable processus éditorial incluant une validation par les pairs, dont le mode de financement sera à préciser : auteurs, institutions de rattachement, État... Des organismes comme le CERN, et plus généralement les physiciens des hautes énergies, ou la société Max-Planck, se sont engagés dans cette voie.

Une troisième voie, la « **platinum road** », développerait une édition en libre accès permettant aux auteurs et aux lecteurs d'accéder à la publication scientifique sans paiement. Elle exige la collaboration entre tous les acteurs de l'édition scientifique, chercheurs, éditeurs, bibliothèques, plateformes. Système économique hybride, il allie investissements publics sur des infrastructures et commercialisation de services à haute valeur ajoutée.

En juillet 2012, dans sa prospective « Horizon 2020 », la Commission européenne soutient clairement l'option open access, sans privilégier encore un modèle de financement.

En février 2013, le bureau exécutif du président Obama a publié un mémorandum dont l'objectif affiché est, outre le partage du savoir entre scientifiques, un effet de dynamisation de l'économie : un accès libre aux données produites par des recherches financées sur fonds fédéraux sera porteur sur le plan de l'innovation et de l'emploi.

De nombreuses questions restent cependant posées, soumises à discussion publique : durée de l'embargo (un an aux États-Unis), modèle standard de contrat de publication pour le respect du droit d'auteur... En France, quelques objectifs sont soulignés : optimiser la plateforme HAL, préciser les modalités de l'évaluation de la recherche, et préserver les éditeurs nationaux, comme EDP Sciences dont la SCF est actionnaire et qui présente une offre de services sur le sujet.

Les chiffres témoignent de l'importance de la question : 28 000 revues scientifiques sont répertoriées, dont 8 000 déjà en libre accès ; environ 1 800 000 articles scientifiques sont publiés chaque année, dont 17 % en open access (en 2011).

En chimie, un certain nombre de journaux, essentiellement en anglais, se sont récemment dotés d'une édition en ligne, accessible à leurs abonnés comme, par exemple, *International Journal of Chemistry*, *The Open Organic Chemistry Journal*, *European Journal of Chemistry*, etc. Seul *Chemistry Open*, publication de l'ensemble ChemPubSoc Europe dont la SCF fait partie, est en open access.

La communauté des chimistes français ne peut être absente de la réflexion en cours sur l'évolution de l'édition scientifique, sur les avantages et les inconvénients des diverses voies qui conditionneront la lisibilité de sa présence dans le concert international. À l'instar des physiciens et des mathématiciens notamment, qui multiplient les réunions de travail sur le sujet, les chimistes ne devraient-ils pas s'engager afin de peser sur les décisions qui seront prises ? Le débat est ouvert.

Rose Agnès Jacquesy
Rédactrice en chef

À propos de l'éthane

Tout chimiste a en tête la liste des alcanes (méthane, éthane, propane, butane...), mais dans la vie courante, on connaît surtout le butane, le propane ou le méthane, dont il est souvent question à propos d'environnement. On parle moins de l'éthane, beaucoup moins en tout cas que de l'alcool *éthyl*ique, où d'ailleurs on pourrait croire que l'adjectif *éthyl*ique vient du nom *éthane*.

En fait, c'est l'inverse, car dans les textes de chimie, *éthane* est apparu bien après *éthyl*ique ou *éthyle*, et tous ces termes remontent au nom encore plus ancien de l'*éther*.

Une origine « éthérée »

La première synthèse de l'éther remonte au moins au XVI^e siècle, mais son nom est attesté seulement en 1730 dans un texte en anglais de Frobenius, sous la forme latine *æther* (aujourd'hui *ether* en anglais). L'auteur s'est inspiré du nom grec *aithêr*, devenu en latin *aether*, qui désignait la région supérieure de l'atmosphère, le ciel en poésie, l'air en général. On comprend que les chimistes aient adopté ce nom pour un produit hautement volatil comme l'*éther*, qui s'évapore promptement et semble se dissoudre dans l'air.

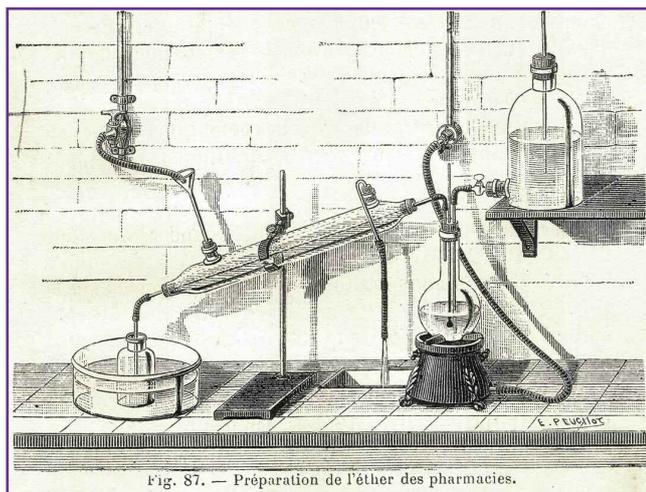


Fig. 87. — Préparation de l'éther des pharmacies.

Préparation de l'éther des pharmacies (Bussard B., Dubois H., *Leçons élémentaires de chimie*, 1906).

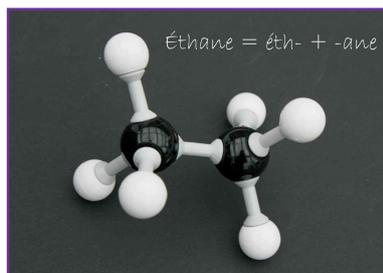
De l'éther à l'éthyle

Beaucoup plus tard, la structure chimique de l'éther a été élucidée par Liebig, qui le définissait en 1840 comme étant l'oxyde (il écrivait <oxide>) d'éthyle (de diéthyle en fait). Il créait ainsi le nom *éthyle*, dont il donnait cette jolie définition : « *L'éthyle est le radical hypothétique de toutes les combinaisons éthérées.* »

Sur le modèle antérieur de *benzoyl*e, le nom *éthyle* associe le radical *éth-* au suffixe *-yle*, formé sur le grec *hulê*, dont le sens initial est très concret : le bois (bois sur pied ou bois coupé). Ensuite *hulê* désigne tout matériau de construction (bois, pierre...), d'où finalement toute matière, quelle qu'elle soit (concrète ou même abstraite). De là, le suffixe *-yle* a été adopté pour traduire l'existence matérielle des radicaux « hypothétiques », tels que le radical *éthyle*.

Changement de suffixe

Enfin, le nom *éthane* lui-même n'apparaît qu'en 1880. Il se déduit de *éthyle* par un changement de suffixe de *-yle* à *-ane*. Mais autant *-yle* a un véritable sens étymologique, qui remonte *in fine* au nom grec du bois, autant *-ane* est un suffixe formel (de forme latine), qui fut adopté définitivement pour les alcanes au Congrès de Genève de 1892 (cf. note de Josette Fournier au n° 371).



La molécule d'éthane.

Telle est donc l'histoire d'*éthane*, qui lui est propre, comme le sont aussi les histoires de *méthane*, *propane* ou *butane* (cf. clin d'œil étymologique du n° 370).

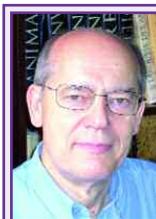
Des séries alphanumériques

Si les noms des quatre premiers alcanes sont particuliers, à partir du 5^e, ils deviennent purement numériques : *pentane*, *hexane*, *heptane*, *octane* (on connaît bien l'indice d'octane de l'essence)... C'est un peu la même chose pour les polygones qui, à partir du 5^e, s'appellent *pentagone*, *hexagone*, *heptagone*, *octogone*... même si dans ce cas les premiers noms, *triangle* et *quadrilatère*, sont déjà basés sur les chiffres 3 et 4 en latin.

On peut aussi faire une analogie, un peu forcée peut-être, avec les noms des mois de l'année. En effet, le calendrier romain comportait initialement dix mois, dont les quatre premiers avaient des noms différenciés (devenus mars, avril, mai, juin) alors que les noms des suivants étaient des numéros d'ordre : *Quintilis*, *Sextilis*, *September*, *October*... Par la suite, les mois de janvier et février ont été ajoutés, d'où le fait que maintenant, les 9^e, 10^e, 11^e et 12^e mois de l'année sont *septembre*, *octobre*, *novembre* et *décembre* (*Quintilis* et *Sextilis* étant devenus entre-temps juillet et août).

Mais il y a plus étonnant : dans les grandes familles romaines, il arrivait que seuls les quatre premiers prénoms des enfants soient variés, alors que les suivants étaient simplement *Quintus*, *Sextus*, *Septimus*, *Octavius*... (ou l'équivalent féminin). C'est l'origine de prénoms comme *Quentin*, *Sixtine* ou *Octave*, qui se donnent encore aujourd'hui.

À propos de prénoms, *Ethan*, d'origine biblique, connaît une certaine vogue depuis quelques années... mais la ressemblance avec *éthane* est purement fortuite.



Pierre Avenas a été directeur de la R & D dans l'industrie chimique.

Courriel : pier.avenas@orange.fr

On va manquer d'uranium...



Le « yellow cake ». © AREVA/P. Lesage.

Ce titre peut étonner et même être jugé politiquement incorrect à l'heure où plusieurs pays européens, dont la France, s'appêtent à sortir du nucléaire ou à le diminuer !

L'uranium, élément 92, est bien connu des chimistes et du grand public, car il contient un isotope fissile ^{235}U qui, sous impact neutronique, libère l'énergie utilisée par les réacteurs nucléaires et aussi, hélas, par les bombes atomiques. Dans l'uranium naturel, l'isotope ^{235}U n'est présent qu'à 0,72 % (^{238}U faisant le complément à 100 %), mais cela suffit pour en faire un champion énergétique, car si 1 kg de gasoil représente 11 kWh, il ne faut qu'un peu plus de 1 mg d'uranium pour en faire autant ! D'où l'importance de l'élément pour notre société énergivore.

L'extraction de l'uranium naturel et son enrichissement en isotope ^{235}U font appel à une chimie complexe [1]. Le minerai est traité par dissolution acide ou alcaline, *in situ* par lixiviation, séparé par solvants des solutions aqueuses. L'uranium est précipité sous forme d'oxyde ; c'est le « yellow cake » riche en U_3O_8 . Interviennent ensuite les opérations d'enrichissement isotopique passant d'abord par la fluoration de l'oxyde et sa transformation en UF_4 , puis UF_6 . Pour passer de 0,72 à 4 % en ^{235}U , on joue sur la faible différence de masse 235 vs 238. Deux procédés peuvent être utilisés : la diffusion gazeuse de UF_6 porté à environ 85° C à travers des barrières microscopiques pratiquée en France sur le site du Tricastin dans l'usine Eurodiff (Georges Besse 1) depuis 1979 jusqu'à l'heure actuelle, et la centrifugation pratiquée à Georges Besse 2 qui la remplace. L'hexafluorure enrichi est ensuite oxydé et transformé en UO_2 qui va constituer la matière fissile du réacteur nucléaire.

Deux ans après la catastrophe de Fukushima, alors qu'en 2011 le gouvernement japonais démocrate s'était engagé à une sortie de l'atome, les élections de décembre 2012 mettent au pouvoir les conservateurs qui souhaitent relancer des centrales nucléaires plus sûres. Ce retournement de situation est largement dicté par la situation économique, l'arrêt des réacteurs au Japon ayant entraîné une balance commerciale plombée par une envolée de la consommation de gaz, dont le prix à l'import s'était lui aussi envolé. Les experts

français d'AREVA et canadiens de CAMECO n'excluent pas le redémarrage de cinq à six réacteurs en 2013 dans ce pays. Ce n'est pas sans influence sur le cours de l'uranium – en réalité de la livre (lb = 454 g d' U_3O_8) – qui avait plongé en 2011 de 78 à moins de 50 dollars, et qui traverse maintenant une tendance à la hausse. Le trou d'air en 2011 avait aussi été causé par la décision de l'Allemagne et d'autres pays européens, sous le coup de l'émotion, de sortir du nucléaire en 2020. Deux ans plus tard, d'après l'AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique), la tendance s'inverse : alors que l'on compte 440 réacteurs en activité de par le monde, il devrait s'en ajouter 75 en 2020 et entre 100 et 350 de plus en 2030. Déjà en février, les États-Unis ont autorisé la construction de deux nouveaux réacteurs, vingt-cinq sont en construction en Chine, d'autres en Russie et – surprise – l'Arabie Saoudite, premier producteur de pétrole, souhaite s'équiper de seize réacteurs. Quelles peuvent être les motivations de ces pays ? C'est bien sûr avant tout l'indépendance énergétique nationale, mais aussi la raréfaction et la volatilité du prix des ressources pétrolières et le pari déjà perdu de limiter à 20 milliards de tonnes les émissions de CO_2 et des gaz à effet de serre en 2035 qui poussent les États à un mix énergétique décarboné où le nucléaire occupe une place importante.

Se pose alors une question : la production mondiale d'uranium saura-t-elle y faire face ? La production actuelle, de l'ordre de 42 000 t, est déjà insuffisante devant la consommation de l'ordre de 68 000 t. Le complément est issu notamment des stocks militaires, mais la fin du traité sur les armes stratégiques devrait assécher cette source dès 2014. Si on chiffre en moyenne le besoin d'un réacteur en activité à 200 t/an, les réacteurs en construction et les projets à l'horizon 2020/2025 demanderaient 22 000 t supplémentaires, soit un total de 90 000 t dont la production actuelle ne couvre qu'à peine 50 %.

Les principaux pays producteurs sont le Canada, l'Australie et le Kazakhstan. Des ressources importantes sont identifiées en Russie, en Afrique du Sud et en Afrique subsaharienne, mais leur exploitation nécessite de gros investissements, surtout une remontée des cours de l'uranium pour assurer la rentabilité. Par ailleurs, la présence de régimes stables dans les pays producteurs est un facteur géopolitique dont les récents conflits africains nous soulignent l'importance. Demande accrue, production insuffisante, capitaux à trouver pour investissements lourds... d'après les économistes, tous les ingrédients sont réunis pour une flambée des prix.

Quelles conséquences sur le prix de l'énergie ? Pour l'instant, le prix de l'uranium paraissait marginal (5 à 10 %) face aux coûts de l'amortissement et du fonctionnement du réacteur : à 50 €/lb U_3O_8 , il représenterait à peine 20 % du coût du MWh à

38 € ; à 100 €/lb, il serait de 40 % du prix du MWh à 46 € ; s'il atteignait 200 €/lb, le prix du MWh atteindrait alors 62 €, ce qui reste encore intéressant vu le non-dégagement de CO_2 , mais s'approche du prix du MWh thermique ou de l'éolien.

Aurait-on les moyens de diminuer ou de supprimer les tensions du marché ?

- **Mieux enrichir l'uranium** : le procédé par centrifugation peut ne laisser que 0,15 % de ^{235}U dans l'uranium appauvri au lieu de 0,25 % pour la diffusion gazeuse dans des conditions techniques et économiques acceptables.

- **Améliorer le rendement des réacteurs** : on est actuellement près de 50 GW par tonne d'uranium, l'EPR permet de monter à 70 GW/t. Les besoins pour un réacteur de puissance moyenne de 1 000 GW s'abaisseraient alors de 200 t/an à 142 t/an.

- **Recycler le combustible** : le procédé français PUREX de séparation des produits de fission conduit au combustible MOX qui contient du plutonium et recycle une partie de la matière première dont l'économie est estimée à 12 %, d'où une réduction supplémentaire pour le réacteur de 1 000 GW qui conduirait à 125 t/an.

Il est alors tentant de faire, comme pour les ressources carbonées, le calcul du temps d'épuisement des ressources en uranium. Ces ressources sont difficiles à évaluer car les teneurs des gisements sont en général assez faibles (sans aller jusqu'à l'extraction de l'eau de mer !) : elles sont estimées à 5,4 millions de tonnes (6,3 Mt si U_3O_8). Si on passe en 2030 de 440 à 700 réacteurs classiques, il faudrait 108 000 t/an, d'où une disponibilité de 60 ans. Si on construit des réacteurs modernes avec recyclage partiel du combustible, il faudrait alors 87 000 t/an et la période s'allonge à 73 ans.

Dans tous les cas, il faut trouver de nouveaux gisements et faire rapidement des investissements miniers lourds. L'autre voie royale est celle des réacteurs de 4^e génération, ceux à neutrons rapides. La France et l'Allemagne avec le CEA étaient en avance grâce à Superphénix, arrêté par décision politique en 1998. Le surgénérateur utilise non seulement l'isotope fissile ^{235}U de l'uranium, mais aussi son isotope majoritaire ^{238}U 130 fois plus abondant ; ceci multiplie la ressource disponible par environ un facteur 100, et donne donc un délai de près de mille ans avant épuisement.

En attendant, chers boursicoteurs, vendez vos lingots d'or et stockez de l'uranium dans vos coffres, mais attention, ne dépassez pas la masse critique !

Jean-Claude Bernier,
le 5 avril 2013

[1] Rigny P., Le cycle du combustible nucléaire : de la mine d'uranium jusqu'au recyclage et aux déchets, *L'Act. Chim.*, 2010, 345, p. 1.
www.lactualitechimique.org/larevue_article.php?cle=2407

Chimie des substances naturelles : la forêt amazonienne comme vertigineuse source d'inspiration

Entretien avec Christophe Duplais, chercheur au laboratoire Écologie des Forêts de Guyane



Ecofog⁽¹⁾ est un laboratoire pluridisciplinaire basé en Guyane qui aborde la biodiversité guyanaise par différentes approches (écologie, sciences des matériaux et chimie). Christophe Duplais* y travaille en tant que chimiste des substances naturelles et l'immensité de la forêt amazonienne a élu domicile sur sa paillasse. Son objectif : déceler dans la nature – et pas seulement la flore – de nouvelles molécules aux propriétés encore insoupçonnées. Son équipe se penche particulièrement sur les propriétés de fluorescence et sur les activités antimalariques de molécules issues des fourmis.

Selon vous, le chimiste a-t-il encore des choses à découvrir ou à apprendre de la nature ?

Christophe Duplais : La complexité des structures et des interactions chimiques dans le milieu amazonien me laisse rêveur et perplexe quant à notre capacité d'en mesurer toute la splendeur. Lorsque le chimiste étudie la nature, il se retrouve inévitablement à l'interface entre de nombreux domaines et il se rend compte avec humilité à quel point beaucoup de choses sont encore à apprendre en chimie (écologique, physique, bioorganique etc.). La bio-inspiration a encore de beaux jours devant elle. En effet, dans le domaine des substances naturelles, la créativité est souvent issue de l'observation d'un phénomène chimique que l'on s'approprie selon nos besoins. Par exemple, des découvertes importantes en écologie chimique pourraient avoir des répercussions sur notre environnement, comme la dépollution des sols en métaux lourds par les plantes (phytoremédiation) ou l'utilisation de micro-organismes pour dégrader les plastiques polluants et les pesticides.

Pourtant les molécules naturelles semblent de moins en moins intéresser...

Il y a deux raisons principales à cela : les difficultés d'approvisionnement et les droits associés (convention de Rio et dispositif APA⁽²⁾). De plus, synthétiser des petites molécules est si facile aujourd'hui que nous avons acquis la certitude de ne plus pouvoir être surpris par une structure nouvelle d'origine naturelle. Chez les industriels, seul un petit nombre se risque encore, notamment avec les micro-organismes marins ou les peptides de venins, à investir dans la nature pour nous soigner.

Les approches de chimie de synthèse sont bien évidemment complémentaires, mais retrouver et apprécier l'originalité des structures que nous ne savons imaginer est crucial et reste une force créatrice majeure en chimie des

substances naturelles. Pour ce faire, il faut peut-être déplacer notre loupe, majoritairement focalisée sur la phytochimie, vers d'autres organismes tels que les micro-organismes et les arthropodes, dont les voies biosynthétiques sont encore peu connues. Un petit nombre d'équipes en France et dans le monde s'attèle à la tâche et les nouvelles structures rencontrées m'impressionnent fortement.

Pourquoi rechercher dans la nature des molécules qui fluorescent ?

À l'heure actuelle, les molécules fluorescentes, essentiellement utilisées comme sonde (pour l'imagerie par exemple), sont regroupées à travers un nombre limité de familles



En pleine chasse à la fourmi. © Ecofog.



Une chenille fluorescente. © Ecofog.

chimiques. Notre problématique est de savoir si de nouvelles structures originales se cachent dans la nature. Certaines propriétés photophysiques sont actuellement très recherchées pour des applications en biologie. Un concept qui nous intéresse tout particulièrement est celui de la dualité fonctionnelle : une molécule biologiquement active et fluorescente. Pour trouver ces molécules, nous explorons la forêt amazonienne de nuit avec une lampe UV et un spectrofluoromètre portable.

Une autre problématique, plus écologique cette fois, concerne l'importance du signal de fluorescence dans la communication visuelle entre les plantes ayant cette propriété et les pollinisateurs, dont on ne connaît encore que peu de chose. Avec des collègues écologue⁽³⁾ et photophysicien⁽⁴⁾, nous effectuons actuellement une étude transdisciplinaire qui allie les tests expérimentaux, la détermination structurale des fluorophores et l'analyse photophysique, pour essayer de répondre à cette question⁽⁵⁾.

Comment êtes-vous arrivé à focaliser vos recherches sur les fourmis ?

Je m'intéresse beaucoup aux arthropodes, et plus particulièrement aux fourmis, car nous sous-estimons peut-être l'intérêt thérapeutique de leurs métabolites secondaires, notamment contre le paludisme. L'apparition de souches résistantes à l'artémisinine, molécule antipaludéenne de référence, est un problème inquiétant, d'autant plus que peu de molécules sont en phase clinique III. Il existe donc un besoin important en nouvelles structures actives. Bien que l'étude des arthropodes soit largement développée en écologie chimique, peu d'extraits d'arthropodes ont fait l'objet d'étude dans des tests biologiques. Rappelons que les dernières estimations donnent une fourchette entre six et sept millions d'espèces. Le problème, lorsqu'on s'attaque à la chimie des insectes, est d'avoir suffisamment de matériel biologique pour effectuer un test *in vitro* et une analyse RMN. C'est l'une des raisons pour lesquelles nous⁽⁶⁾ nous tournons vers les insectes sociaux pour assurer des quantités nécessaires reproductibles. Les fourmis sont de formidables usines chimiques ambulantes composées de nombreuses glandes et pour certaines de poches à venins. Plus de 200 alcaloïdes ont été identifiés chez une dizaine d'espèces tropicales. Cependant, nous sommes loin de connaître la diversité chimique des 14 000 espèces présentes sur Terre, dont les 550 présentes en Guyane. À nouveau, l'aide de nos collègues⁽⁷⁾ écologues du laboratoire Ecofog spécialistes des fourmis et leur expertise écologique et entomologique nous sont vitales pour démarrer une telle activité.

Notes

- * Christophe Duplais, Ecofog - Kourou (christophe.duplais@ecofog.gf).
- (1) Laboratoire Écologie des Forêts de Guyane (CNRS/Université des Antilles et de la Guyane/Inra/Cirad/AgroParisTech).
- (2) Accès aux ressources et Partages des Avantages.
- (3) Julien Renoult, Département de Zoologie, Université de Freiburg.
- (4) Rémi Métivier, Laboratoire de Photophysique et Photochimie Supramoléculaire et Macromoléculaires (PPSM), ENS Cachan.
- (5) Travaux menés dans le cadre d'un projet financé par le Labex CEBA (Centre d'Étude de la Biodiversité Amazonienne).
- (6) Dans le cadre d'une collaboration avec Bruno Figadère et Alexandre Maciuk (Faculté de pharmacie de Châtenay-Malabry).
- (7) Jérôme Orivel, Ecofog (Kourou), et Alain Dejean, Université Paul Sabatier de Toulouse.

Cet entretien a été réalisé par **Christophe Cartier dit Moulin** et **Jonathan Rangapanaiken**, en charge de la communication scientifique de l'Institut de chimie du CNRS.

Tous les entretiens (réalisés depuis septembre 2012) sont publiés sur le site de l'INC : www.cnrs.fr/inc/communication/entretien.htm.



Pas le temps pour la pause café ? Nous accélérons votre filtration.

LES NOUVELLES POMPES À MEMBRANE ME 1 ET ME 1C



La filtration est l'application la plus courante au laboratoire. Les nouvelles pompes à membrane ME 1 et ME 1C sont compactes, puissantes et leur facilité d'utilisation en font le partenaire idéal pour la filtration et l'aspiration. La ME 1C se distingue en plus par son excellente résistance chimique.

www.vacuubrand.com

VACUUBRAND GMBH + CO KG · France

Sébastien Faivre · Secteur Est et Sud

Tél.: +33 388 980 848

sebastien.faivre@vacuubrand.com

Patrice Toutain-Keller · Secteur Ouest et Nord

Tél.: +33 169 090 678

patrice.toutain-keller@vacuubrand.com

vacuubrand

Technologie du vide

Matériaux et quotidien

Retour sur les JIREC 2012

Bénédicte Garreau-de Bonneval, Isabelle Hallery, Françoise Milon, Nadia Vujkovic et Katia Fajerweg

Mots-clés JIREC 2012, matériaux, nanomatériaux, enseignement, nouveaux programmes de lycée.



Les participants des JIREC 2012 à Toulouse-Mondonville. Photo : André Gilles, DR.

La 28^e édition des Journées de l'innovation et de la recherche dans l'enseignement de la chimie (JIREC) s'est déroulée au domaine d'Ariane, au cœur du pôle Espace et Aéronautique toulousain. Notons que ce lieu est, tout au long de l'année, au service de la culture scientifique, technique et industrielle pour tous grâce aux interventions de la Ligue de l'Enseignement 31. C'est sur ce site qu'en 1994, René Meyer a organisé les 11^e JIREC sur le thème des équilibres [1].

Les JIREC 2012 ont réuni une centaine de participants de différentes nationalités, enseignants du secondaire, enseignants-chercheurs, chercheurs de différents établissements publics, écoles d'ingénieurs, organismes de recherche, ainsi que des représentants d'entreprises.

Le thème général, « **Matériaux et quotidien** », a été choisi en raison de son **introduction dans les programmes du lycée**. De plus, Toulouse, capitale européenne de l'aéronautique et de l'espace, accueille un grand nombre de laboratoires qui participent, à travers leurs recherches et leurs enseignements, au développement de nouveaux matériaux. Enfin, la région Midi-Pyrénées possède un riche patrimoine artistique et industriel dans ce domaine.

En complément de cette thématique, une part importante de ces journées a été consacrée à des présentations orales, démonstrations, ateliers et discussions relatives au métier d'enseignant de la chimie, à son évolution induite par les nouveaux programmes des lycées, ainsi qu'aux **aspects pédagogiques de l'enseignement de la chimie**. C'est dans ce contexte qu'un dossier détachable est publié dans

ce numéro à l'occasion de cette manifestation.

Le programme des JIREC 2012 comprenait six conférences plénières, quatorze communications orales, quatre communications par affiches, trois démonstrations et trois séances d'ateliers (voir *encadré 1* p. 8). Il convient de souligner la participation de collégiennes d'une éco-classe à la réalisation d'une démonstration axée sur la biomasse (voir *encadré 2* p. 9). Les résumés des conférences [2] et de la plupart des présentations sont disponibles sur le site des JIREC 2012 [3-4].

L'objectif de cette présentation générale n'est pas de détailler l'ensemble des conférences, communications, démonstrations et ateliers, dont un certain nombre

se retrouvent dans les articles qui suivent, mais de donner un aperçu et de souligner quelques temps forts de la manifestation.

Matériaux pour l'enseignement de chimie

Le thème de ces journées a fait l'objet de trois conférences plénières :

- Hélène Combes – Centre national des études spatiales (CNES), Toulouse – a décrit les contraintes importantes et spécifiques auxquelles sont confrontés les matériaux de l'espace, telles que la tenue au vide, aux radiations, à de larges gammes de température et à l'oxygène atomique. Elle a aussi montré comment les nouvelles réglementations environnementales faisaient évoluer les choix des matériaux utilisés dans le domaine spatial pour leurs applications au sol et en vol. Ces contraintes et ces évolutions sont à l'origine de recherches nombreuses et fructueuses.

- Bruno Chaudret – Institut national des sciences appliquées (INSA), Toulouse – a montré quelques applications de nanoparticules dans différents domaines scientifiques comme la catalyse, la conversion de l'énergie, la chimie analytique, la micro- et la nanoélectronique, la nanomédecine (hyperthermie). Il a présenté comment la maîtrise de méthodes de synthèse, notamment celles issues de la chimie organométallique, permettait la préparation de nano-objets parfaitement définis en tailles, formes et états de surface.

- Patrice Simon – Université Paul Sabatier (UPS), Toulouse – a traité de matériaux nanostructurés pour le stockage

Encadré 1

Programme des JIREC 2012

Les conférences/communications/ateliers/démonstrations suivis d'un astérisque* font l'objet d'une contribution dans ce numéro.

Conférences plénières

*L'innovation « systématique » : rêve ou réalité**, par Jean-Marc Le Lann (Laboratoire de Génie Chimique, INP-ENSIACET, Université de Toulouse).

Chimie et matériaux pour les satellites : nouveaux enjeux, par Héléne Combes (CNES, Toulouse).

*Introduction du « référentiel de compétences comportementales » de la filière Chimie Environnement dans une formation en apprentissage**, par Jérôme Randon (Université Claude Bernard Lyon 1, Institut des Sciences Analytiques) et Jean-Louis Lefevre (SE3 Consulting).

L'enseignement de la thermodynamique illustré par la plongée sous-marine, par Pierre Letellier (Laboratoire Interfaces et Systèmes Electrochimiques, UPMC, Sorbonne Université, Paris).

Nanoparticules organométalliques : croissance, organisation, applications et perspectives, par Bruno Chaudret (Laboratoire de Physique et Chimie de Nano-Objets, CNRS, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse).

Matériaux nanostructurés pour le stockage électrochimique de l'énergie, par Patrice Simon (Centre Interuniversitaire de Recherche et d'Ingénierie des Matériaux, UPS, Toulouse).

Communications orales

Transparency : l'outil-clé pour la mobilité des étudiants en Europe, par Laurie Barthe (Laboratoire de Génie Chimique, INP-ENSIACET, Toulouse).

L'enseignement en sciences des matériaux à l'Université Paul Sabatier, par Christophe Laurent (Centre Interuniversitaire de Recherche et d'Ingénierie des Matériaux, UPS, Toulouse).

*Le regard transdisciplinaire ou le désir de comprendre**, par Florence Boulc'h (Matériaux divisés, Interfaces, Réactivité et Electrochimie, Université d'Aix-Marseille).

Les matériaux pour des applications membranaires, par Sylvie Condom (ENSCM, Institut Européen des Membranes, Montpellier).

Dans quelles conditions les apprenants peuvent-ils concevoir leurs expérimentations au cours d'investigations scientifiques ?, par Cédric d'Ham (Laboratoire d'Informatique de Grenoble, Université Joseph Fourier).

*Des nouveaux programmes du lycée à ceux de l'enseignement supérieur**, par Marie-Blanche Mauhourat (Groupe des sciences physiques et chimiques fondamentales et appliquées, IGEN, Paris).

Sur quoi sont fondées les propriétés des matériaux polymères ? Illustration par les TPE, par Thierry Hamaide (Ingénierie des matériaux polymères, Polytech Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1).

Fabrication du ciment : de l'extraction de la roche au client, par Philippe Burnage (Lafarge Ciments, Martres-Tolosane).

Les actions complémentaires à l'école dans le champ de la culture scientifique et technique, par Fabien Négrier (La Ligue de l'Enseignement 31, CPESTI, Mondonville).

Analyse électrochimique d'un antiagglomérant, le ferrocyanure, dans le sel de mer, par Paul-Louis Fabre (Laboratoire de Génie Chimique, IUT A, UPS).

*Détermination de la composition du lait**, par Olivier Reynes (Laboratoire de Génie Chimique, IUT A, UPS).

La thermodynamique victime de son formalisme, par Jean-Charles Mougenel (Laboratoire de Matériaux à Porosité Contrôlée, ENSCMulhouse).

*PCI Geofug® : un nouveau produit à base de technologie géopolymère**, par Siegfried Zuern (BASF Construction Chemicals Retail Europe, Augsburg, All.).

Enseigner la chimie organique avec les orbitales. La base d'orbitales moléculaires OrbiMol [5], par Patrick Chaquin (Laboratoire de Chimie Théorique, UPMC, Sorbonne Université, Paris).

Communications par affiches

TP : Étude de la chaîne de déminéralisation de l'eau du robinet par chromatographie ionique, par Françoise Désanglois, Jaouide Karaouzène et Claudine Follet-Houttemane (Université de Valenciennes, Institut des Sciences et Techniques).



La salle et le public lors d'une conférence. Photo : André Gilles, DR.

Physico-chimie de l'interface bois-vin pendant l'élevage en barriques, par William Giraud et Maurice Comtat (Laboratoire de Génie Chimique, UPS, Toulouse).

Détermination du gap électrochimique de complexes neutres du nickel à l'état solide : application du photovoltaïque, par Alix Sourmia-Saquet, Tuan Than Bui, Bénédicte Garreau-de Bonneval, Kathleen Chane-Ching et Alain Moreau (Laboratoire de Chimie de Coordination, UPS, Toulouse).

Is « ECHMTEST » chemistry evaluation a helpful tool for chemistry understanding?, par Pascal Mimero et coll. (ECTN, ECTN Association/CPE Lyon).

Ateliers

*Formation par alternance**, par Jérôme Randon (Université Claude Bernard Lyon 1, Institut des Sciences Analytiques), Xavier Joulia et Carole Saudejaud (Laboratoire de Génie Chimique, INP-ENSIACET, Toulouse).

Quelle place à l'initiative de l'apprenant dans l'enseignement supérieur ?, par Michel Vigneron (Académie de Paris) et Dominique Kahraman (BTS, lycée Déodat de Séverac, Toulouse).

*Enseignement de la spectroscopie de résonance magnétique nucléaire**, par André Gilles (UdPPC) et Véronique Gillard (Laboratoire de Synthèse et Physico-Chimie de Molécules d'Intérêt Biologique, UPS, Toulouse).

*Synthèse organique et chimie verte**, par Julien Calafell (UdPPC, CPGE PCSI lycée Bellevue, Toulouse), Martine Urrutigoity (Laboratoire de Chimie de Coordination, INP-ENSIACET, Toulouse) et Françoise Milon (UPS, Toulouse).

*Accueil de nouveaux profils d'étudiants à la rentrée 2013**, par Marie-Blanche Mauhourat (Groupe des sciences physiques et chimiques fondamentales et appliquées, IGEN Paris) et Bénédicte Garreau-de Bonneval (Laboratoire de Chimie de Coordination, UPS, Toulouse).

Enseignements pratiques de la science des matériaux, par Loïc Hallez et Francis Touyeras (IUT de Besançon-Vesoul, Université de Franche-Comté, Institut de l'Univers, Transport, Interfaces, Nanostructures, Atmosphère et Environnement, Molécules).

*Mesure et incertitudes dans l'enseignement de la chimie**, par Frédéric Marchal (Laboratoire Plasma et Conversion d'Énergie, UPS, Toulouse) et Christine Ducamp (Laboratoire Évolution et Diversité Biologique, École Nationale de Formation Agronomique, UPS, Toulouse).

Matériaux et nanomatériaux, par Christophe Laurent (Centre Interuniversitaire de Recherche et d'Ingénierie des Matériaux, UPS, Toulouse), Fabien Delpech (Laboratoire de Physique et Chimie des Nano-Objets, UPS, Toulouse), Julian Carrey (Laboratoire de Physique et Chimie des Nano-Objets, INSA, UPS, Toulouse), Diana Ciuculescu et Pierre Fau (Laboratoire de Chimie de Coordination, UPS, Toulouse).

Démonstrations

Spectroscopies, par Jean-Pierre Rabine (Centre de Développement Informatique Chimie, Université de Nice Sophia-Antipolis) et Michel Rouillard (Université de Nice Sophia-Antipolis).

Rôle de la qualité de l'eau en cuisine, par Philippe Behra (Laboratoire de Chimie Agro-Industrielle, INP-ENSIACET, Toulouse) et Gérard Garrigues (restaurant « Le Moai » au Muséum d'Histoire naturelle de Toulouse).

Et si les polymères poussaient dans les champs ? (voir encadré 2), par Avril Bouillet (La Ligue de l'Enseignement 31, CPESTI, Mondonville) et les collégiennes de l'éco-classe du collège Jean Jaurès de Colomiers (31).

Encadré 2

Retour sur la démonstration « Et si les polymères poussaient dans les champs ? »

Rassemblant une dizaine de personnes, cette démonstration a été l'occasion pour quatre collégiennes de 5^e et de 4^e de l'éco-classe⁽¹⁾ du collège Jean Jaurès à Colomiers (31) de valoriser leur parcours d'animation sur la thématique de la biomasse. Aidées par Avril Bouillet, médiatrice scientifique à la Ligue de l'Enseignement 31, elles ont animé ce temps d'échange articulé autour d'un **jeu**, d'une **présentation** et d'une **manipulation**, à l'image des pédagogies actives actuelles initiées par George Charpak⁽²⁾.

Dans un premier temps, et avant de rentrer dans le vif du sujet, Avril Bouillet a présenté le dispositif « Rencontre scientifique » qui a permis la collaboration entre le collège Jean Jaurès et la Ligue de l'Enseignement 31. Réalisé de mars à mai 2012, il s'est réparti en six séances regroupant des ateliers d'une heure, ainsi qu'une visite de site en fin du projet permettant aux neuf élèves présents de rencontrer des scientifiques. Ce projet pilote autour de la « biomasse » a naturellement trouvé son public au sein d'une éco-classe.

Les objectifs généraux partagés par l'Académie de Toulouse et la Ligue de l'Enseignement 31 sont de contribuer à la diffusion de la culture scientifique technique et industrielle (CSTI) en milieu scolaire, de sensibiliser les jeunes aux métiers scientifiques et industriels, et de favoriser l'égalité des chances et l'égalité fille/garçon (la classe n'était composée que de filles !) dans la poursuite d'études scientifiques. Le projet est initié par le collège Jean Jaurès et est accompagné par la Ligue de l'Enseignement 31.

Dans un second temps, les élèves ont introduit leur thématique « agromatériaux »* à travers un **jeu**. Il s'agissait de classer différents objets de la vie quotidienne en deux catégories qu'il fallait également définir. Après discussion, les objets ont été classés selon leur origine (issue du pétrole OU de la biomasse). Ceci a permis d'introduire les sept classes de plastiques recyclables (système à sept codes créé par l'industrie du plastique)⁽³⁾ et de constater qu'il n'existe pas encore de signe ou de sigle pour les agromatériaux. Certaines propriétés des polymères telles que la dureté, la transparence et le vocabulaire associé ont également été abordées.

Les collégiennes ont ensuite réalisé une **présentation** des expériences relatives à la fabrication de polymères à partir de

différents ingrédients. Cela leur a permis de mettre en place une démarche expérimentale durant les ateliers scientifiques et techniques.

Enfin, les participants à cet atelier ont effectué une **manipulation** proposée par les collégiennes, consistant à fabriquer un objet en plastique à partir de lait et de vinaigre⁽⁴⁾.

Une discussion a permis de mettre en évidence que la démarche expérimentale et la participation active à travers des manipulations faciles à réaliser ont été les étapes les plus appréciées par les élèves lors de ce parcours.

Pour les curieux : voici comment fabriquer un polymère à partir de lait et de vinaigre chez soi

Ingrédients : 25 cL de lait, 2 cuillères à soupe de vinaigre blanc.

Matériel : entonnoir, papier filtre, béchers, verre doseur, cuillère, papier absorbant, bouchon de bouteille en plastique, micro-onde.

Mesurer 25 cL de lait et faire chauffer au micro-onde jusqu'à ce qu'il soit chaud sans être bouillant. Ajouter 2 cuillères à soupe de vinaigre blanc et tourner : le lait caillé et de petits flocons blancs se forment. Placer

le papier filtre dans l'entonnoir au-dessus d'un bécher et filtrer le mélange précédent en récupérant bien tout le liquide en pressant les flocons sur le filtre à l'aide de la cuillère. Récupérer la pâte sur le filtre et la sécher avec le papier absorbant. Remplir le bouchon de bouteille, servant de moule, avec la pâte. Laisser sécher à l'air libre pendant environ trois jours.

* Un poster présentant un outil de démonstration pour la production d'agromatériaux est téléchargeable librement sur le site www.lactualitechimique.org, à partir de la page liée à cet article.

(1) L'Éco-École est un label international décerné aux établissements scolaires qui s'engagent vers un fonctionnement éco-responsable et intègrent l'éducation à l'environnement et au développement durable (EEDD) dans les enseignements (www.eco-ecole.org).

(2) www.fondation-lamap.org/fr/page/92/charpak

(3) <http://fr.ekopedia.org/Plastique>

(4) Verchier Y., Gerber N., *Vous avez dit chimie ?*, Universcience Éditions, 2010.



Photo : Lucas Parraud/Ligue de l'Enseignement 31.

électrochimique de l'énergie dans les supercondensateurs. Il a mis l'accent sur la mise au point de matériaux carbonés de porosité subnanométrique et sur les modifications théoriques à apporter à la compréhension des mécanismes de charge de la double couche électrochimique. Il a également convaincu l'auditoire que les supercondensateurs pouvaient se révéler de bons outils pédagogiques pour sensibiliser les étudiants aux problèmes du stockage de l'énergie.

Le thème des matériaux a également fait l'objet de six communications au cours desquelles :

- Christophe Laurent – UPS, Toulouse – a présenté un état de l'enseignement en sciences des matériaux à l'UPS, volontairement diversifié et multidisciplinaire, avec des possibilités de débouchés dans l'aéronautique et l'espace, le bâtiment, les travaux publics ou l'énergie.

- Florence Boulc'h – Université Aix-Marseille – nous a fait voyager au travers du bleu égyptien en passant par son histoire, sa synthèse, sa structure et son utilisation au fil des

siècles pour présenter une démarche transdisciplinaire. Cette dernière se traduit par la mise en place à l'Université de Marseille d'une licence associant sciences et humanités.

- Sylvie Condom – École Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier (ENSCM) – a donné un large panorama des matériaux utilisés pour des applications de séparation par membrane. Elle nous a montré que la recherche de nouvelles performances dans la sélectivité et l'efficacité des séparations passe quelquefois par l'association de matériaux organiques et inorganiques, par la modification des surfaces et par la proposition de nouvelles techniques de synthèse.

- Thierry Hamaide – Université Claude Bernard Lyon 1 – a présenté un exposé sur les matériaux polymères, en rappelant quelques notions de base sur leur structure, leur longueur et leur conformation, et en soulignant quelques points délicats dans l'enseignement relatif aux polymères. Quelques illustrations ont alimenté une réflexion pédagogique sur l'importance de la morphologie des polymères pour le contrôle de leurs propriétés.

- Philippe Burnage – Lafarge Ciments, Martres-Tolosane – nous a fait pénétrer au cœur d'une cimenterie, nous expliquant comment on passe de la roche au ciment, véritable colle minérale utilisée dans la fabrication du béton. Il a initié l'auditoire au vocabulaire spécifique des cimentiers et a posé quelques bases de discussion sur la construction durable.

- Siegfried Zuern – BASF Construction Chemicals, Augsburg – a décrit comment étaient préparés les géopolymères à partir de polyacides de silice et d'alumine en milieu alcalin, cette synthèse s'apparentant à la synthèse organique de polymères. Ainsi, BASF a développé un nouveau produit, PCI Geofug[®], utilisé dans le domaine des joints céramiques qui présente des propriétés intéressantes telles que la facilité de nettoyage, la durabilité, etc.

Deux ateliers ont été aussi présentés autour de ce thème :

- Loïc Hallez et Francis Touyeras – IUT de Besançon-Vesoul, Université Franche-Comté – ont montré comment intégrer les cours dans des travaux pratiques en science des matériaux selon les niveaux de formation visés. Ils ont également réalisé deux démonstrations de TP de traitement de surface : la conversion d'un métal en céramique et le dépôt électrolytique d'un métal.

- Christophe Laurent, Fabien Delpech, Julian Carrey, Diana Ciuculescu, Catherine Amiens et Pierre Fau – INSA et UPS, Toulouse – ont décrit certaines notions fondamentales liées à la science des matériaux introduites aux niveaux Master 1 et 2. Ces dernières ont été illustrées par des exemples de TP (niveau M1) portant sur la synthèse, la caractérisation et l'étude des propriétés de nanomatériaux.

En marge de ces exposés scientifiques consacrés à de nombreux types de matériaux, les participants ont pu admirer une partie de la collection de pépites d'or de Didier Thomas, s'initier avec lui au maniement de la bâtée, et découvrir quelques secrets de l'orpaillage dans les torrents et rivières de Midi-Pyrénées.

Formation, pédagogie et innovation

Parallèlement aux conférences, aux communications et aux ateliers centrés sur la thématique « matériaux », de nombreuses présentations ont été consacrées à l'enseignement de la chimie.

Trois conférenciers pléniers ont tenté de répondre à la question « *Comment faire de tout scientifique un futur ingénieur ou chercheur dans les métiers de la chimie et des disciplines voisines (matériaux, procédés, génie industriel, etc.) ?* » :

- Jean-Marc Le Lann – École Nationale Supérieure d'Ingénieurs en Arts Chimiques et Technologiques (INP-ENSIACET), Toulouse – a posé la question : « comment tout scientifique peut-il devenir un innovateur ou tout au moins un être ingénieux ? » Pour cela, il a tout d'abord revisité l'histoire de l'innovation dans le contexte des sciences et technologies et présenté les diverses écoles de pensée promouvant créativité, innovation et invention. Il a ensuite résumé une dizaine d'années de recherches menées au Laboratoire de Génie Chimique (LGC, UMR 5503) en évoquant quelques méthodes de résolution de problèmes innovants (TRIZ, intelligence artificielle, méthodes à base de connaissances ou de raisonnement par cas).

- Jérôme Randon – Université Claude Bernard Lyon 1 – et Jean-Louis Lefevre – SE3 Consulting, Fleurieu-sur-Saône – ont exposé une utilisation originale du référentiel de compétences comportementales construit dans le cadre du pôle de compétitivité Axelera « Chimie et environnement »



Didier Thomas initie les participants à l'orpaillage.
Photo : André Gilles, DR.

pour satisfaire aux objectifs de professionnalisation des étudiants de Master et faciliter leur accès à l'emploi. Ce volet a été en outre discuté au cours de l'atelier proposé par Jérôme Randon, Xavier Joulia et Carole Soudejaud – INP-ENSIACET –, qui ont partagé leur expérience sur la démarche d'alternance réalisée auprès de publics différents : étudiants d'universités et d'écoles d'ingénieurs.

De nombreux aspects liés à la formation, à la pédagogie et à l'innovation ont été présentés au cours de conférences plénières et de communications :

- Fabien Négrier – La Ligue de l'Enseignement, Mondonville – a fait part de sa riche expérience au sein du mouvement national d'éducation populaire de la Ligue de l'Enseignement 31 en présentant de nombreux exemples. Cette association contribue à sensibiliser les jeunes aux sciences et techniques dans le cadre de son action d'éducation à la citoyenneté.

- Laurie Barthe – INP-ENSIACET – a montré l'intérêt de la mobilité des étudiants en Europe inhérente à une formation pertinente fondée sur des savoirs, des savoir-faire et des faire-savoir. Une base de données décrivant les programmes européens de formation en chimie et en génie chimique aux niveaux Bachelor et Master a été ainsi constituée par le groupe Transparency appartenant au réseau EC2E2N (European Chemistry and Chemical Engineering Education Network).

- Patrick Chaquin – Université Pierre et Marie Curie (UPMC), Paris – a proposé un nouvel enseignement de la chimie organique à l'aide des orbitales moléculaires, s'appuyant pour cela sur une base de données évolutive qui renferme à l'heure actuelle 200 molécules. Cette présentation a fait l'objet d'un article paru il y a quelques mois dans *L'Actualité Chimique* [5].

- Avec les exposés de Pierre Letellier – UPMC, Paris – et de Jean-Charles Mougénel – École Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse (ENSCMu) –, les participants ont assisté à la confrontation de deux visions pédagogiques différentes d'enseignement de la thermodynamique qui a suscité un débat animé et fructueux. Le premier exposé reposait sur l'exemple de la plongée sous-marine. Dans ce cadre, Pierre

Letellier s'est appuyé sur les bases conventionnelles de la thermodynamique afin d'interroger les étudiants sur des faits observables et d'explicitier ces derniers. Le second a évoqué une expérience pédagogique reposant sur une description rapide des outils nécessaires (énergie interne, équilibres chimiques, potentiel chimique...) et excluant une approche calculatoire. Il a insisté sur le rôle essentiel des fonctions d'état et sur une approche simplifiée de quelques cas.

- Cédric d'Ham – Université Joseph Fourier, Grenoble – a présenté le résultat d'une méthode d'apprentissage par investigation rendue nécessaire, l'autonomie entraînant de nouvelles pratiques dans la démarche scientifique. Cette conception expérimentale repose en particulier sur l'élaboration, par les étudiants, d'un protocole construit sur le modèle des arbres de tâches.

- Paul-Louis Fabre – IUT A, UPS, Toulouse – a décrit l'intérêt de découvrir quelques méthodes électrochimiques dans des travaux pratiques d'électroanalyse. Il a montré également leur utilisation pour la détermination de la composition d'un sel de cuisine.

- Olivier Reynes – IUT A, UPS, Toulouse – a comparé différentes méthodes de chimie analytique pour déterminer la composition d'un laiton, tout en mentionnant les notions de bases de la chimie des solutions sous-jacentes à ce type de travaux pratiques.

- Marie-Blanche Mauhourat – Inspection générale de l'Éducation nationale (IGEN) – a commenté les nouveaux programmes de terminale S en insistant sur les notions d'autonomie et d'initiatives demandées désormais aux élèves. Les programmes font une place plus importante à la dimension expérimentale, au questionnement, à la formulation d'hypothèses vérifiables et à la proposition de protocoles, d'observations et de mesures pour soumettre les résultats à la critique. Ces « thématiques » ont fait l'objet d'ateliers spécifiques :

- Dominique Kahraman – BTS, lycée Déodat de Séverac, Toulouse – et Michel Vigneron – Académie de Paris – ont lancé la discussion autour de l'interrogation « Quelle place à l'initiative de l'apprenant dans l'enseignement supérieur ? », en s'appuyant sur l'approche pédagogique actuelle menée dans l'enseignement secondaire.

- Dans les nouveaux programmes de la filière scientifique du lycée, les notions usuelles de composition et de transformation de la matière, d'analyse et de synthèse s'enrichissent de l'apport de l'analyse spectrale par IR, UV, RMN, de la notion de chimie verte, de nanochimie et de nanomatériaux, sans omettre la mesure et les incertitudes. Aussi, trois ateliers et une démonstration ont abordé ces aspects. Ils ont permis d'appréhender de nombreux aspects en lien avec les nouveaux programmes de terminale et de partager des expériences d'enseignement du secondaire et du supérieur. Ces temps ont été des moments riches et privilégiés pour la communauté des chimistes ; ils ont en effet fait ressortir des questionnements en lien avec les nouveaux programmes, permettant d'apporter des éléments de réflexion, de dégager des propositions, etc. Ces derniers points impactent directement les enseignants, les élèves et les étudiants. À ce propos, Marie-Blanche Mauhourat – IGEN – et Bénédicte Garreau-de-Bonneval – UPS, Toulouse – ont animé un atelier autour de l'accueil des nouveaux profils d'étudiants à la rentrée 2013.

- Jean-Pierre Rabine et Michel Rouillard – Université Nice Sophia-Antipolis – ont montré l'ensemble de ressources pédagogiques sur les spectroscopies IR, RMN ^1H , RMN ^{13}C qui sont en libre accès sur le site <http://spectro.unice.fr>.

- Véronique Gilard – UPS, Toulouse – et André Gilles – Union des professeurs de physique et de chimie (UdPPC) – ont présenté les principales notions à transmettre aux élèves pour enseigner la RMN du proton dans le cadre des nouveaux programmes de terminale.

- Françoise Milon – UPS, Toulouse –, Martine Urrutigoity – INP-ENSIACET, Toulouse – et Julien Calafell – Classes préparatoires aux grandes écoles filière physique-chimie sciences de l'ingénieur (CPGE PCSI), lycée Bellevue, Toulouse – ont abordé les nouvelles notions de chimie organique du programme de terminale S.

- Christine Ducamp – École Nationale de Formation Agromotrice (ENFA), Toulouse – et Frédéric Marchal – UPS, Toulouse – ont présenté quelques notions de métrologie dans le cadre des nouveaux programmes de terminale S, mais aussi des premières années de l'enseignement supérieur. Une part importante des nouveaux programmes de terminale S est dévolue aux mesures et aux incertitudes, avec une volonté forte de montrer l'intérêt de valider les résultats obtenus.

Par ailleurs, les participants ont bénéficié d'une approche un peu atypique pour se familiariser avec quelques propriétés physico-chimiques de l'eau. Gérard Garrigues, chef étoilé Toulousain du Moaï, et Philippe Behra – INP-ENSIACET, Toulouse – ont montré l'influence de la dureté de l'eau sur la texture et sur la saveur de pommes cuites, ainsi que sur la modification des propriétés organoleptiques des thés verts ou noirs.



Les participants se familiarisent avec quelques propriétés physico-chimiques de l'eau grâce au chef étoilé Gérard Garrigues. Photo : André Gilles, DR.

Ces journées ont également été l'occasion de partager un retour d'expérience sur les XXVIII^e Olympiades nationales de la chimie présenté par Marie-Élisabeth Borredon – déléguée régionale du concours des Olympiades pour la région Midi-Pyrénées, INP-ENSIACET, Toulouse – et par un des lauréats régionaux, Théo Menville.



Remise du prix de la DEF-SCF 2012 à Jean-Louis Vignes (à droite) par Jean-Charles Mougengel (à gauche), président de la DEF, en présence de Françoise Rouquérol et Patrick Chaquin, les précédents présidents.

Photo : André Gilles, DR.

Prix de la DEF-SCF

Comme cela est de tradition, ces journées se sont achevées par la remise du **prix de la division Enseignement et Formation de la Société Chimique de France** (SCF).

En 2012, ce prix a été décerné à **Jean-Louis Vignes**, professeur émérite au Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux de Paris Nord 13, pour son implication dans l'enseignement des matériaux. Il a enseigné à l'ENS Cachan et à l'IUFM de Créteil. Dans ce cadre, il a mis en place de nombreux stages destinés à la formation continue des enseignants. Il a participé aux réflexions sur les programmes tant de classes préparatoires que des classes de terminale ou de troisième, notamment pour l'introduction des nouveaux cours sur les matériaux. Fondateur du Centre de ressources pédagogiques en chimie, il assure depuis 1986 la présidence de cette association dont le but est la diffusion dans le système éducatif des outils sur les aspects économiques et industriels de la chimie. Il a ainsi écrit de très nombreux articles dans le *Bulletin de l'Union des Physiciens (Le Bup)* et un ouvrage volumineux, *Données industrielles, économiques, géographiques sur les principaux produits chimiques, métaux et matériaux*, dont la 8^e édition est accessible librement sur le site de la SCF [6].

Les journées se sont clôturées par le passage de témoin symbolisé par la maquette du « phare du bout du monde », emblème des JIREC, à Marie Guitou, organisatrice des



Passage de l'emblème des JIREC à Marie Guitou.

Photo : André Gilles, DR.

JIREC 2013 à Marne-la-Vallée (21-24 mai) sur le thème « Enseigner une chimie créatrice et économe » [7].

Remerciements

Cette manifestation a bénéficié de l'appui de la division Enseignement et Formation de la Société Chimique de France et du soutien de l'Union des Professeurs de Physique et Chimie, de la Ligue de l'Enseignement 31 et du relais du Rectorat de l'Académie de Toulouse.

Des soutiens financiers, fort appréciés, de la SCF, du CNRS, de la région Midi-Pyrénées, de l'Union des Industries Chimiques régionale et nationale, de l'Université Paul Sabatier, du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, du Laboratoire de Chimie de Coordination, de l'EC2E2N et d'une dizaine d'entreprises (BASF, les Ciments Lafarge, Agronutrition, Bruker, Chromacim) ont permis de maintenir des frais d'inscription et d'hébergement raisonnables eu égard à la qualité des prestations. Les organisateurs ont également apprécié que les éditeurs Dunod, De Boeck, les sociétés Metrohm, Origalys, Heito, Sigma-Aldrich, MICS et aussi la Casden soient venues animer un stand.

La soirée de gala n'aurait pas pu avoir cette atmosphère colorée et chaleureuse sans le spectacle organisé par les Chemins Buissonniers, Club « Sciences et Citoyens » du CNRS et Club UNESCO.

Nous n'oublions pas les conférenciers et les intervenants pour leurs apports constructifs à ces journées, les animateurs des différents ateliers et démonstrations, ainsi que le comité scientifique garant de la qualité et de la richesse de nos travaux. Nous adressons nos remerciements au comité d'organisation local, ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué à l'excellent déroulement de ces journées.

Enfin, les auteurs remercient particulièrement tous les réferés pour leurs commentaires et leurs suggestions.

Références

- [1] Actes « XI^e JIREC », SFC UPS, René Meyer, Toulouse, 1994.
- [2] www.lcc-toulouse.fr/jirec2012/#
- [3] www.lcc-toulouse.fr/jirec2012/spip.php?article31
- [4] www.lcc-toulouse.fr/jirec2012/spip.php?article32
- [5] Chaquin P., Fuster F., Enseigner la chimie organique avec les orbitales : présentation d'une base de données d'orbitales moléculaires, *L'Act. Chim.*, 2012, 369, p. 37.
- [6] www.societechimiquedefrance.fr/extras/donnees/acc.htm
- [7] www.jirec.fr



B. Garreau-de Bonneval



K. Fajerweg



I. Hallery



F. Milon

Bénédicte Garreau-de Bonneval et Katia Fajerweg (auteur correspondant) sont maîtres de conférences à l'Université Toulouse 3 – Paul Sabatier (UPS)*. Elles ont organisé les JIREC 2012.



N. Vujkovic

Katia Fajerweg 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 ».

Isabelle Hallery et Françoise Milon sont professeurs agrégés (UPS) au LCC*.

Nadia Vujkovic est chargée de communication scientifique**. Elles ont participé à l'organisation des JIREC 2012.

* Laboratoire de Chimie de Coordination (LCC), UPS, 205 route de Narbonne, F-31077 Toulouse Cedex 04.

Courriels : katia.fajerweg@lcc-toulouse.fr

** Courriel : nadia.vujkovic@gmail.com

Quelques exemples d'illustration de concepts de base de la chimie à l'aide de matériaux du quotidien

Jean-Louis Vignes

Résumé	Le zinc, l'aluminium et le ciment sont pris comme exemples de matériaux pour illustrer expérimentalement quelques concepts de chimie enseignés dans le secondaire et les premiers cycles universitaires tels que les notions d'acido-basicité, d'oxydoréduction, d'hydratation/déshydratation et d'électrolyse.
Mots-clés	Enseignement de la chimie, matériaux, zinc, aluminium, ciment, acido-basicité, oxydoréduction, JIREC 2012.
Abstract	Some illustrations of chemical basic concepts by means of everyday life materials In high school and during the first years of university, zinc, aluminum and cement are used as examples of materials to experimentally illustrate several chemistry concepts, such as the notions of acido-basicity, oxidoreduction, electrolysis or hydration/dehydration.
Keywords	Chemistry teaching, materials, zinc, aluminum, cement, acido-basicity, oxidoreduction.



Zinc, aluminium et béton : trois matériaux pour illustrer expérimentalement quelques concepts de chimie.

Photos zinc et aluminium : © Wilco Oelen/Wikimedia-CC-BY-SA-3.0 ; béton : © wolpeper.com.

Les matériaux présentent l'avantage, pour nombre d'entre eux, d'être courants dans notre environnement, peu onéreux, et surtout de faire appel à la chimie pour leur élaboration et la compréhension de certaines de leurs propriétés. Dans cet article, à l'aide de quelques exemples choisis parmi les matériaux métalliques ou minéraux, nous montrerons que l'illustration de nombreux concepts de chimie peut ainsi être réalisée expérimentalement. Les concepts illustrés et le matériel expérimental font appel à la chimie enseignée dans le secondaire, le premier cycle universitaire, les classes préparatoires aux grandes écoles ou les classes de BTS et d'IUT.

La première illustration décrite, au laboratoire, concerne le zinc, matériau qui présente la particularité d'être principalement élaboré par voie hydrométallurgique, contrairement à la plupart des autres métaux qui font plutôt appel à la pyrométallurgie, technique difficile à mettre en œuvre expérimentalement dans les établissements d'enseignement non spécialisés [1]. Par contre, l'hydrométallurgie utilise généralement des réactions en

solution aqueuse, donc réalisées à une température proche de l'ambiante et faisant appel à de nombreux concepts enseignés dans le secondaire et le premier cycle universitaire. Sont ensuite abordées l'étude expérimentale de quelques propriétés de l'aluminium et enfin de celles d'un matériau souvent négligé dans nos enseignements, le ciment.

L'hydrométallurgie du zinc [2-4]

Il est possible de conduire expérimentalement, pendant une durée raisonnable de quelques heures, l'élaboration complète du métal puis d'un acier zingué à partir d'un mélange d'oxydes ou de sels simulant un minerai [4-6]. De plus, le zinc obtenu se présente sous forme massive – contrairement aux autres métaux qui sont obtenus habituellement par voie chimique sous forme de poudre – et la qualité de l'acier zingué élaboré est satisfaisante.

Choix du « minerai » de départ

On utilise rarement un minerai réel, d'abord pour des raisons de disponibilité, mais aussi du fait que pour faciliter les opérations ultérieures, il est préférable d'utiliser des composés facilement solubles, ce qui n'est pas toujours le cas des minerais. Par ailleurs, des éléments toxiques, tels que l'arsenic, le cadmium et le mercure, peuvent être présents dans les minerais de zinc. La composition du « minerai » de départ, en % massique, est choisie proche de celle d'un minerai réel (Zn : 46 %, S : 30 %, Fe : 10 %, Pb : 5 %, Cu : 5 %), les éléments introduits à côté du zinc étant représentatifs des principales impuretés rencontrées nécessitant les différentes étapes du procédé de purification. Le minerai de départ peut représenter un minerai sulfuré ou la calcine (mélange d'oxydes) obtenue après grillage (voir *tableau 1*). Nous ne traiterons ici que de l'élaboration du zinc à partir de la calcine, les détails

Tableau I - Composition (a) du « minerai » sulfuré de départ (pour 100 g) et (b) de la calcine (minerai grillé) (pour 107,8 g).

a, « minerai » sulfuré	ZnS : 70,2 g	FeS : 15,7 g	SiO ₂ : 2,0 g	PbS : 5,8 g	CuO : 6,3 g
b, calcine	ZnO : 48,7 g	Fe ₂ (SO ₄) ₃ .6H ₂ O : 45,4 g	SiO ₂ : 2,0 g	PbO : 5,4 g	CuO : 6,3 g

expérimentaux du grillage et en particulier les critères du choix des composés de départ utilisés étant précisés dans les références [4] et [5]. Les masses mises en œuvre expérimentalement sont données pour le traitement de 13 g de calcine.

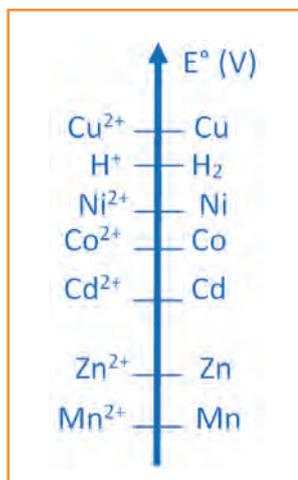


Figure 1 - Positions respectives des principaux couples redox rencontrés dans l'hydrométallurgie du zinc.

L'hydrométallurgie du zinc met en œuvre une suite d'étapes consistant tout d'abord à dissoudre en partie le minerai, puis à éliminer les différentes impuretés présentes, et enfin à terminer par une électrolyse de la solution aqueuse purifiée [7-9]. La difficulté chimique de cette électrolyse réside dans le fait que le zinc est très réducteur ($E^{\circ}_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}} = -0,76 \text{ V}$) par rapport à la plupart des impuretés présentes dans le minerai (figure 1) et que, en conséquence, celles-ci doivent être à des concentrations très faibles afin d'éviter qu'elles ne se déposent préférentiellement au zinc lors de l'électrolyse et empêchent d'obtenir la pureté visée industriellement de 99,995 % massique (tableau II) [10-11].

Tableau II - Teneurs maximales admissibles, industriellement, de diverses impuretés dans la solution de zinc avant électrolyse [7].

Impuretés	Teneurs maximales (en mg.L ⁻¹)
Ge	0,001
Sb	0,1
Ni	0,2
Co	0,2
Cd	2
Fe	5 à 10
F ⁻	30
Cl ⁻	500

La lixiviation

La première étape consiste en la mise en solution de l'oxyde de zinc. Pour dissoudre cet oxyde basique, on utilise de l'acide sulfurique à 2 mol.L⁻¹ (40 mL). Industriellement, l'acide est recyclé après qu'il ait été régénéré par l'électrolyse finale (figure 2). Lors de cette dissolution, appelée lixiviation, qui doit être la plus sélective possible tout en dissolvant le plus possible d'oxyde de zinc, tous les composés non solubles (silice, sulfate de plomb dans le cas de cette manipulation) seront éliminés par filtration et ainsi une première purification est réalisée. Les ions fer(III) et cuivre(II) passent également en solution qui a la couleur bleue due à ce dernier.

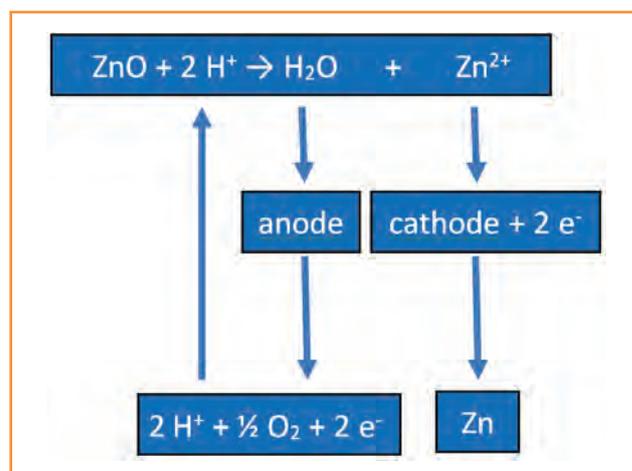


Figure 2 - Schéma illustrant la lixiviation et le recyclage de la solution acide après électrolyse.

L'élimination du fer(III)

Cette élimination est réalisée en augmentant le pH de la solution afin de précipiter le fer sous forme d'un oxyhydroxyde de fer(III) : l'augmentation de pH, jusqu'à 4,5 à 5, doit éviter la précipitation du zinc qui doit rester en solution pour l'électrolyse finale (tableau III). Industriellement, cette augmentation de pH est réalisée par ajout de calcine (formée d'oxydes basiques) selon la réaction de la figure 2. Au laboratoire, le pH est augmenté par ajout d'oxyde de zinc pur (3 g), ce qui évite d'apporter de nouvelles impuretés qu'il faudrait éventuellement éliminer. La solution prend une couleur rouille de plus en plus prononcée et un précipité apparaît. Le problème rencontré industriellement et observable au laboratoire est que l'oxyhydroxyde de fer(III) formé est difficilement filtrable. Par exemple, au laboratoire, le filtrat obtenu est de couleur verte (mélange de bleu lié à Cu²⁺ et de rouille lié au fer(III)) au lieu de bleue (indice de l'élimination du fer(III)). Pour résoudre ce problème, préalablement à l'ajout de ZnO, on ajoute du sulfate d'ammonium (3,5 g) qui, en changeant la nature du précipité* formé, permet une filtration efficace et l'élimination du fer [10-11].

Tableau III - pH de début de précipitation de divers hydroxydes avec une concentration du cation métallique de 1 mol.L⁻¹ [12].

Hydroxydes	pH	Hydroxydes	pH	Hydroxydes	pH
Sb(III)	< 0	Al(III)	4,0	Ni(II)	7
Sn(II)	2	Cu(II)	5,2	Co(II)	7,5
Fe(III)	2	Zn(II)	6,5	Cd(II)	8
In(III)	3,6	Fe(II)	7,0	Mn(II)	8,6

La cémentation

L'augmentation du pH a permis une deuxième purification, mais des éléments tels que le cuivre, le cobalt et le nickel n'ont pas été éliminés. Après avoir réalisé des

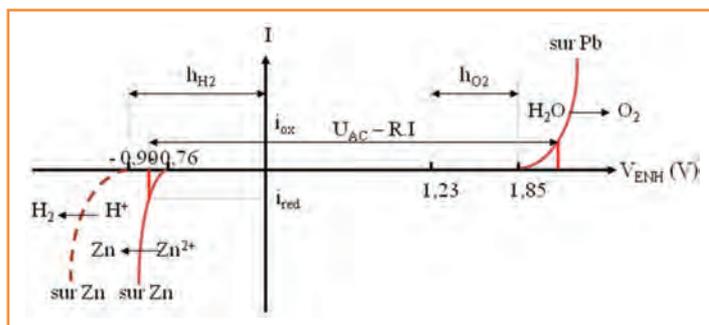


Figure 3 - Courbe Intensité-potential, à pH = 0, lors de l'électrolyse d'une solution de Zn^{2+} . h_{H_2} et h_{O_2} représentent les surtensions respectivement de H_2 et O_2 [3].

réactions acido-basiques, on met en jeu des réactions redox en ajoutant de la poudre fine de zinc (0,3 g), qui permet de réduire tous les ions situés au-dessus du couple Zn^{2+}/Zn sur l'échelle des potentiels de la figure 1. Cet ajout n'introduit pas de nouvelles impuretés et les ions Zn^{2+} formés seront récupérés lors de l'opération finale d'électrolyse. Les métaux formés (le cuivre dans cette expérience) se déposent sur la poudre de zinc en excès et sont ainsi éliminés par filtration. Industriellement, le ciment formé est traité par ailleurs pour récupérer les métaux contenus [10-11].

L'électrolyse

La solution, purifiée, peut être électrolysée. À la cathode, la réduction des ions Zn^{2+} est possible car la surtension du dihydrogène sur Al ou Zn est importante (figure 3). La prise en compte des potentiels redox des couples Zn^{2+}/Zn et O_2/H_2O , des surtensions et de la résistance interne de l'électrolyseur, amène à appliquer une tension de 3,2 à 3,7 V (figure 3). L'anode est en plomb, insoluble en milieu acide sulfurique, et la cathode est en aluminium car celui-ci présente l'avantage, au pH initial d'environ 5, d'être recouvert par sa couche naturelle d'alumine qui empêche la formation d'un alliage Zn-Al à l'interface des deux métaux lors du dépôt du zinc et qui permet ainsi à celui-ci d'être détaché facilement en insérant une lame fine à l'interface [10-11]. Dans les conditions du laboratoire, sous une intensité de 300 mA, le dépôt obtenu après une heure d'électrolyse est suffisamment épais pour être récupéré proprement. Industriellement, lorsque la concentration en zinc de la solution atteint de 40 à 60 g/L (avant électrolyse, elle était de 125 à 170 g/L), elle est recyclée en lixiviation car sa conductivité devient trop faible pour l'électrolyse (figure 2).

L'aluminium [2]

Cet élément métallique permet d'illustrer expérimentalement d'une part une étape d'élaboration mettant en jeu des propriétés acido-basiques, et d'autre part, un caractère réducteur se traduisant par la présence d'une couche d'oxyde à la surface du métal – cette présence a été mise à profit lors de l'expérience précédente.

Illustration de propriétés acido-basiques

L'élaboration de l'aluminium à partir de la bauxite permet d'illustrer expérimentalement la dissolution sélective des oxy-hydroxydes et le caractère amphotère de l'hydroxyde

d'aluminium [13]. La bauxite naturelle étant difficile à dissoudre et à se procurer, nous proposons de préparer un minéral synthétique selon le protocole expérimental décrit dans l'encadré 1.

Encadré 1

Préparation du minéral synthétique

Dissoudre 5 g de sulfate d'aluminium hexadécahydraté et 0,5 g de sulfate ferrique hydraté dans 25 mL d'eau distillée. Ajouter 15 mL de solution de soude $2,5 \text{ mol.L}^{-1}$: un précipité rouge brique apparaît, composé d'oxy-hydroxyde de fer(III) et d'hydroxyde d'aluminium. Vérifier que le pH reste compris entre 4 et 9 afin d'éviter la dissolution de l'hydroxyde d'aluminium. Récupérer ce précipité sur Büchner, le laver plusieurs fois à l'eau distillée, puis le placer à l'étuve ($80 \text{ }^\circ\text{C}$) : on obtient alors un solide d'une composition proche de celle d'une bauxite soit, exprimée en % massique d'oxyde, 75 % de Al_2O_3 et 25 % de Fe_2O_3 .

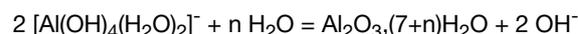
Le traitement de la bauxite consiste principalement à séparer les éléments fer et aluminium en utilisant le caractère amphotère de l'hydroxyde d'aluminium qui est soluble en milieu acide et en milieu basique, son domaine de stabilité étant compris entre environ pH = 4 et pH = 9, l'hydroxyde de fer étant seulement soluble en milieu acide (voir encadré 2).

Encadré 2

Séparation du fer et de l'aluminium

Après broyage, dissoudre le minéral préalablement préparé dans 15 mL de solution de soude $2,5 \text{ mol.L}^{-1}$. L'hydroxyde d'aluminium se dissout et forme des ions aluminates $[Al(OH)_4(H_2O)_2]^-$, tandis que l'hydroxyde ferrique demeure insoluble. Filtrer sur papier filtre, ajouter enfin au filtrat quelques gouttes d'acide chlorhydrique 3 mol.L^{-1} : il se forme un précipité blanc d'hydroxyde d'aluminium, sans coloration due à la présence d'oxyhydroxyde de fer(III).

Industriellement, il est nécessaire d'opérer sous pression pour dissoudre la bauxite et après élimination du fer, la précipitation de l'hydroxyde d'aluminium est réalisée par dilution de la solution, ce qui revient à déplacer vers la droite l'équilibre suivant dans lequel l'hydroxyde d'aluminium est écrit sous forme d'oxyde hydraté $Al_2O_3 \cdot xH_2O$:



L'ajout de germes d'hydroxyde d'aluminium provenant d'une production antérieure facilite la précipitation.

Illustration de la présence d'un oxyde à la surface des métaux

Les expériences de chimie réalisées avec les métaux font souvent abstraction du fait qu'il s'agit de matériaux qui ont pu réagir avec leur environnement suite à leur élaboration : c'est le cas de la plupart des métaux avec formation d'oxyde à la surface du matériau. Dans le cas de l'aluminium, des observations simples permettent de mettre en évidence indirectement la présence de cette couche d'oxyde, d'épaisseur extrêmement réduite (quelques nanomètres). Lors d'une attaque acide de l'aluminium, on constate un temps d'« incubation » de quelques minutes avant que la réaction, parfois vive, se produise. L'« incubation » correspond à la dissolution, lente, de l'alumine [13].

De même, lors du chauffage d'un fil d'aluminium à une température supérieure à la température de fusion de

l'aluminium (660 °C), on constate qu'à la surface du fil, l'alumine – dont la température de fusion est de 2 040 °C – forme une gaine réfractaire qui contient l'aluminium fondu [14].

À la fin des années 1990, nous avons constaté que la poudre d'aluminium livrée par les fournisseurs habituels des établissements d'enseignement secondaire et des préparations à l'agrégation ne permettait plus de réaliser de nombreuses expériences par voie sèche [15]. Cela était particulièrement dommageable pour l'enseignement de la chimie car les étudiants étaient découragés par les aléas des expériences de chimie. La mise en œuvre de diverses méthodes d'analyse (analyse chimique par spectroscopie d'émissions ICP-AES, diffraction des rayons X, microscopie électronique à balayage, spectroscopie d'électrons Auger, spectroscopie de photoélectrons X) nous a permis de montrer que le mode d'élaboration de la poudre livrée avait été modifié et qu'il en était résulté une augmentation d'environ 50 % de l'épaisseur de la couche d'alumine recouvrant la surface de l'aluminium, rendant ainsi le métal nettement moins réactif [16-17].

Le ciment [2]

Le ciment Portland utilisé en construction est un matériau de grande consommation obtenu en faisant réagir, à haute température, du calcaire et de l'argile (constituée principalement d'aluminosilicates). Le produit obtenu, le « clinker », est un mélange de silicates di- et tricalciques avec, en quantité moindre, de l'aluminate tricalcique et du ferroaluminate calcique. Après broyage et ajout de gypse, le ciment obtenu a la propriété, en présence d'eau, de faire prise.

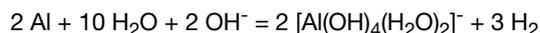
Illustration de son caractère basique [18]

Le ciment possède une propriété chimique particulière : son pH très élevé d'environ 13, lié à la libération lors de sa prise d'hydroxyde de calcium, appelé portlandite par les professionnels [19]. Cette forte basicité se traduit par la nécessité de se protéger la peau lors de la mise en œuvre du ciment afin d'éviter ce qui était appelé autrefois la « gale du ciment ». Elle présente par contre l'avantage de passiver l'acier utilisé dans le béton armé et donc de le protéger de la corrosion. Le pH élevé du ciment le rend par ailleurs sensible aux attaques acides : l'hydroxyde de calcium mais aussi le silicate de calcium hydraté se dissolvent. Cette solubilité en milieu acide peut être utilisée avec profit, par exemple, pour éliminer les traces de ciment après la réalisation d'un carrelage.

Lorsque le ciment est en contact régulier avec l'eau de pluie, l'hydroxyde de calcium, légèrement soluble dans l'eau (1,3 g/L à 20 °C), sera entraîné au cours du temps, ce qui augmentera la porosité du ciment. Par ailleurs, également au cours du temps, l'hydroxyde de calcium se carbonate au contact de l'atmosphère. Tous ces phénomènes de vieillissement se traduisent par une diminution du pH et si celui-ci devient inférieur à 9, les armatures d'acier ne sont plus passivées. Le fer s'oxyde alors en donnant des produits plus volumineux que le fer de départ, ce qui se traduit par l'éclatement du ciment et une corrosion accélérée du fer.

Ce caractère basique du ciment peut être mis à profit pour élaborer un matériau : le béton cellulaire [20]. Ce béton est un bon isolant thermique grâce à la présence de pores

formés par la libération de dihydrogène lors de l'oxydation de poudre d'aluminium dispersée au sein du ciment. En milieu basique, la réaction suivante avec formation d'ion aluminate AlO_2^- hydraté a lieu :



Le dihydrogène qui se dégage se rassemble en bulles qui éclatent à la surface du ciment pâteux et forment des pores au sein de la masse du ciment. Le ciment obtenu a une masse volumique apparente de 0,4 à 0,8 g.cm⁻³ (celle d'un ciment classique est d'environ 1,5 g.cm⁻³) (voir encadré 3).

Encadré 3

Préparation de béton cellulaire

Prendre 100 g de ciment et y ajouter 0,25 g de poudre d'aluminium. Mélanger puis introduire 50 g d'eau. Après obtention d'une pâte homogène, transvaser dans un gobelet en plastique. L'expansion est rapide et l'échauffement important. La prise a lieu en quelques heures. La masse volumique apparente mesurée est de 0,76 g.cm⁻³. Après avoir enrobé le ciment dans un film plastique étanche à l'eau, on constate que le ciment flotte sur l'eau.

Comportement après un incendie [18]

L'hydroxyde de calcium et les silicates de calcium hydratés portés à une température élevée (> 400 °C) – température qui peut être atteinte lors d'un incendie – se déshydratent ou se décomposent en donnant de l'oxyde de calcium CaO. Après refroidissement, en présence de l'humidité atmosphérique, l'oxyde de calcium se réhydrate lentement avec une augmentation considérable de volume, ce qui entraîne l'éclatement du matériau ($\rho_{\text{CaO}} = 3,25 \text{ g.cm}^{-3}$, $\rho_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = 2,24 \text{ g.cm}^{-3}$). En conséquence, l'analyse et la surveillance des bâtiments ayant subi un incendie sont impératives. Afin d'éviter que le bâtiment incendié ne s'écroule de lui-même quelques jours ou mois plus tard, il est généralement rapidement rasé. L'encadré 4 propose une expérience montrant ce comportement après incendie.

Encadré 4

Comportement après incendie

Préparer une éprouvette de ciment, la chauffer environ 1 heure à une température supérieure à 500 °C puis la laisser au contact de l'air atmosphérique. En quelques semaines, l'éprouvette a perdu toute cohésion et tombe en poussière.

Conclusion

De nombreux autres matériaux peuvent illustrer des concepts de chimie. Nous avons par exemple travaillé sur le cuivre [21], le fer blanc [22] et le plâtre [23]. Les principales difficultés résident dans l'adaptation des expériences au matériel disponible dans les établissements d'enseignement, mais également dans l'évolution des matériaux. En effet, ceux-ci peuvent voir certaines de leurs propriétés s'adapter à de nouveaux besoins ou être modifiées afin, par exemple, de diminuer les coûts de fabrication. En conséquence, il est nécessaire d'être vigilant et de tester régulièrement les expériences proposées aux étudiants.

Note et références

- * L'observation sur Mars de la présence de ce précipité, la jarosite ($\text{Fe}_6(\text{OH})_{12}(\text{SO}_4)_4(\text{NH}_4)_2$), est la preuve que de l'eau a été présente sur cette planète.
- [1] Hopkins D.-W., *Aspects physico-chimiques de l'élaboration des métaux*, Dunod, **1958**.
 - [2] Vignes J.-L., André G., Kapala F., *Données industrielles, économiques, géographiques sur les principaux produits chimiques, métaux et matériaux*, sur le site Internet de la Société Chimique de France (www.societechimiquedefrance.fr/extras/Donnees/acc.htm).
 - [3] Vignes J.-L., Jehanne Y., L'hydrométallurgie, *Le Bup*, **2003**, 97, p. 1281.
 - [4] Vignes J.-L., Abdrabah M., Baby J.-M., Une vie de zinc : les minerais de zinc et leur grillage, *Le Bup*, **1994**, 88, p. 1193.
 - [5] Vignes J.-L., Abdrabah M., Baby J.-M., Eusèbe C., Une vie de zinc : l'hydrométallurgie des minerais de zinc, *Le Bup*, **1995**, 89, p. 99.
 - [6] Vignes J.-L., Abdrabah M., Piessen P., Babbit M., Une vie d'acier zingué, *Le Bup*, **1997**, 91, p. 77.
 - [7] Dreulle N., Les bases théoriques de l'hydrométallurgie, *Revue de l'Industrie Minérale*, mai **1981**, p. 403.
 - [8] Dreulle N., L'hydrométallurgie, *Cahiers d'informations techniques de la Revue de Métallurgie*, août-septembre **1982**, p. 701.
 - [9] Rizet L., Charpentier P.-E., *Métallurgie extractive : hydrométallurgie*, Techniques de l'Ingénieur, **2000**.
 - [10] Hau J.-M., *Métallurgie du zinc*, Techniques de l'Ingénieur, **2010**.
 - [11] Van Ceulen A., Eusèbe C., Hydrométallurgie du zinc et du plomb, *Revue de Métallurgie*, juillet-août **1982**, p. 367.
 - [12] Chassaing E., Tohier J., Étude électrochimique et l'hydrométallurgie du zinc, *Le Bup*, **1996**, 90, p. 1673.
 - [13] Vignes J.-L., di Costanzo T., Bouquet S., Fertou D., Une vie d'aluminium, *Le Bup*, **1997**, 91, p. 35.
 - [14] Châtelet M., Guihaumé R., *Chimie expérimentale*, Armand Colin, **1972**.
 - [15] Vignes J.-L., di Costanzo T., Jalasja D., Frappart C., Lorang G., Mazerolles L., Pastol J.-L., Rouchaud J.-C., Bucourt F., La poudre d'aluminium et l'échec d'expériences classiques, *Le Bup*, **2001**, 95, p. 85.
 - [16] Olefjord I., Mathieu H.J., Marcus P., Intercomparison of surface analysis of thin aluminium oxide films, *Surface and Interface Analysis*, **1990**, 15, p. 681.
 - [17] Strohmeier B.R., An ESCA method for determining the oxide thickness on aluminium alloys, *Surface and Interface Analysis*, **1990**, 15, p. 51.

- [18] Vignes J.-L., Moranville M., Bournazel J.-P., Une vie de ciment, *Le Bup*, **1996**, 90, p. 57.
- [19] Regourd M., L'hydratation du ciment Portland, dans *Le béton hydraulique : connaissance et pratique*, Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, **1982**, p. 193.
- [20] Levy J.-P., *Les bétons légers*, Eyrolles, **1955**, p. 117.
- [21] Vignes J.-L., Khodan A., Ailloud P., Grass D., Une vie de cuivre, *Le Bup*, **1997**, 91, p. 9.
- [22] Vignes J.-L., André G., Fousse D., Une vie de fer-blanc, expériences sur l'élaboration, les propriétés et le recyclage d'un matériau, *Le Bup*, **1994**, 88, p. 627.
- [23] Vignes J.-L., Essaddam H., Daligand D., Une vie de plâtre, *Le Bup*, **1997**, 91, p. 145.



Jean-Louis Vigne*

est professeur émérite à l'Université Paris Est Créteil (UPEC) et chercheur au Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux (LSPM, CNRS UPR 3407) à Villetaneuse. Il a enseigné à l'ENS Cachan et à l'UFM de Créteil, et est l'auteur de l'ouvrage *Données industrielles, économiques, géographiques sur les principaux produits chimiques, métaux et matériaux*. La première édition de 1989 a été suivie de sept nouvelles éditions régulièrement mises à jour, et depuis 2005, ce travail considérable est accessible à tous sur le site de la SCF [2]. Chaque année, avec l'aide de stagiaires en Master de chimie à l'Université Pierre et Marie Curie (Paris), il réactualise ces données qui sont une source d'informations très importante pour les étudiants, les enseignants, les journalistes et les industriels.

Jean-Louis Vignes a reçu le **prix 2012 de la division Enseignement-Formation de la SCF**.

* Courriel : jean-louis.vignes@lspm.cnrs.fr

Programme

- Aspects fondamentaux de GCxGC
- Métabolisme
- Ingrédients & saveurs alimentaires
- Analyses environnementales et chimiques
- Arômes, parfums
- Développements et techniques avancées en GCxGC et GCxGC-MS

Pré-inscription obligatoire et ouverte jusqu'au 4 septembre 2013. Détails disponibles sur le site internet du symposium.

**Inscriptions en ligne :
www.events-GCxGC.eu**

3rd European GCxGC Symposium

17 et 18 septembre 2013
Parc Valrose, Nice, France

PCI Geofug[®], un nouveau produit à base de technologie géopolymère

Joachim Riedmiller, Michael McIlhatton et Siegfried Zuern

- Résumé** Jusqu'à présent, chaque joint de carrelage dans les sanitaires servait de limite entre des surfaces carrelées généralement propres et souvent brillantes. Or les joints à base de ciment – les plus fréquemment utilisés – sont détériorés par l'usage permanent de détergents ménagers acides, les rendant friables et sales. Les joints fabriqués à partir de géopolymères résistent par contre à ces détergents et peuvent être formulés de manière à les rendre superhydrophobes : sur leur surface, l'eau forme un film ininterrompu ; de l'eau en excès peut ainsi se glisser sous la saleté et l'entraîner. Si la saleté tente de pénétrer, elle est retenue par le film d'eau et le joint reste propre très longtemps. Sur les surfaces classiques, les résidus organiques peuvent adhérer et la croissance bactérienne s'en suivre. Un composé à effet photocatalytique introduit au PCI Geofug[®] permet la destruction des dépôts par la lumière UV, le joint restant alors propre et hygiénique.
- Mots-clés** **Géopolymère, joints de carrelage, photocatalyse, superhydrophilie, carrelage, JIREC 2012, enseignement.**
- Abstract** **PCI Geofug[®]: a new product based on geopolymer technology**
Until now, every sanitary joint was an interruption between the clear and often shiny tile surface. Cementitious joints – the most frequently used – are damaged by the permanent use of acid household detergents resulting in becoming crumble and dirty. Geopolymer joints, however, are very resistant to the mentioned detergents and could be formulated to be superhydrophilic: if water hits the surface, it forms an endless water film. Excess water can thus wash under the dirt and remove it easily. If dirt tries to penetrate, it is blocked by the water and the joint stays clean for a long time. On normal surfaces, residues of organic material can adhere to them followed by the growth of bacteria. Integrating a photocatalytic effect to PCI Geofug[®], these deposits are destroyed by ultraviolet light, keeping the joint surface clean and hygienic.
- Keywords** **Geopolymer, sanitary joints, photocatalytic effect, superhydrophilily, tiling, JIREC 2012, teaching.**

Le joint, un point sensible

Les carreaux en céramique sont souvent utilisés dans tous les lieux où l'hygiène est primordiale (habitations privées, établissements industriels ou espaces publics) car leur surface est facile à nettoyer et résiste aux produits acides.

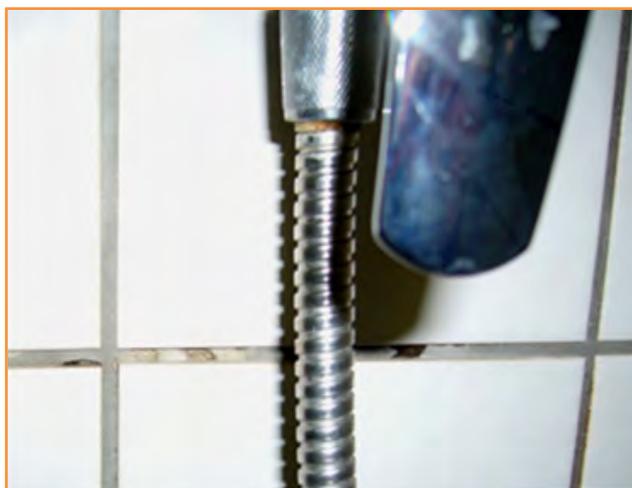


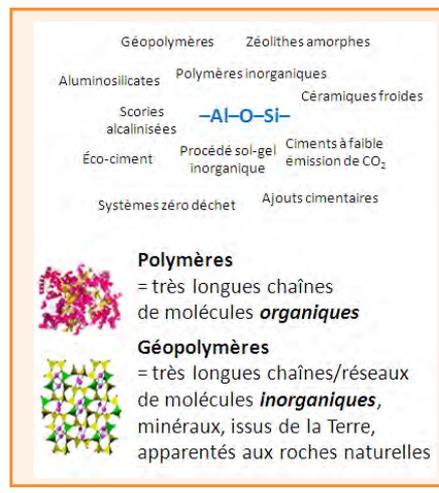
Figure 1 - Joints cimentaires de carrelage.

Cependant, dans la majorité des cas, les joints à base de ciment (*figure 1*) restent un point faible car souvent inesthétiques et conduisant à des frais de réhabilitation élevés. De nouveaux produits inorganiques à base de silicates d'aluminium, tels que ceux développés par BASF Construction Chemicals, permettent aujourd'hui de remédier à ces problèmes.

La technologie géopolymère

Ces nouveaux produits sont issus de la réaction entre des polyacides de silice et d'aluminium en milieu alcalin. Cette réaction s'apparente à la synthèse de polymères organiques, d'où l'appellation géopolymère donnée à ces produits (voir *encadré*). Dans ces enchaînements, chaque atome d'aluminium ou de silicium est entouré de quatre atomes d'oxygène (tétraèdres d' AlO_4 ou de SiO_4 , voir *figure 2*), d'où une étroite parenté avec la structure des roches naturelles [1].

Selon le rapport Si/Al, l'alcalinité et l'activation des matières premières, il est possible d'obtenir des structures tridimensionnelles qui conduisent à des matériaux d'excellente qualité. Duxson *et coll.* ont proposé un mécanisme général de la réaction en cinq étapes (*figure 3*) [2], mais le mécanisme précis de la synthèse géochimique conduisant à une structure macromoléculaire tridimensionnelle reste



Qu'est-ce qu'un géopolymère ?

Il y a beaucoup de mots pour caractériser les géopolymères selon les matières premières utilisées (« alkali activated slags »), les similarités (« cold ceramics ») ou les propriétés propagées (« low CO₂ cements »). Le nom *géopolymère* a été créé par le chimiste français Joseph Davidovits dans les années 1970 pour montrer les deux aspects : un matériau *inorganique* similaire aux minéraux dans les roches, et pouvant être caractérisé chimiquement comme un *polymère* – des chaînes ou des réseaux de molécules minérales sont liés par des liaisons covalentes. Les géopolymères, selon Davidovits, ont été développés dans la recherche de polymères inorganiques résistant à la chaleur et non combustibles, après de nombreux incendies favorisés par l'inflammabilité des matériaux plastiques en France entre 1970 et 1973.

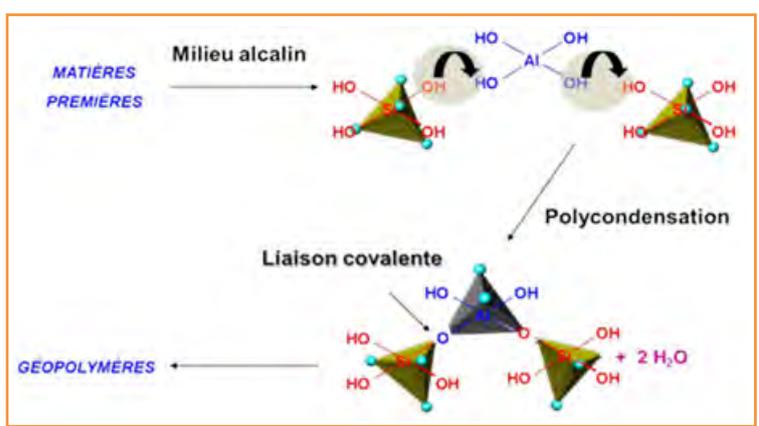


Figure 2 - Assemblage inorganique dans les géopolymères.

dépendant des matières premières utilisées et n'est pas encore totalement élucidé [3]. Le plus souvent, on caractérise le constituant principal, à savoir le silicate alcalin, par son rapport SiO₂/Na₂O qui va déterminer le degré d'interconnexion et la vitesse de réaction.

Pourquoi un géopolymère pour un joint de carrelage ?

Comparativement aux joints cimentaires à base de silicates de calcium hydratés et d'hydrates de calcium qui présentent une surface rugueuse, sensible à l'encrassement et peu résistante aux acides, le joint quasi-céramique PCI Geofug® permet d'améliorer les propriétés globales en formant avec les carreaux de céramique une surface homogène et extrêmement résistante. En particulier, les structures amorphes des silicates d'aluminium, beaucoup plus résistantes à pH acide, apportent à ces joints une résistance marquée aux nettoyants ménagers.

Les propriétés du PCI Geofug®

Les propriétés antisalissures

Comme on peut le constater sur la *figure 4*, la nature cristalline des phases cimentaires conduit à la formation de surfaces poreuses propices à l'encrassement et au développement de micro-organismes comme les champignons, germes, moisissures qui peuvent alors s'y accrocher. De par

sa nature chimique, le géopolymère PCI Geofug® possède une morphologie amorphe qui permet la formation de surfaces plus homogènes que les joints à base de ciment et donc moins sensibles à l'encrassement.

La superhydrophilie : l'effet peciclean®

Contrairement à de nombreux matériaux étanches qui sont intrinsèquement hydrophobes, la surface des joints PCI Geofug® est superhydrophile en raison de la présence des fonctions OH à la surface. Ces fonctions permettent l'adsorption de nombreuses molécules d'eau qui s'opposent

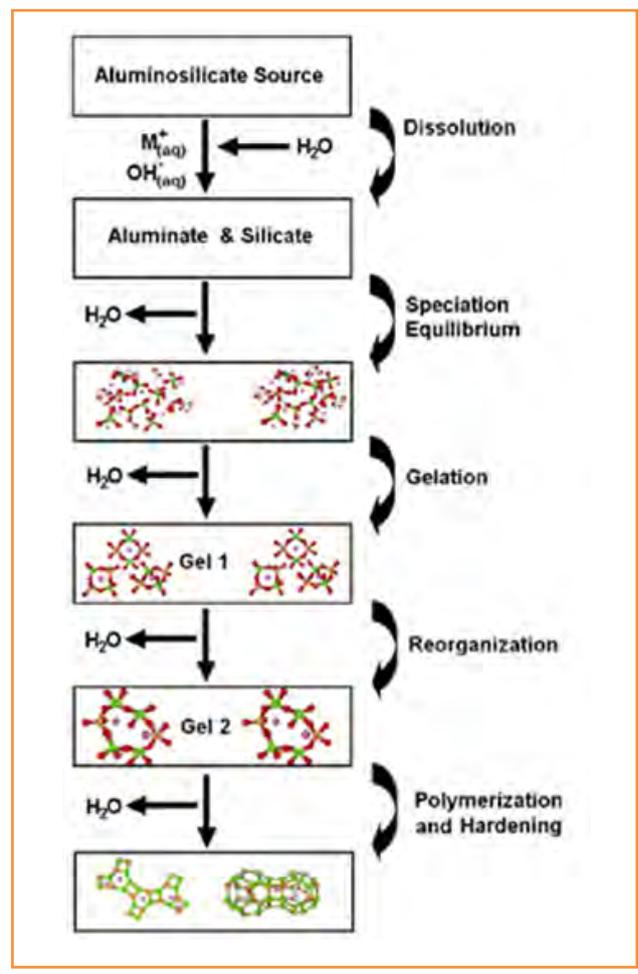


Figure 3 - Mécanisme de géopolymérisation selon Duxson et coll. [2].

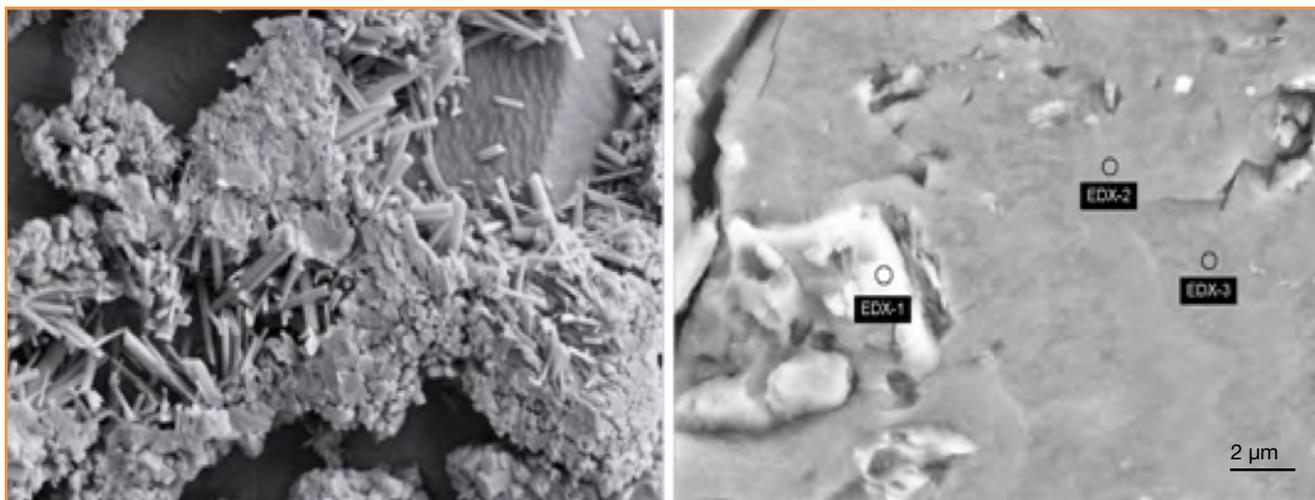


Figure 4 - Photographies prises au microscope électronique à balayage d'une matrice cimentaire (à gauche), faisant apparaître une structure cristalline en épingles, et d'une matrice géopolymère (à droite) avec une structure amorphe, vitreuse.



Figure 5 - Expérience de mouillage de surfaces hydrophobe et hydrophile par une goutte d'eau.

La photocatalyse

Parallèlement à cet effet *peciclean*[®], les joints de géopolymère présentent un avantage supplémentaire dans le domaine de la photocatalyse. En effet, les micro-résidus qui ne sont pas éliminés lors du nettoyage peuvent être détruits par l'effet photocatalytique apporté par le TiO₂ qui est intégré dans la formulation du géopolymère. Le dioxyde de titane est en effet un semi-conducteur qui peut être activé par les rayons ultraviolets. Dans ce cas,

l'adsorption d'un photon va provoquer l'émission d'un électron au niveau de la bande de conduction et la formation d'un trou sur la bande de valence. Cette paire électron-trou va permettre la formation de radicaux libres qui peuvent alors dégrader les résidus organiques, les bactéries et certains types

au dépôt de substances hydrophobes. L'angle de contact avec l'eau étant pratiquement nul avec la surface du joint PCI Geofug[®] (voir *figure 5*), l'eau va mouiller complètement la surface superhydrophile du joint, passer littéralement sous les salissures et les balayer instantanément (*figure 6*).

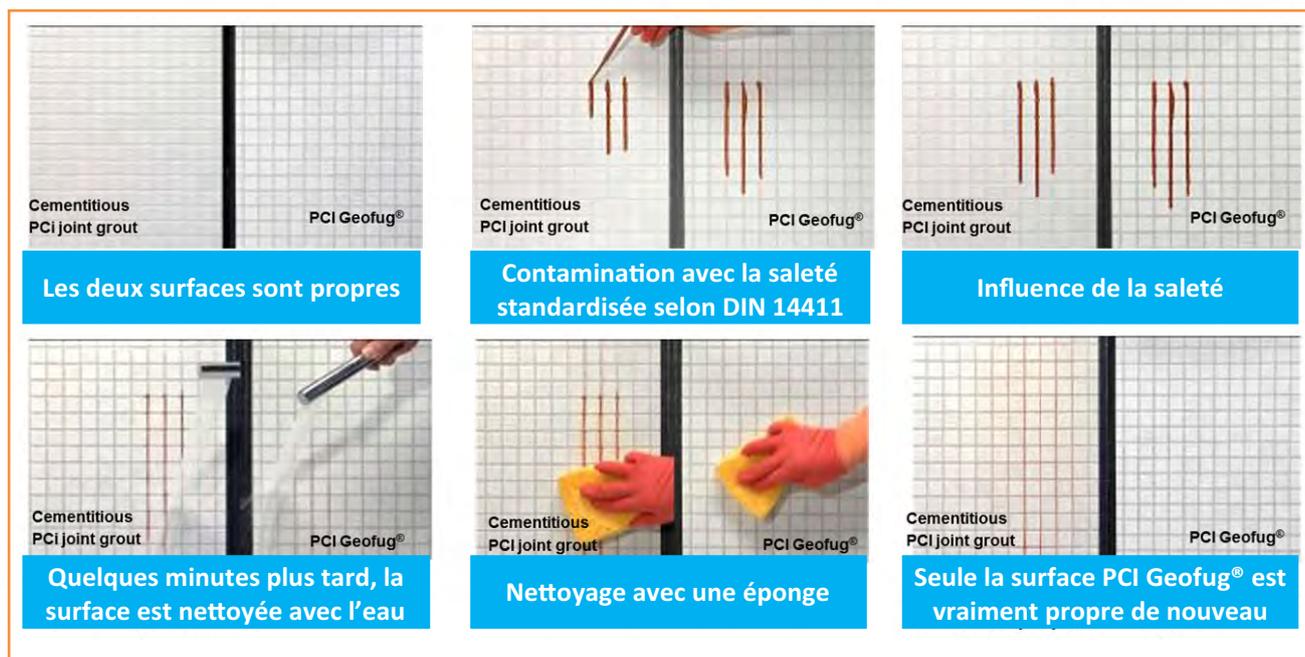


Figure 6 - Comparaison du nettoyage de surfaces carrelées possédant des joints à base de ciment ou de géopolymère PCI Geofug[®].

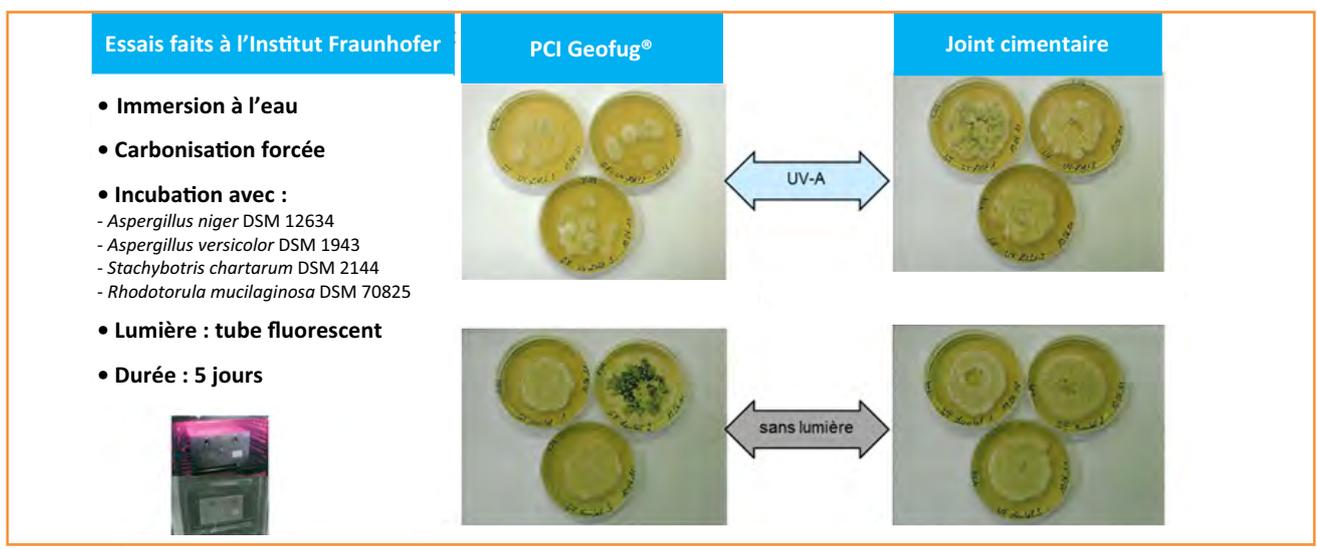


Figure 7 - Tests comparatifs de photocatalyse réalisés à l'Institut Fraunhofer.

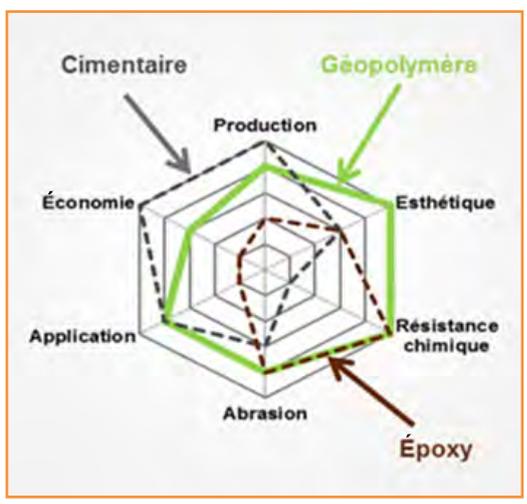


Figure 8 - Propriétés spécifiques des joints issus de différentes technologies.

de moisissure, conduisant ainsi à des surfaces hygiéniques. Comme la plupart des sources de rayonnement visibles possèdent une partie de rayons ultraviolets, cet effet fonctionne sous lumière naturelle ainsi que sous certaines sources de lumière artificielle.

Pour démontrer l'activité photocatalytique, des tests comparatifs ont été réalisés sur des joints cimentaires et des joints Geofug® en absence et en présence de lumière (figure 7). Les échantillons sont tout d'abord immergés dans l'eau pendant quelques heures pour éliminer tout le sel résiduel qui pourrait influencer les résultats, puis conditionnés en milieu acide. L'incubation est faite en utilisant des moisissures que l'on trouve habituellement dans les salles de bains. Les photos présentées à la figure 7 montrent bien que le joint PCI Geofug® réduit significativement la croissance de ces moisissures en présence de lumière. En absence d'éclairage, les moisissures prolifèrent comme sur les joints à base de ciment, avec ou sans lumière.

Conclusion : comment invente-t-on un produit de la chimie de construction ?

L'idée du développement est souvent inspirée par le marché, les produits disponibles ne répondant pas toujours

aux besoins exprimés par le client. Dans le domaine des joints céramiques, les besoins exprimés en termes de facilité de nettoyage et de durabilité, additionnés à d'autres demandes techniques et aux nouvelles normes, ont conduit à la création d'un nouveau produit.

Jusqu'à présent, les deux technologies les plus utilisées à base de ciment ou de résines époxydes ne pouvaient satisfaire l'ensemble des besoins exprimés (figure 8). Les chercheurs de BASF ont travaillé pendant plusieurs années sur les géopolymères et ont montré que les joints utilisant cette technologie apportaient des solutions innovantes. Des essais physiques et d'application sur environ 300 formules différentes ont été réalisés pendant la phase de développement avant de faire des essais sur des chantiers. Les joints PCI Geofug® sont maintenant disponibles sur le marché.

Références

[1] Davidovits J., Geopolymers: inorganic polymeric new materials, *J. Thermal Analysis*, **1991**, 37, p. 1633.
 [2] Duxson P., Fernández-Jiménez A., Provis J.L., Lukey G.C., Palomo A., van Deventer J.S.J., Geopolymer technology: The current state of the art, *J. Mater. Sci.*, **2007**, 42, p. 2917.
 [3] Provis J.L., Rees C., *Geopolymers: Structure, processing, properties and industrial applications*, J.L. Provis, J.S.J. van Deventer (eds), Woodhead Publishing, **2009**, p. 118-136.



J. Riedmiller



M. McIlhatton



S. Zuern

Joachim Riedmiller est responsable de laboratoire « joints de carrelage », **Michael McIlhatton**, développeur « joints géopolymères », et **Siegfried Zuern** (auteur correspondant), directeur de développement chez BASF Construction Chemicals Retail Europe*.

* BASF Construction Chemicals Retail Europe E-EBR, Piccardstr. 11, D-86159 Augsburg (Allemagne).
 Courriels : joachim.riedmiller@basf.com ; michael.mcilhatton@basf.com ; siegfried.zuern@basf.com

Activités expérimentales de chimie des matériaux

Anodisation du titane et dosage du cuivre et du zinc dans le laiton

Loïc Hallez, Francis Touyeras, Paul-Louis Fabre et Olivier Reynes

Le choix des matériaux pour réaliser des travaux pratiques de chimie des matériaux est très large. Parmi la multitude de possibilités, deux travaux pratiques sont présentés dans cet article : le premier sur l'anodisation du titane et le second sur le dosage du cuivre et du zinc contenus dans un alliage, le laiton.

Anodisation du titane

Le titane est le quatrième élément métallique le plus abondant sur la croûte terrestre (0,6 % de sa masse) après l'aluminium (8 %), le fer (5 %) et le magnésium (2 %). Ses propriétés mécaniques (masse volumique, résistance, ductilité, dilatation...) et de surface (résistance à la corrosion, biocompatibilité) en font un matériau très utilisé dans divers secteurs : aéronautique, spatial, militaire, biomédical et luxe (lunetterie, bijouterie...).

Il se caractérise par son aptitude à former spontanément une couche d'oxydes stable en surface (comme l'aluminium), épaisse de 4 à 6 nm qui le protège contre la corrosion, mais qui résiste mal à l'usure. Pour pallier ce phénomène et/ou rendre la surface plus esthétique, un procédé d'oxydation électrochimique (traitement de conversion) permet d'accroître l'épaisseur de cette couche d'oxydes et également de la colorer : c'est l'anodisation.

L'activité présentée ici a pour but d'étudier le comportement anodique du titane : influence des conditions opératoires (tension et temps d'électrolyse) sur la coloration de la couche d'oxydes.

Manipulation

Préparation de l'anode

Un matériau métallique est généralement oxydé et couvert d'huiles ou de graisses issues des procédés de mise en forme ou du stockage. Il faut donc procéder au nettoyage préalable des corps gras (hydrophobes) : **dégraissage**, ainsi qu'à l'élimination des oxydes : **décapage**.

Pour les alliages de titane, l'utilisation de solvants halogénés et d'alcools méthylique/éthylque est à proscrire. C'est pourquoi le dégraissage sera réalisé à l'acétone suivi d'une immersion dans une solution de soude à 1 mol.L⁻¹ pendant 5 min à température ambiante. Le décapage industriel du titane est réalisé dans des bains d'attaque nitro-fluorhydrique. Pour des raisons de sécurité, nous utilisons une solution de décapage constituée de HNO₃ (40 %) à une température comprise entre 20 et 50 °C pendant quelques minutes.

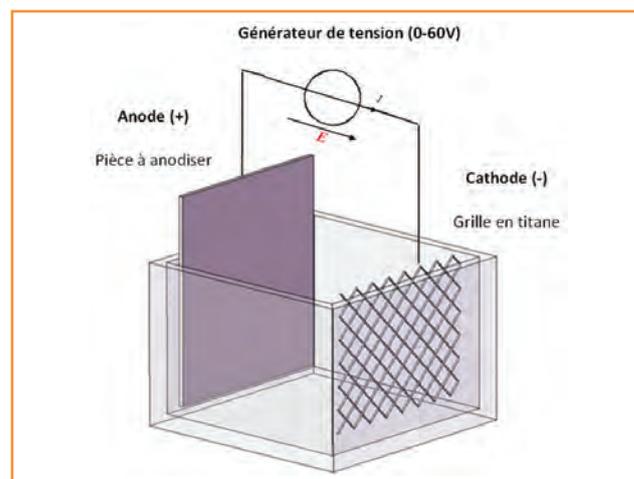


Figure 1 - Montage expérimental pour l'étude de l'anodisation du titane.

Montage expérimental (figure 1)

Le bain d'anodisation est constitué d'une solution de NH₄BF₄ à 15 % en masse ou H₂SO₄ (200 g.L⁻¹).

Pièce à anodiser (+)/cathode (-).

Distance anode-cathode : 5 à 10 cm.

Température constante (20 °C).

Équation de réaction :



Travail demandé

Faire différents essais en faisant varier la tension aux bornes de 5 à 60 V (alimentation stabilisée : générateur de tension), et le temps d'électrolyse de 1 à 10 min.

Interprétation/résultats

Le revêtement agit comme film interférentiel et sa couleur est directement liée à son épaisseur ; on a donc la possibilité de créer une large gamme de couleurs (figure 2). L'épaisseur de la couche est comprise entre quelques nanomètres et plusieurs dizaines de nanomètres. La couleur dépendra donc de la nature et de la température de l'électrolyte, de la tension, de la densité de courant locale et du temps d'électrolyse. L'oxyde est principalement du TiO₂ (rutile/anatase).

Remarque : il est possible de coupler ce TP avec l'anodisation de l'aluminium et de mesurer les épaisseurs des dépôts de TiO₂ en ellipsométrie (méthode optique d'analyse de surface reposant sur le changement de



Figure 2 - Réalisation d'un bijou par les étudiants de la licence professionnelle « Traitements de surface et de gestion environnementale » de Besançon. Palette avec dépôt d'or + couleur en titane anodisé.

polarisation de la lumière lors de sa réflexion sur une surface plane ; cette technique permet de mesurer l'épaisseur de la couche mince d'oxyde).

Dosage du cuivre et du zinc dans le laiton

Ce second exemple concerne le dosage du cuivre et du zinc dans un alliage : le laiton [1]. Les alliages sont couramment utilisés pour des applications très diverses dues à leurs propriétés particulières (conductivité, résistance mécanique...). Parmi la multitude d'alliages, le laiton est celui que les étudiants identifient et connaissent le mieux. Cet alliage principalement constitué de cuivre et de zinc est un matériau peu coûteux et aisément attaqué par des solutions acides. Cette propriété permet d'obtenir des solutions contenant les ions Cu^{2+} et Zn^{2+} qui sont alors dosables par des techniques classiques de chimie analytique.

L'activité de dosage proposée ici est simple à mettre en œuvre et peu coûteuse. De plus, elle permet de rappeler des notions de chimie des solutions (pH, complexes, produit de solubilité...) et de les appliquer à un cas concret.

Manipulation

La première étape correspond à l'attaque d'environ 800 mg de laiton par une solution d'acide nitrique à 50 % permettant d'obtenir une solution contenant les ions Cu^{2+} et Zn^{2+} . Cette étape est réalisée au préalable par l'enseignant à cause des vapeurs toxiques émises et du temps nécessaire pour la dissolution totale de l'alliage. Cependant, cette attaque acide est effectuée par l'enseignant en présence des étudiants sur une petite quantité de laiton (quelques milligrammes) avec une solution d'acide nitrique moins concentrée (30 %) afin qu'ils puissent déduire les réactions mises en jeu à partir de leurs observations expérimentales. Les étudiants effectuent une dilution sur la solution préalablement préparée par l'enseignant. Cette solution diluée est alors dosée par une solution de soude en mettant

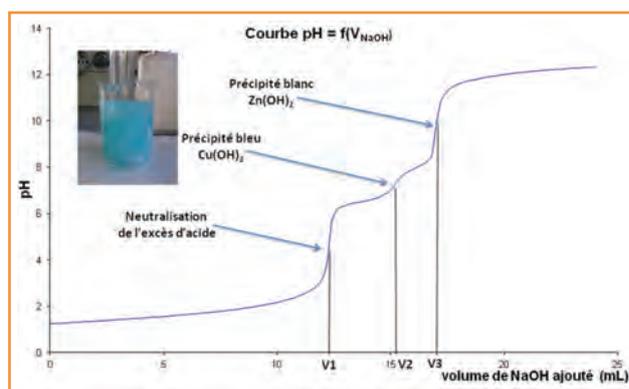


Figure 3 - Suivi du pH en fonction du volume de soude versé.

à profit la formation des complexes métalliques hydroxydes, notés $\text{M}(\text{OH})_2$. Les produits de solubilités étant suffisamment différents ($K_s(\text{Cu}(\text{OH})_2) = 2 \times 10^{-20}$ et $K_s(\text{Zn}(\text{OH})_2) = 3 \times 10^{-17}$ [2]), la précipitation successive des complexes est observée.

Le pH de la solution contenant les ions Cu^{2+} et Zn^{2+} est suivi expérimentalement en fonction du volume de soude ajouté (figure 3). La courbe $\text{pH} = f(V_{\text{soude}})$ présente trois sauts de pH correspondant respectivement à :

- la neutralisation de l'excès d'acide nitrique utilisé lors de l'étape de dissolution du laiton ;
- la formation de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ caractérisée par la formation d'un précipité bleu ;
- la formation de $\text{Zn}(\text{OH})_2$ caractérisée par la formation d'un précipité blanc.

À partir des trois volumes à l'équivalence obtenus, les concentrations en ions Cu^{2+} et Zn^{2+} sont accessibles dans la solution diluée.

La seconde méthode est basée sur le dosage colorimétrique des cations métalliques Cu^{2+} et Zn^{2+} par l'acide éthylène diamine tétraacétique (EDTA), complexant bien connu des ions métalliques. Cependant, les constantes de complexation des deux cations par l'EDTA sont proches, ce qui ne permet pas de doser sélectivement les ions Cu^{2+} et Zn^{2+} . L'ajout de thiosulfate de sodium (jouant le rôle d'ion masquant par complexation du cuivre) permet de doser uniquement l'ion Zn^{2+} . Un premier dosage de la solution contenant les ions Cu^{2+} et Zn^{2+} par l'EDTA permet d'obtenir un premier volume à l'équivalence. Après ajout du thiosulfate de sodium, un nouveau dosage effectué par l'EDTA permet d'accéder à la concentration en ions Zn^{2+} . En considérant le volume à l'équivalence obtenu lors du premier et du second dosage, la concentration en ions Cu^{2+} est déterminée.

Interprétation/résultats

Quelle que soit la méthode envisagée, les concentrations en ions Cu^{2+} et Zn^{2+} dans la solution acide sont accessibles. En prenant en compte la dilution effectuée au départ sur la solution fournie et la masse de laiton dissoute, les pourcentages massiques en cuivre et en zinc dans le laiton sont obtenus. Les résultats déterminés par précipitation par la soude ou par complexométrie sont proches (écart de 3 à 5 %).

Conclusion

Les deux activités expérimentales présentées ici permettent de faire un lien entre la chimie et les matériaux et ne nécessitent pas de matériel spécifique. Les étudiants

sont amenés à revoir des notions de chimie générale et à les appliquer à des exemples plus concrets.

Références

- [1] Fabre P.-L., Reynes O., Determination of copper and zinc in brass: Two basic methods, *J. Chem. Educ.*, **2010**, 8(87), p. 836.
- [2] *Handbook of Chemistry and Physics*, 82^e ed., D.R. Lide (ed.), CRC, Boca Raton, **2001-2002**.



L. Hallez F. Touyeras P.-L. Fabre O. Reynes

Loïc Hallez et **Francis Touyeras** sont maîtres de conférences à l'IUT Besançon-Vesoul, Département chimie* (partie sur l'anodisation du titane). **Paul-Louis Fabre** est professeur et **Olivier Reynes** est maître de conférences à l'IUT A Paul Sabatier, Département des mesures physiques** (partie sur le dosage du cuivre et du zinc dans le laiton).

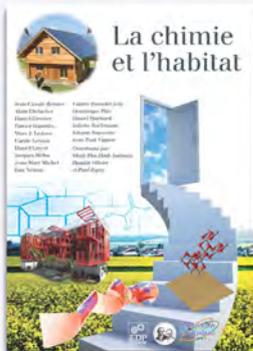
* Institut UTINAM, UMR CNRS 6213, IUT de Besançon-Vesoul - Département chimie, 30 avenue de l'Observatoire, BP 1559, F-25009 Besançon Cedex.
Courriels : loic.hallez@univ-fcomte.fr ; francis.touyeras@univ-fcomte.fr

** IUT A Paul Sabatier, Département des mesures physiques, 115 route de Narbonne, F-31077 Toulouse Cedex.
Courriels : olivier.reynes@iut-tlse3.fr ; paul-louis.fabre@iut-tlse3.fr

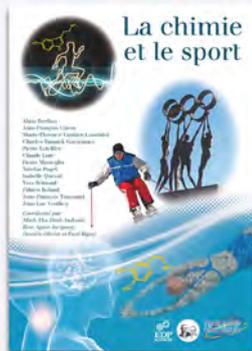
Collection L'Actualité Chimique-Livres



Octobre 2012 - 300 p. - 24 €



Octobre 2011 - 292 p. - 24 €



Janvier 2011 - 264 p. - 24 €



Octobre 2010 - 244 p. - 24 €



Juin 2010 - 228 p. - 24 €



Janvier 2010 - 182 p. - 19 €



Août 2009 - 208 p. - 24 €



Commandez-les sur edition-sciences.com

L'innovation systématique : rêve ou réalité ?

Céline Bryon-Portet, Jean-Marc Le Lann et Stéphane Negny

- Résumé** L'innovation, souvent confondue avec les notions de créativité, de découverte ou d'invention qui lui sont relativement proches, est une activité qui s'inscrit encore trop rarement dans un procédé continu, rigoureux et rationnel. Cet article propose une clarification définitoire de ce concept – en distinguant notamment innovation incrémentale et innovation radicale –, puis insiste sur la nécessité qu'il y a à systématiser davantage l'ensemble des opérations qui sont liées à cette activité. Après avoir souligné que l'innovation est un processus, et que celui-ci est rarement le fruit d'inventeurs isolés qui opèrent au hasard, les auteurs présentent quelques méthodes susceptibles de favoriser sa réalisation : la théorie de résolution des problèmes inventifs (TRIZ) et le raisonnement à partir de cas (RàPC). En s'appuyant sur un exemple concret, ils montrent également que le fait d'associer ces deux méthodes rend le procédé d'innovation plus efficace.
- Mots-clés** Créativité, innovation, systématisation, génie chimique, théorie TRIZ, JIREC 2012, enseignement.
- Abstract** **Systematic innovation: dream or reality?** Innovation is often confused with the concepts of creativity, discovery or invention and is an activity being too rarely realized through a continuous and rational process. This article tries to clarify the definition of this concept, distinguishing for example incremental and radical innovation, and pointing out that it's necessary to be more systematic and rigorous in the field of innovation. After having reminded that innovation is a process and seldom the result of solitary inventors who operate at random, the authors present some methods able to promote it: the "theory of innovative problem solving" (TRIZ) and the "case based reasoning" (CBR). Thanks to a concrete example, they also note that the fact of combining these two methods makes the innovation process more effective.
- Keywords** Creativity, innovation, systematization, chemical engineering, TRIZ theory, JIREC 2012, teaching.

Essai de définition de l'innovation

Un processus complexe...

Les définitions relatives à l'innovation sont multiples et variables. Néanmoins, il y a un consensus sur le fait que l'innovation est distincte de la découverte, de la créativité ou encore de l'invention, bien que ces dernières lui soient souvent étroitement liées. La découverte, en effet, résulte d'un ensemble d'observations fondées sur des données existantes ou des informations progressivement acquises. Elle ne requiert donc pas nécessairement une activité inventive, comme le prouvent les cas de la pénicilline et du radium par exemple. La créativité, quant à elle, relève avant tout d'un état d'esprit, d'une forme de pensée et d'attitude humaine mobilisant volontiers l'imagination. L'invention, enfin, propose une solution technique face à un problème de même nature, et peut être brevetable. Bien que la notion de nouveauté soit présente, elle ne s'inscrit pas nécessairement dans une démarche systématique et systématique, et ne se développe pas toujours au sein du corps social pour modifier les habitudes des usagers dans un secteur donné, contrairement à l'innovation. Bon nombre d'inventions n'atteignent ainsi jamais le statut d'innovation.

Par rapport à ces différents champs, l'innovation a ceci de particulier qu'elle repose sur un processus, aboutit à une utilisation effective et relativement large, créant ainsi de la

valeur. Elle permet à une entreprise ou à un système d'obtenir des avantages substantiels sur un marché par une évolution significative de son organisation, *via* de nouvelles méthodes ou outils, ou par la création puis délivrance d'un produit, procédé ou service augmentant la satisfaction de tout un chacun. Certaines innovations requièrent peu de ressources techniques. Le fameux Post-it[®], par exemple, est né en 1980 du recyclage, par la société 3M, d'étiquettes dont la colle était défectueuse. Malgré la simplicité de son procédé de fabrication, le Post-it[®] n'en fut pas moins une innovation majeure. D'autres innovations, comme le DVD, sont le fruit de procédés plus élaborés. Enfin, une innovation telle qu'Internet résulte d'un processus encore plus long et plus complexe, qui mobilisa et fit travailler en synergie différents types d'acteurs, militaires et scientifiques notamment.

Les spécialistes de l'innovation, enfin, identifient au moins deux principaux types d'innovation : l'innovation radicale et l'innovation incrémentale.

L'innovation radicale – également baptisée innovation de rupture – introduit un concept résolument novateur, un procédé entraînant un changement total des habitudes, ou un produit impliquant un saut technologique et pouvant modifier en profondeur les conditions d'utilisation, voire même les modes de production et les besoins d'une société. Elle correspond à ce mouvement de « destruction créatrice » que l'économiste Joseph Schumpeter développa pour rendre compte de la disparition des anciens secteurs d'activité économiques conjointement à l'apparition de nouvelles



Le passage du téléphone fixe au sans fil : une innovation incrémentale, celui au portable : une innovation radicale !

activités [1]. La photographie numérique, par exemple, constitue une innovation radicale par rapport à la photographie argentique, de même que le nylon par rapport au coton.

L'innovation incrémentale ne bouleverse pas les usages de manière significative. Elle offre de petites évolutions successives, pouvant finalement apporter des améliorations sensibles et continues (Norbert Alter va jusqu'à parler à ce propos d'« innovation ordinaire » [2]). Le passage du téléphone fixe au téléphone sans fil, par exemple, peut être rangé dans cette catégorie d'innovation incrémentale. En revanche, l'apparition du téléphone portable relève d'une innovation de nature plus radicale.

Précisons également que l'innovation, si elle est plutôt envisagée par les chercheurs, les ingénieurs et les entrepreneurs dans sa dimension épistémologique et technique, et porte essentiellement sur des produits et des procédés, déborde néanmoins cette sphère. Le management a ainsi eu ses innovations (telles que le management participatif), de même que le monde de l'art : l'impressionnisme peut être ainsi considéré comme une innovation radicale, qui a révolutionné la peinture et ses règles académiques vers la fin du XIX^e siècle. Plus proche de nous, le Cirque du Soleil est un exemple d'innovation qui a bouleversé le monde du spectacle, et plus précisément du cirque [3]. Bien que fort intéressants, ces domaines ne retiendront pas notre attention dans le cadre du présent article.

Plaidoyer pour une approche plus systématique et systémique de l'innovation

Contrairement à un préjugé encore trop largement répandu, l'innovation est rarement un acte sporadique, né de l'esprit génial d'un chercheur isolé ou d'un heureux hasard. Au-delà du fait que des personnages comme Léonard de Vinci et Thomas Edison ou des produits comme le Post-it[®], sont assez exceptionnels, les inventions, si extraordinaires soient-elles, ne deviennent des innovations que lorsque sont aménagées favorablement leurs conditions de fabrication puis de diffusion sur le marché, et que le corps social est prêt ou préparé à les recevoir.

Les organisations qui font figure de leader dans le domaine de l'innovation adoptent une démarche systématique, et même systémique, dans la mesure où elle doit idéalement prendre en compte des paramètres sociologiques, économiques, juridiques, financiers, managériaux, communicationnels et marketing, en plus des paramètres de nature souvent scientifique et technique qui sont strictement liés à la conception d'un nouveau bien, matériel ou immatériel – le projet Sappho par exemple, élaboré par le Science Policy

Research Unit pendant les années 1970, a montré que les entreprises les plus compétitives sur le marché de l'innovation sont celles qui associent ces différents paramètres [4]. Cependant, trop nombreuses sont encore, à ce jour, les organisations qui espèrent pouvoir innover sans mobiliser de véritables méthodes, ni concevoir cette activité comme un procédé continu, rigoureusement rationnalisable.

Quelques méthodes permettant de s'engager dans une démarche systématique d'inventivité et d'innovation, et ayant déjà fait leurs preuves, méritent d'être donc mentionnées.

Quelques méthodes favorisant l'inventivité à des fins d'innovation

La théorie de résolution des problèmes inventifs (TRIZ)

La première d'entre elles est TRIZ, dont l'acronyme signifie, en cyrillique, « teorija rezhenija izobretatel'stich zadach » (soit « théorie de résolution des problèmes inventifs »). Cette méthode fut créée par Genrich Altshuller à partir de la lecture d'une abondante littérature scientifique et industrielle, de l'analyse de plus de 400 000 brevets d'inventions, mais aussi de l'étude de la psychologie et du travail des grands inventeurs, ainsi que des différentes méthodes existantes visant à favoriser la créativité.

Partant du constat que l'activité de conception de nouveaux produits et procédés se présente essentiellement comme un processus de résolution de problèmes, et que 77 % des solutions apportées à un problème ne constituent que des solutions apparentes, faites de compromis non satisfaisants, ou des améliorations mineures, ce chercheur russe décida de proposer des outils concrets pour guider l'ingénieur dans sa tâche au lieu de le laisser tâtonner à l'aveugle [5]. Or la résolution de problèmes confronte l'Homme à des contradictions de type opérationnel, physique, ou technique, qui constituent des apories et l'empêchent de progresser vers un « résultat idéal final » [6-7]. En effet, étant donné que les systèmes techniques sont constitués de parties interdépendantes, il est courant que l'augmentation de la performance d'une partie du système entraîne de façon concomitante la dégradation inacceptable d'une autre de ses parties.

C'est précisément afin de dépasser de telles situations paralysantes que Genrich Altshuller a élaboré une matrice des contradictions (*figure 1*). La matrice de TRIZ, destinée à résoudre plus spécifiquement des contradictions de type technique, comporte 39 caractéristiques (*encadré 1*), qui sont autant de données relatives aux paramètres de conception ou d'ingénierie au sens large d'un système, telles que le poids, la longueur, la surface, le volume, la vitesse, la force, la forme, la température, l'énergie, la matière, l'adaptabilité, la complexité, etc. Dans le tableau matriciel, la colonne de gauche renvoie aux caractéristiques qu'il convient d'améliorer. La ligne du haut, quant à elle, indique les caractéristiques susceptibles d'être dégradées chaque fois que l'on tente d'améliorer un paramètre du système (identifié dans la colonne verticale). En d'autres termes, elle indique une conséquence indésirable, source de contradiction pour l'ingénieur.

		1	2	3	4	5	6	7	8
paramètre qui se détériore		masse d'un objet mobile	masse d'un objet immobile	longueur d'un objet mobile	longueur d'un objet immobile	surface d'un objet mobile	surface d'un objet immobile	volume d'un objet mobile	volume d'un objet immobile
paramètre à améliorer		masse d'un objet mobile	masse d'un objet immobile	longueur d'un objet mobile	longueur d'un objet immobile	surface d'un objet mobile	surface d'un objet immobile	volume d'un objet mobile	volume d'un objet immobile
1	masse d'un objet mobile	+	-	15, 8, 29, 34	-	29, 17, 38, 34	-	29, 2, 40, 28	-
2	masse d'un objet immobile	-	+	-	10, 1, 29, 35	-	35, 30, 13, 2	-	5, 35, 14, 2
3	longueur d'un objet mobile	8, 15, 29, 34	-	+	-	15, 17, 4	-	7, 17, 4, 35	-
4	longueur d'un objet immobile	-	35, 28, 40, 29	-	+	-	17, 7, 10, 40	-	35, 8, 2, 14
5	surface d'un objet mobile	2, 17, 29, 4	-	14, 15, 18, 4	-	+	-	7, 14, 17, 4	-
6	surface d'un objet immobile	-	30, 2, 14, 18	-	26, 7, 9, 39	-	+	-	-
7	volume d'un objet mobile	2, 26, 29, 40	-	1, 7, 4, 35	-	1, 7, 4, 17	-	+	-
8	volume d'un objet immobile	-	35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14	-	-	-	+

Figure 1 - Extrait de la matrice des contradictions.

Encadré 1**Les 39 paramètres de la matrice de contradiction**

- 1 Masse d'un objet mobile
- 2 Masse d'un objet immobile
- 3 Longueur d'un objet mobile
- 4 Longueur d'un objet immobile
- 5 Surface d'un objet mobile
- 6 Surface d'un objet immobile
- 7 Volume d'un objet mobile
- 8 Volume d'un objet immobile
- 9 Vitesse
- 10 Force
- 11 Tension ou pression
- 12 Forme
- 13 Stabilité de l'objet
- 14 Résistance
- 15 Durée de l'action d'un objet mobile
- 16 Durée de l'action d'un objet immobile
- 17 Température
- 18 Brillance
- 19 Énergie dépensée par l'objet mobile
- 20 Énergie dépensée par l'objet immobile
- 21 Puissance
- 22 Perte d'énergie
- 23 Perte de substance
- 24 Perte d'information
- 25 Perte de temps
- 26 Quantité de substance
- 27 Fiabilité
- 28 Précision de la mesure
- 29 Précision de l'usinage
- 30 Facteurs nuisibles agissant sur l'objet
- 31 Facteurs nuisibles générés par l'objet
- 32 Facilité de fabrication
- 33 Facilité d'utilisation
- 34 Aptitude à la réparation
- 35 Adaptabilité
- 36 Complexité du système
- 37 Complexité de contrôle
- 38 Degré d'automatisation
- 39 Productivité

Enfin, à l'intersection de la colonne et de la ligne, c'est-à-dire à la croisée de la caractéristique améliorée et de la caractéristique détériorée, la matrice propose une ou plusieurs pistes de solutions afin de dépasser la contradiction relevée, sous forme de numéros référant à des principes (segmentation, extraction, asymétrie, emboîtement, contrepoids, dilatation

Encadré 2**Les 40 principes de la matrice de contradiction**

- 1 Segmentation
- 2 Extraction
- 3 Qualité locale
- 4 Asymétrie
- 5 Combinaison
- 6 Universalité
- 7 Emboîtement (poupées russes)
- 8 Allègement du poids
- 9 Anti-action préliminaire
- 10 Action préliminaire
- 11 Compensation
- 12 Équipotentialité
- 13 Inversion
- 14 Forme : sphères, courbes
- 15 Dynamisme
- 16 Légèrement plus ou légèrement moins
- 17 Changement de dimension
- 18 Vibration
- 19 Action périodique
- 20 Continuité
- 21 Changement de vitesse
- 22 Transformation d'un plus en moins
- 23 Rétroaction
- 24 Intermédiaire
- 25 Self service
- 26 Copie
- 27 Éphémère et économie
- 28 Reconception
- 29 Pneumatique et hydraulique
- 30 Cellules flexibles
- 31 Matériau poreux
- 32 Changement de couleur
- 33 Homogénéité
- 34 Rejet et régénération
- 35 Modifications des paramètres
- 36 Phase de transition
- 37 Expansion thermique
- 38 Oxydation
- 39 Environnement inerte
- 40 Matériau composite

thermique, inversion, sphéricité, changement de dimension, vibration, accélération, rétroaction, homogénéité, changement de paramètres, oxydation...). Au total, Altshuller a identifié 40 principes généraux (*encadré 2*), que l'ingénieur doit ensuite adapter à un problème particulier. La matrice, qui n'est autre qu'une base de données de solutions connues, détermine donc, grâce à une étude statistique des solutions fructueuses proposées par des brevets antérieurs, les principes qui se révèlent les plus pertinents pour éliminer une contradiction rencontrée [8].

Cependant, TRIZ a ses limites :

- Cette théorie n'a pas de mémorisation de son processus de résolution ; en conséquence, elle ne permet pas de se référer à des solutions spécifiques connues.
- TRIZ utilise une connaissance générale (à forte connotation ingénierie) qui peut s'avérer difficile à appliquer. Ces limites nécessitent de recourir à d'autres méthodes complémentaires, capables de stocker et de réutiliser la connaissance, capacités centrales de la méthode suivante.

Le processus de raisonnement à partir de cas (RàPC)

Avec le processus de raisonnement à partir de cas, les problèmes sont résolus en utilisant des expériences du

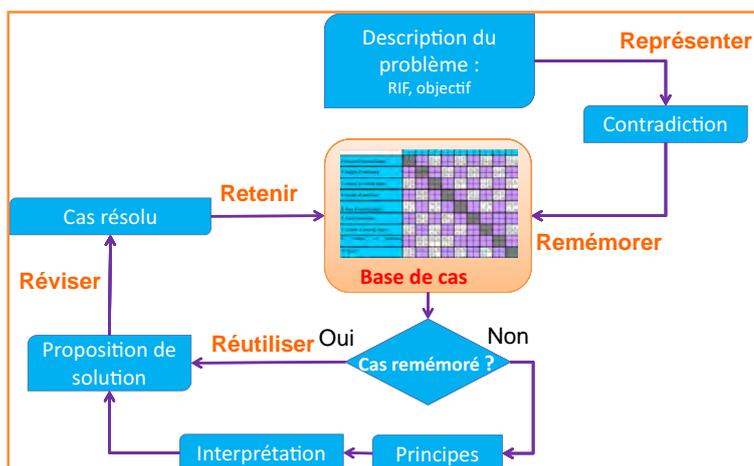


Figure 2 - Synergie RàPC-TRIZ.

passé. Un problème cible à résoudre est comparé à des cas rencontrés antérieurement. Si tel est le cas, les solutions associées peuvent être évaluées et adaptées afin d'en fournir une nouvelle plus appropriée. Cette méthodologie est basée sur le cycle des 5R – *représenter-remémorer-réutiliser-réviser-retenir* – (figure 2) : *remémorer* un problème similaire, stocké et indexé dans la base de cas, puis *réutiliser* la solution associée à ce problème. Cette dernière doit ensuite être revue, testée et améliorée. Enfin, tout le processus de résolution est retenu et mémorisé dans la base de cas pour alimenter celle-ci. Cependant, le RàPC a également ses limitations :

- La base de cas se réfère à des solutions dans un domaine d'applications métier, ce qui peut être un frein à la créativité.
- Encore faut-il trouver un cas antérieurement résolu similaire au nouveau problème ! Dans sa forme originelle, le RàPC peut être utilisé pour créer des plans de synthèse chimique.

Synergie TRIZ-RàPC

L'idée que nous proposons serait donc d'utiliser une synergie entre les deux méthodes TRIZ et RàPC (figure 2). Pour ce faire, le problème à résoudre est décrit et modélisé comme une contradiction (*représenter*). Celle-ci est ensuite utilisée pour retrouver, dans la base de cas, un cas similaire préalablement résolu (la mémorisation est alors indexée sur la matrice de contradiction de TRIZ). Dès lors, deux processus vont s'opérer : soit un cas similaire existe et alors on applique la fin de la boucle de résolution du RàPC (*réutiliser-réviser-retenir*) ; soit il n'existe pas de cas traité, et l'on applique le processus de résolution de TRIZ basé sur la résolution de la contradiction à l'aide de la matrice. Celui-ci devient ainsi un cas traité : dès lors, il peut être stocké, accompagné de la solution trouvée, dans la base de cas indexée selon les lignes et colonnes de la matrice de contradiction.

Exemples d'innovations en génie chimique et illustration d'application de la synergie TRIZ-RàPC

Les exemples d'innovation dans le domaine du génie chimique sont multiples et variés, depuis le fameux nylon 6-

6, plus connu sous le produit du bas nylon ou des collants, jusqu'au pot catalytique. On peut également citer, pêle-mêle : les catalyseurs de nouvelle génération, le pneu vert à base de silice, les nouveaux solvants « aqueux », les matériaux avancés (composites, plastiques techniques...), les nanotubes de carbone, les technologies de réduction des NOx et du CO₂...

Considérons un exemple d'utilisation de la synergie proposée au travers du cas du lit mobile vrai (figure 3a), procédé permettant la séparation chromatographique d'un mélange multiconstituant utilisé en biotechnologies, chimie fine et pharmacie.

Ce procédé originel présentait l'inconvénient de devoir effectuer la circulation d'une phase solide. L'innovation consistait donc à palier ce défaut en utilisant la synergie TRIZ-RàPC précédemment évoquée. Aucun problème de ce type n'étant présent dans la base de cas, il convenait d'utiliser la boucle de résolution *via* TRIZ après avoir défini

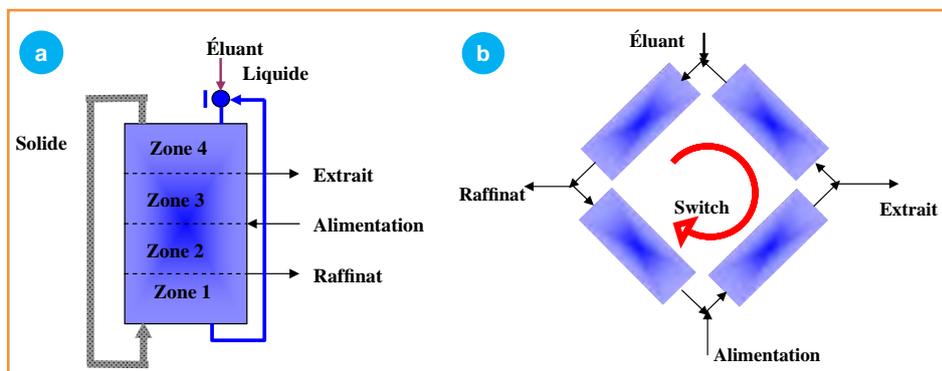


Figure 3 - Lit mobile vrai (a) et simulé (b).

la contradiction suivante, à surmonter : « réduire la circulation de la phase solide sans dégrader la performance de la séparation et augmenter les coûts opératoires ». Le paramètre à améliorer était donc le 33 (« Améliorer l'utilisation »), et le paramètre dégradé était le 19 (« Énergie dépensée par un objet circulant »). Les principes de résolution préconisés dans la matrice de contradiction sont : 1-segmentation, 13-inversion, 24-intermédiaire. L'application du principe 1 de segmentation conduit à l'idée de séparer le procédé en quatre zones indépendantes, tandis que l'application du principe 13 d'inversion invite, en utilisant le sous-principe associé « Rendre les parties mobiles fixes et vice versa », à rendre statique le solide et passer les entrées-sorties en mode rotatif. Ceci donne le principe du lit mobile simulé bien connu (figure 3b). Ensuite intégrée dans la base de cas, cette solution permet de résoudre d'autres cas similaires grâce au RàPC.

Cette première partie de l'exemple n'utilise qu'une boucle du cycle de la figure 2. En vue d'améliorer le système et d'étendre ses possibilités à des cas de séparation-réaction et en partant du lit mobile simulé, une nouvelle contradiction technique est alors formulée, mais cette fois, il existe un cas similaire traitant de la distillation réactive qui est « remémoré » au niveau du RàPC. L'adaptation de cette solution permet d'aboutir au lit mobile simulé réactif qui couple au sein du même appareil les aspects réaction et séparation (notion d'intensification des procédés). Cette solution permet d'assurer une meilleure efficacité du système (taux de conversion accru, diminution de la consommation énergétique...).

Une troisième utilisation de la synergie TRIZ-RàPC permet également d'améliorer encore l'efficacité du lit mobile simulé (réactif ou non) en désynchronisant volontairement la rotation des entrées-sorties. Cette évolution permet de réduire la taille de l'appareillage ainsi que la consommation en solvant.

Conclusion

L'innovation est une chose difficile à mettre en œuvre, surtout quand on s'efforce de l'inscrire dans une démarche systématique, et ce bien que certaines théories et méthodes voient le jour, qui contribuent à rendre son processus moins sporadique. Il est bon de rappeler que la créativité, l'amélioration continue et l'innovation par rupture sont des ingrédients vitaux pour tous processus industriels et sociétés, et que les « success stories » d'hier peuvent conduire à des « leaders aveugles » (Kodak, Ilford...), aujourd'hui quasiment disparus du marché ou en passe de l'être.

Références

- [1] Schumpeter J., *Capitalisme, Socialisme et Démocratie*, Payot, 1972.
- [2] Alter N., *L'innovation ordinaire*, PUF, 2000.
- [3] Mahy I., *Les coulisses de l'innovation. Création et gestion au Cirque du Soleil*, Presses de l'Université Laval, 2008.
- [4] Freeman C., À quoi tiennent la réussite ou l'échec des innovations dans l'industrie ?, *Culture Technique*, 1988, 18, p. 30.
- [5] Altshuller G., *Creativity as an Exact Science*, Gordon and Breach, 1988.
- [6] Altshuller G., *Et soudain apparut l'inventeur, Avraam Seredinski*, 2006.
- [7] Altshuller G., *40 principes d'innovation : TRIZ pour toutes applications, Avraam Seredinski*, 2004.

- [8] Bryon-Portet C., Le Lann J.-M., Negny S., TRIZ : une méthode de gestion et de dépassement de la contradiction dans le domaine de l'ingénierie, B. Guy, *ASLC 2011. Deuxièmes ateliers sur la contradiction*, Presses des Mines, 2012, p. 95-106.



C. Bryon-Portet



J.-M. Le Lann



S. Negny

Céline Bryon-Portet (auteur correspondant)

est maître de conférences HDR en sciences de l'information et de la communication à l'École Nationale Supérieure des Ingénieurs en Arts Chimiques et Technologiques (ENSIACET), Institut National Polytechnique de Toulouse*, et chercheur au LERASS (Laboratoire d'Études et de Recherches Appliquées en Sciences Sociales) EA 827.

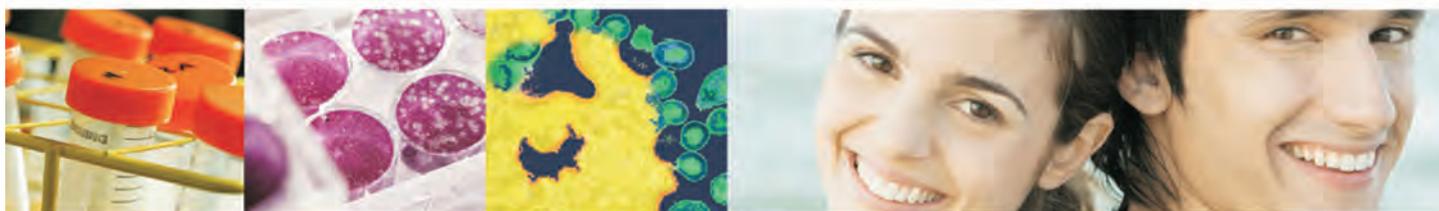
Jean-Marc Le Lann

est professeur des universités en génie chimique, directeur de l'ENSIACET* et chercheur au LGC (Laboratoire de Génie Chimique), UMR CNRS 5503, Département « Process System Engineering ». Il est également le président de la Fédération Gay-Lussac.

Stéphane Negny

est maître de conférences HDR à l'ENSIACET* et chercheur au LGC (Laboratoire de Génie Chimique), UMR CNRS 5503.

* ENSIACET, BP 84234, Campus INP-ENSIACET, 4 allée Émile Monso, F-31432 Toulouse Cedex 4.
Courriels : celine.bryonportet@ensiacet.fr ; jeanmarc.lann@ensiacet.fr ; stephane.negny@ensiacet.fr



IDENIX

Le siège du groupe Idenix est situé à Cambridge, Massachusetts, USA.
Idenix a également une unité de Recherche et Développement à Montpellier, France

La transdisciplinarité ou l'art d'enseigner la chimie du bleu

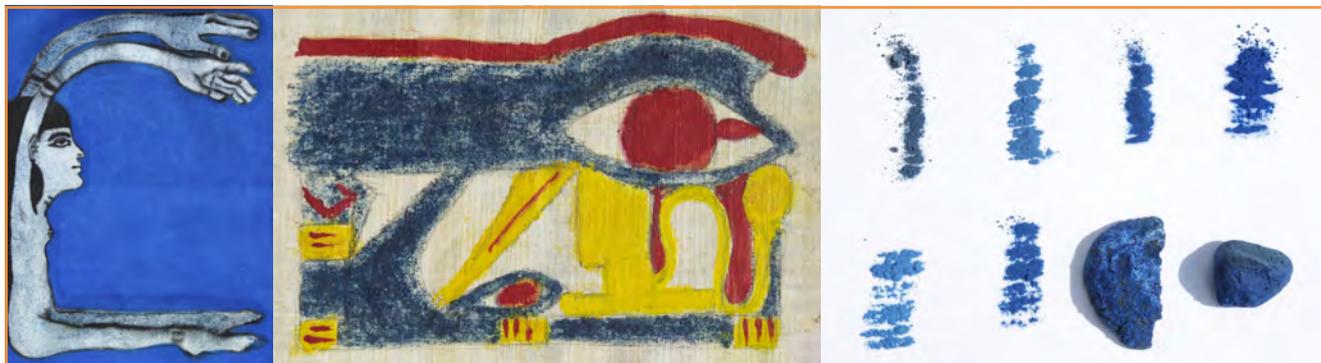
Florence Boulc'h, Maryon Andrieux, Olivier Morizot, Éric Audureau, Marie Anglade et Gaétan Hagel

Résumé Cet article présente une nouvelle approche pédagogique de la synthèse des pigments bleus en remplaçant celle-ci dans son contexte historique. Dans l'enseignement classique de la chimie, la couleur est abordée sous l'angle de la structure des pigments. Cependant, nous pensons que l'intérêt de ces synthèses ne peut être pleinement compris sans connaître les nombreuses raisons (techniques, économiques, esthétiques...) qui furent à l'origine de leur développement. Notre idée clé est que si les étudiants sont à même de comprendre comment s'est constitué le domaine de la chimie, ils seront en mesure de porter un regard critique sur son état actuel et d'en renouveler les méthodes dans le futur.

Mots-clés **Bleu, pigments, transdisciplinarité, histoire de la chimie, niveaux macroscopique, microscopique et symbolique, JIREC 2012, enseignement.**

Abstract **Transdisciplinarity or the art of teaching blue pigments**
This article describes a new pedagogical approach of the synthesis of different blue pigments, by replacing these works in their historical contexts. Classically, chemical colours are solely taught from a structural point of view. Yet, we firmly believe that the interest of these syntheses can only be fully understood when they are connected to the many factors (technical, economical, esthetic...) that motivate them. Our key idea is the following: if students know how the field of chemistry has been constituted, they will be able to develop a critical thought on its present state and to renew its method in the future.

Keywords **Blue, pigments, transdisciplinary, macroscopic, microscopic and symbolic levels, JIREC 2012, teaching.**



Travaux réalisés autour du bleu égyptien par les étudiants de la licence Sciences et Humanités. Photographies : Jean-Yves Briend, maître de conférences (mathématicien), Université d'Aix-Marseille (briend@cmi.univ-mrs.fr).

L'expérience pédagogique relatée dans cet article est réalisée en première année de la licence Sciences et Humanités (S&H) [1], dans le cadre d'une unité d'enseignement intitulée « Optique, Vision, Couleurs ». Cet exemple se veut représentatif de la manière originale dont les enseignements de cette formation sont conçus. La licence S&H est née d'une réflexion commune, durant plusieurs années, de spécialistes de disciplines aussi diverses que la biologie, l'histoire, les mathématiques, la philosophie, les sciences physiques, les sciences du langage et les sciences sociales sur l'enseignement universitaire. Ainsi, dans le cadre de cette licence, les étudiants sont formés de manière transdisciplinaire à la pratique d'une *pensée complexe* [2] en remplaçant l'apprentissage des sciences dans leur contexte tant philosophique qu'historique. L'idée est de développer chez les

étudiants une pensée riche et synthétique sur des thèmes clés du monde moderne, en les abordant du point de vue le plus ouvert et structuré possible. Les contenus de cours sont toutefois calibrés afin de permettre aux étudiants non seulement d'avoir une formation globale – adaptée aux métiers du journalisme ou de l'éducation – mais aussi d'être capables de se diriger ensuite vers le master disciplinaire de leur choix.

La sectorisation disciplinaire des enseignements a été écartée pour faire place à un enseignement selon cinq thèmes : « Nature et Culture », « Logique, Langage, Calcul », « Figures du Pouvoir », « Systèmes du Monde » et « Optique, Vision, Couleurs ». Dans ce dernier, sont introduites des notions de physique, de chimie, de philosophie, de mathématiques, de biologie, de sciences cognitives et de théorie des arts, afin d'explorer aussi largement que possible les

champs complexes de la lumière, de la vision et de la couleur. Nous présentons ici un exemple de cours intitulé « La couleur bleue : du bleu égyptien au bleu Klein », mis en place par une chimiste et une artiste plasticienne. Si la couleur bleue a été choisie plutôt qu'une autre couleur, c'est que si l'on s'intéresse à la fabrication des pigments bleus, on s'aperçoit qu'à de rares exceptions près (lapis-lazuli, azurite), ils furent partout et de tout temps artificiels. Dans ce contexte, il nous semble important de montrer avec quelle ingéniosité les hommes, poussés par la forte charge esthétique de cette couleur [3], ont réalisé artificiellement les matériaux bleus qui leur faisaient défaut. En ce sens, nous pouvons dire des pigments bleus qu'ils constituent des marqueurs de l'histoire de la chimie.

Le bleu : histoire d'une couleur, histoire d'un pigment

Le bleu égyptien est considéré comme le premier pigment synthétique [4]. Son utilisation ne s'est pas limitée au territoire égyptien et le pigment a circulé tout autour de la Méditerranée. Pourtant, malgré sa diffusion, l'emploi du bleu égyptien a cessé au Moyen Âge. Quel pigment bleu utilisaient donc les peintres florentins de la Renaissance ? On pense d'abord au bleu outremer extrait du lapis-lazuli qu'importaient les marchands vénitiens. Mais les remarquables qualités de ce pigment sont malheureusement contrebalancées par un prix exorbitant [5]. Heureusement, on trouvait à acheter à bien meilleur marché un autre pigment bleu, l'azurite, obtenu par broyage d'un minerai de cuivre. Les décors muraux de la chapelle des Scrovegni à Padoue, peints par Giotto vers 1305, en constituent un bel exemple (figure 1). Cependant, l'azurite est extrêmement sensible aux environnements basiques, qui la transforment en malachite de couleur verte. Au XVIII^e siècle, les artistes ne souhaitent plus se contenter d'un pigment bleu aussi instable. Le temps de l'azurite est passé, et le besoin de trouver un véritable substitut au lapis-lazuli est bien réel.



Figure 1 - Intérieur de la chapelle des Scrovegni décoré par Giotto vers 1305.

Le bleu que l'on y trouve est dû à l'azurite, pigment obtenu par broyage d'un minerai de cuivre.

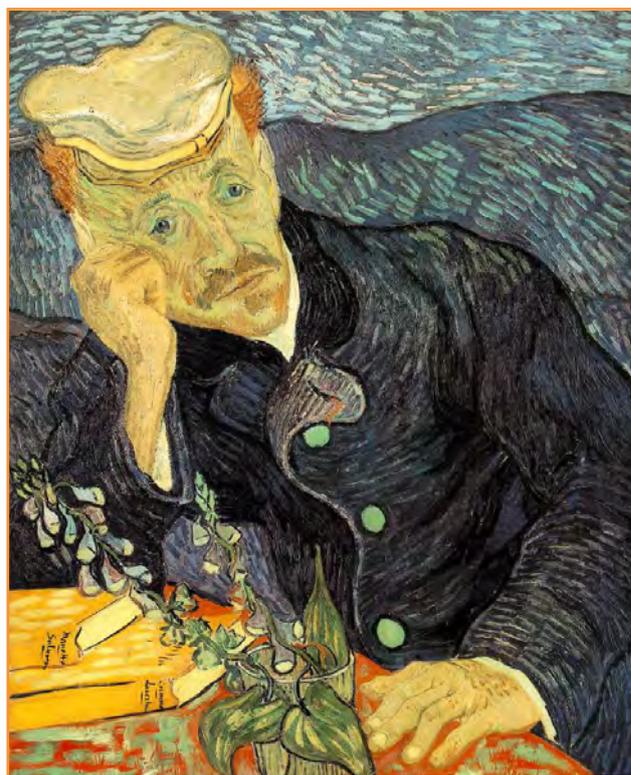


Figure 2 - Van Gogh, *Portrait du docteur Gachet*, 1890. Le fond est peint avec le bleu de Thénard.

La découverte du bleu de Prusse en 1709 procède pourtant d'un hasard habilement exploité. Rapidement, fut mis au point le procédé qui sera rendu public en 1724 : il consiste à concentrer le sang de bœuf par ébullition jusqu'à obtenir une poudre, que l'on traite au rouge par une potasse très concentrée. L'utilisation du bleu de Prusse, scientifiquement attestée pour les tableaux de Watteau intitulés *Les deux Cousines* (vers 1716) et le *Bain de Diane* (1712-1717) [6], révèle la rapidité avec laquelle ce nouveau pigment s'est répandu en Europe. Pourtant, ce bleu perd son éclat lorsqu'il est exposé à une lumière vive. En 1800, Bonaparte charge Thénard de trouver une couleur remplaçant l'outremer naturel avec avantage. Ce nouveau bleu est le premier réel succès de la chimie dans ce domaine. Car si l'invention du bleu de Prusse est due au hasard, celle du bleu de Thénard, nommé bleu de cobalt, procède du raisonnement. Parfaitement adapté à la peinture artistique, il semble donc un candidat tout à fait sérieux pour remplacer l'outremer. En France, le bleu de Thénard est commercialisé dès 1807. Dans sa correspondance, Van Gogh exprime son enthousiasme pour le cobalt à la fin 1885, au tout début de sa période anversoise [7] : « *Le cobalt est une couleur divine, il n'y a rien d'aussi beau pour créer de l'espace autour des objets* » (figure 2).

Les progrès de l'analyse et de la synthèse chimique à la fin du XVIII^e siècle et au début du XIX^e incitèrent les chimistes à préparer un bleu outremer artificiel. Ainsi, la société d'encouragement pour l'industrie nationale ouvrit un concours en 1824 pour la synthèse d'un bleu outremer à moindre coût. Le lauréat fut Guimet en 1828. Plus d'un siècle plus tard, Yves Klein s'empara du bleu outremer. Il travailla durant cinq années avec un chimiste afin de mettre au point la formulation d'un liant qui lui permit de réaliser des couches picturales ayant la couleur du pigment brut.

Notre approche pédagogique

Parallèlement au cours centré sur l'étude historique et chimique de l'utilisation de pigments bleus dans l'art pictural, les étudiants, par groupe de quatre, doivent mettre au point un protocole expérimental menant à la préparation du bleu égyptien en s'appuyant initialement sur les travaux d'Onorati ni dont l'article leur est distribué [8]. Puis en milieu de semestre, les salles de travaux pratiques leur sont ouvertes 3 à 4 heures par jour durant une semaine afin de réaliser cette synthèse. Nous sommes présents uniquement afin d'intervenir au niveau de la sécurité, mais nullement au niveau du contenu scientifique : les étudiants déterminent, à partir de leurs recherches bibliographiques, les masses des réactifs et de fondant à utiliser, le temps de séchage, la température de cuisson et les conditions de chauffage à programmer. En fin de semestre, ils sont évalués oralement sur ce travail et disposent de 20 minutes pour présenter leur démarche expérimentale, leurs résultats et leurs interprétations, tout en situant la place du bleu égyptien dans l'histoire des pigments bleus et de la couleur bleue.

Cet ensemble de 20 heures nous amène à questionner les fondements des connaissances en chimie physique des étudiants entrant à l'université et à mettre en évidence leurs sources de difficultés. Ces dernières sont principalement transversales puisqu'il s'agit des passages omniprésents et implicites entre les trois niveaux de savoir : macroscopique, microscopique et symbolique [9]. À travers la présentation des différentes synthèses de pigments bleus contextualisées dans l'histoire de la chimie, nous explicitons comment les observations macroscopiques ont été à l'origine des premières modélisations microscopiques. De plus, l'ensemble de ces synthèses nous permet de développer la symbolique des équations stœchiométriques et les raisonnements quantitatifs des transformations chimiques. Ainsi, nous insistons sur la logique et le langage qui sont fondamentaux en chimie afin d'acquérir la pratique de l'arithmétique des réactions. Nous concluons par la notion de mécanismes réactionnels en nous appuyant sur les travaux d'Onorati ni [8] qui présentent les étapes élémentaires conduisant au bleu égyptien.

Enfin, afin d'illustrer le début de ce cours, nous visitons le Musée d'Archéologie Méditerranéenne de Marseille, en questionnant la place de la couleur bleue dans la civilisation égyptienne. Le semestre se conclut par la découverte des œuvres d'Yves Klein exposées au Musée d'art moderne et d'art contemporain de Nice, en interrogeant tout particulièrement le choix monochromatique de l'artiste.

Pourquoi associer, comme nous le faisons ici, chimie et peinture ? Nous estimons que l'intérêt de la synthèse des pigments bleus ne peut être pleinement compris sans connaître les raisons réelles qui furent à l'origine de la recherche de cette synthèse. En d'autres termes, pour comprendre pleinement la chimie de la synthèse, il faut convoquer des savoirs extérieurs à la chimie proprement dite, à commencer par son histoire. Cet exemple n'est qu'une illustration parmi d'autres de notre approche pédagogique. Nous nous séparons ainsi d'une approche très répandue de l'enseignement scientifique où l'on se limite à présenter et à justifier l'état actuel de la science. Nous préférons montrer aux étudiants que le domaine d'une science est toujours ouvert et passible de reconfigurations importantes. Des étudiants capables de s'interroger sur la définition du territoire occupé par la chimie au cours de son histoire seront ainsi à même de saisir ce qu'est *l'esprit scientifique*. Le propre de ce dernier est de porter un regard critique sur l'état

de sa discipline, et donc, de ne pas l'accepter dogmatiquement comme un corps de connaissances inébranlables. De sorte qu'en nous tournant vers l'histoire de la chimie, ce n'est pas sur son passé que nous voulons attirer l'attention des étudiants, mais plutôt sur ce que pourrait être son futur.

Conclusion

Il nous faut souligner que cette démarche n'a rien de novatrice : elle était la norme au début du XX^e siècle. Tous les grands savants de cette période, décisive pour le développement de la science contemporaine, connaissaient l'histoire de leurs disciplines et intégraient des éléments de cette histoire dans leurs enseignements et dans l'exposé de leurs recherches. Berthelot, lorsqu'il publiait ses ouvrages sur l'alchimie de l'Antiquité et du Moyen Âge ou sur Lavoisier, pouvait paraître ne satisfaire qu'une simple curiosité intellectuelle. Cependant, il accompagnait ainsi les interrogations soulevées par la naissance de la thermodynamique en mettant la notion philosophique de *substance* au premier plan de la réflexion scientifique. Ce thème sera d'ailleurs l'objet d'une série de cours dans le cadre de l'unité d'enseignement « Systèmes du Monde » de la licence Sciences et Humanités.

Références

- [1] <http://licencesh.hypotheses.org/1>
- [2] Morin E., *Science avec conscience*, Seuil, 1982.
- [3] Pastoureaux M., *Bleu. Histoire d'une couleur*, Seuil, 2002.
- [4] Delamare F., *Bleus en poudre*, Ecole des Mines de Paris, 2007.
- [5] Voir par exemple les documents produits par M. Baxendall, *L'œil du quattrocento*, Gallimard, 1985.
- [6] Charnay Y., de Givry H., *Comment regarder... les couleurs dans la peinture*, Hazan, 2011.
- [7] Van Gogh V., *Lettres à son frère Théo*, Grasset, 2002.
- [8] Onorati ni G., Conrad G., Michaud L., *C.R. Acad. Sci.*, 1987, 12, p. 651.
- [9] Houart M., Warzée N., Wouters J., Reniers F., Romainville M., La communication pédagogique en cours magistral de chimie : peut-on améliorer son efficacité ?, *L'Act. Chim.*, 2010, 341, p. 29.



F. Boulc'h



M. Andrieux



O. Morizot



E. Audureau



M. Anglade



G. Hagel

Florence Boulc'h (*auteur correspondant*) est maître de conférences (chimiste), **Maryon Andrieux**, artiste plasticienne, **Olivier Morizot**, maître de conférences (physicien), **Éric Audureau**, chargé de recherche (épistémologue), **Marie Anglade**, ATER (historienne des mathématiques) et **Gaëtan Hagel**, maître de conférences (physicien), à l'Université d'Aix-Marseille*.

* Université d'Aix-Marseille, 3 place Victor Hugo, F-13331 Marseille Cedex 3. Courriels : Florence.Boulch@univ-amu.fr ; maryon.andrieux@wanadoo.fr ; Olivier.Morizot@univ-amu.fr ; Eric.Audureau@univ-amu.fr ; anglade_marie@orange.fr ; Gaetan.Hagel@univ-amu.fr

Introduction du « référentiel de compétences comportementales » d'Axelera dans une formation en apprentissage

Jérôme Randon et Jean-Louis Lefevre

Résumé	Cet article est une restitution courte des éléments de la présentation réalisée au cours des JIREC 2012. Il reprend l'historique de la création du référentiel de compétences comportementales élaboré par le pôle de compétitivité Axelera, une présentation succincte de son contenu, les modalités d'utilisation au sein d'une formation en alternance et les remarques principales qui en ont découlées.
Mots-clés	Référentiel, compétences comportementales, formation, professionnalisation, Master, analyse, alternance, JIREC 2012, enseignement.
Abstract	Introduction of the "Axelera reference document of behavioral competencies" in apprenticeship training This article gives a short account of the elements presented during the JIREC 2012. It recalls the creation of the reference document of behavioral skills elaborated by the French competitiveness cluster Axelera, presents its contents, the terms of use for sandwich courses and the issuing main points.
Keywords	Reference document, behavioral competencies, formation, Master, analysis, apprenticeship, JIREC 2012, chemical education.

Vers un référentiel de compétences comportementales

Conjointement à leurs missions fondamentales de développement et de transmission des connaissances, les universités sont de plus en plus mobilisées autour d'objectifs de professionnalisation des étudiants. Elles sont ainsi amenées à modifier les cursus de formations pour faciliter l'accès à l'emploi. Leur stratégie est généralement basée sur un recensement des métiers existant dans les entreprises du secteur visé, suivi d'une identification des savoirs et des compétences attendues pour ces métiers, pour aboutir à la définition du curriculum. Dès le début des années 2000, un tel travail avait été réalisé par l'Université Claude Bernard Lyon 1 dans le domaine spécifique de l'analyse physico-chimique, conduisant à la création d'une licence professionnelle et d'un master ciblés vers cette famille de métiers. Une démarche de ce type est bien sûr grandement facilitée lorsque les branches professionnelles ont déjà construit des référentiels décrivant les activités et les savoir-faire nécessaires pour chaque métier, et il s'avère que la chimie a beaucoup œuvré dans ce sens au cours des dernières années. L'Observatoire prospectif des métiers, des qualifications et de la diversité des industries chimiques a mis à disposition en 2007 un répertoire des métiers sur lequel les organismes de formation peuvent s'appuyer [1]. De ce fait, les travaux de l'Observatoire ont permis de faire évoluer en 2008 le contenu du Master « Analyse et Contrôle » [2], mais une autre étude plus récente s'est avérée fondamentale dans la démarche d'évolution continue de cette formation.

En 2007, le pôle de compétitivité Axelera « Chimie et Environnement » a constitué un groupe de travail « Formation, Prospectives et Compétences », regroupant l'IFPEN, Rhodia, Térés, Arkema, Véolia, Trédi, le CNRS, l'UIC et les organisations syndicales, pour anticiper les mutations en matière de

compétences au sein des entreprises liées à la chimie et à l'environnement. En 2008, leur étude montrait que même si une rupture technologique était susceptible d'apparaître en raison d'une chimie plus orientée vers la chimie durable, celle-ci ne devrait pas bouleverser fondamentalement les compétences requises par les entreprises telles qu'elles avaient été exprimées en 2007. Dès lors, ce groupe de travail a focalisé sa réflexion sur l'adéquation entre les compétences attendues par les entreprises dans le cadre de leurs différents métiers en début de vie professionnelle, avec celles fournies par les organismes de formation à chaque niveau (bac, bac + 2, + 3, + 5). Si les compétences scientifiques associées à la discipline étaient globalement en accord avec les attentes des entreprises, une interrogation subsistait dans le domaine des compétences comportementales, dans toutes les filières et à tous les niveaux de formation. Constatant l'importance de ces compétences au moment de l'entrée dans la vie active, le groupe de travail s'est donné comme priorité de les recenser dans un document de référence qui sera mis à la disposition :

- des formateurs, pour partager des repères clairs sur lesquels s'appuyer pour développer de nouveaux outils ou des approches pédagogiques innovantes ;
- des étudiants et apprentis, pour identifier les compétences à acquérir et à développer en coresponsabilité avec leurs formateurs ;
- des entreprises, pour échanger entre responsables de ressources humaines, managers et salariés.

Le contenu du référentiel

Au début de l'année 2011, le référentiel « Compétences comportementales » [3] conçu par des professionnels du secteur chimie-environnement, en complément du répertoire des métiers de l'Observatoire prospectif des industries chimiques, a été présenté aux organismes de formation, laissant à chacun

Les vingt-deux compétences regroupées en huit familles de compétences.	
Évoluer avec son environnement professionnel	
Adaptabilité	Savoir être actif face aux changements
Maîtrise de soi	Savoir faire preuve de discernement en toute situation
Progression continue	Savoir évaluer ses forces et ses faiblesses pour se perfectionner
S'ouvrir durablement aux autres	
Communication	Savoir communiquer de façon ouverte et efficace
Relationnel	Savoir entretenir activement des relations interpersonnelles durables
Gestion des conflits	Savoir détecter et résoudre des conflits
Être autonome pour bien agir	
Capacité de raisonnement	Savoir analyser et synthétiser les informations
Prise de décision	Savoir prendre des décisions pertinentes
Partager les enjeux de son entreprise	
Compréhension de l'organisation et du contexte	Savoir intégrer la culture de l'entreprise
Valeur et éthique	Souscrire aux valeurs et à l'éthique de l'entreprise
Inventer un avenir durable et responsable	
Créativité	Savoir imaginer des solutions novatrices intégrant les exigences du développement durable
Initiative	Savoir saisir les opportunités de développement
Agir pour la performance de l'entreprise	
Santé et sécurité	Savoir placer la sécurité des personnes et des biens et le respect de l'environnement en préalable à toute action
Planification organisation	Savoir définir les principales étapes nécessaires à l'atteinte des objectifs
Gestion des ressources	Savoir déterminer, évaluer et optimiser les ressources dans un souci de développement durable
Management des risques entreprises (hors sécurité)	Savoir prendre et gérer les risques
Être moteur pour le développement collectif	
Esprit d'équipe	Savoir participer activement au fonctionnement de l'équipe
Force d'adhésion	Savoir mobiliser pour l'atteinte des objectifs de l'entreprise
Accompagnement du changement	Savoir faciliter le processus de transition vers un développement plus durable
Perfectionnement mutuel	Savoir contribuer au développement professionnel de son équipe
Avoir le sens du service et du résultat	
Satisfaction du client	Savoir prendre en compte de façon permanente les besoins des clients
Orientation résultat	Savoir axer ses efforts sur l'atteinte de résultats liés aux objectifs de l'entreprise

l'initiative quant à la mise en œuvre de pratiques pédagogiques destinées à faire progresser les étudiants dans ce domaine. Ce référentiel apparaît sous la forme d'un panorama des compétences comportementales clés. Il est construit autour de vingt-deux compétences comportementales, regroupées en huit grandes familles (voir *tableau*), et déclinées systématiquement sur trois niveaux d'appropriation, cumulatifs du niveau 1 au niveau 3, permettant une échelle de progression (*figure 1*).

Le référentiel donne des repères sans prétendre à l'exhaustivité ; il montre comment contribuer à la fois au développement durable et à la performance des entreprises, ces deux notions ne pouvant être dissociées pour développer avec succès l'insertion professionnelle des étudiants dans un contexte de forte concurrence internationale. Un tel document se veut être un outil pour faciliter l'entrée des nouveaux diplômés dans la vie active grâce à l'explicitation des attendus des entreprises en termes de compétences comportementales.

Un exemple d'utilisation pédagogique du référentiel

Dans la démarche initiée par Axelera, les auteurs du référentiel ne l'ont pas accompagné de préconisations liées à des situations pédagogiques prédéfinies. Ainsi chaque établissement, chaque formation a pu choisir une stratégie pédagogique et une méthodologie spécifique, en fonction de ses propres objectifs. Au sein du Master « Analyse et Contrôle » de l'Université Claude Bernard Lyon 1, notre choix d'appropriation s'est appuyé sur la pédagogie de l'alternance déployée au

cours des deux années de formation, en ciblant plus particulièrement la deuxième année qui conduit à la délivrance du diplôme et à un positionnement sur le marché de l'emploi. Cette dernière année de formation est structurée en périodes de quatre semaines en entreprise et à l'université qui alternent tout au long du premier semestre, et à une période longue en entreprise au cours du deuxième semestre (*figure 2*).

Le référentiel « Compétences comportementales » élaboré par Axelera a été distribué en début d'année ; les familles de compétences, ainsi que la structure fine du document, ont été découvertes par les étudiants, conduisant à une première explicitation des niveaux associés à chaque compétence. Le groupe classe était à ce stade constitué de 38 étudiants (12 étudiants en formation initiale et 26 apprentis, le terme « étudiant » étant utilisé de façon générale dans cet article). Il a été ultérieurement subdivisé en deux groupes. Une proposition d'usage de l'outil a été débattue et une méthodologie d'exploitation s'est dessinée. À chaque retour d'entreprise, chaque étudiant présente en six minutes à l'ensemble du sous-groupe l'étude de trois fiches associées à trois familles différentes, il réexplique les compétences comportementales analysées et présente son niveau personnel d'appropriation en s'appuyant sur des exemples concrets vécus dans l'entreprise où se déroule l'alternance. Au cours des trois retours d'alternance, chaque étudiant peut dans cette approche ne présenter que neuf fiches, mais il a l'occasion d'aborder l'intégralité des huit familles du référentiel. Il fait un choix de fiche à l'intérieur de chaque famille et effectue son propre positionnement autour de chacune de ces compétences.

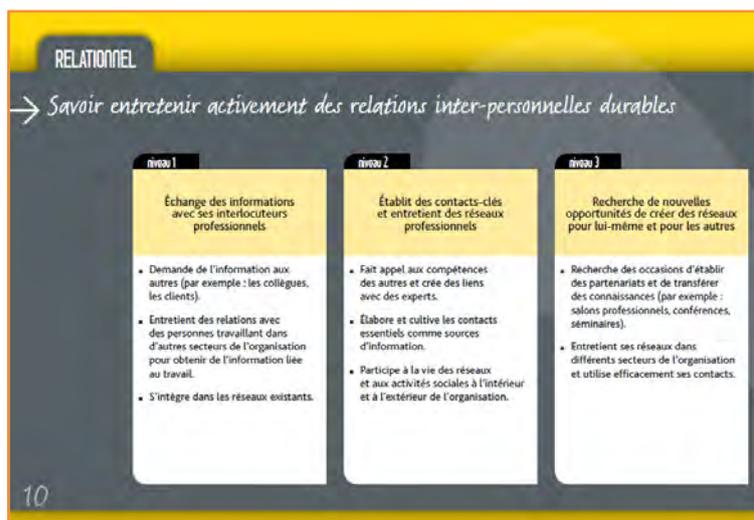


Figure 1 - Exemple de fiche dans la famille « S'ouvrir durablement aux autres » [3].

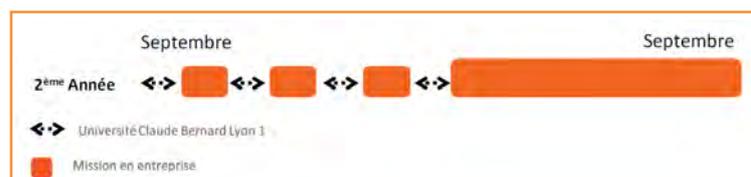


Figure 2 - Rythme pédagogique de la deuxième année de formation du Master « Analyse et Contrôle » de l'Université Claude Bernard Lyon 1.

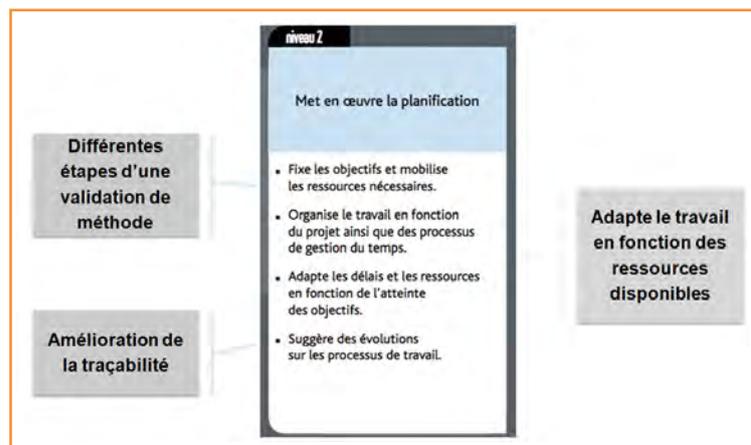


Figure 3 - Exemple de positionnement sur la fiche « Planification et organisation : savoir définir les principales étapes nécessaires à l'atteinte des objectifs » dans le cadre de la validation d'une méthode analytique, illustré par la mise en situation professionnelle ([4] auteur : Laurianne Chandellier).

Le bilan de cette expérience

L'expérience pédagogique pour la première année d'application montre que les étudiants s'approprient bien cet outil et l'utilisent comme source argumentaire pour mettre en avant leurs savoir-faire et leurs savoir-être. De nombreux exemples d'utilisation de ce document support ont été présentés aux Journées de l'innovation et de la recherche dans l'éducation en chimie (JIREC) qui se sont déroulées à Toulouse en 2012 sous l'égide de la Société Chimique de France [4]. Ces exemples, comme celui présenté sur la figure 3, peuvent être téléchargés sur le site des JIREC 2012 [5]. Ils sont une illustration des différentes approches développées pour présenter le positionnement des étudiants.

Au cours des présentations, on a pu noter – mais ce n'est pas une surprise – que les étudiants timides ont tendance à sous-estimer leur niveau, et très rares par contre sont ceux qui se positionnent de façon surestimée. On a aussi observé que certains d'entre eux sont allés jusqu'à reformuler des compétences avec des verbes d'action (détecter, anticiper, respecter, partager, valoriser...), à rendre quantitatifs les indicateurs pour faciliter le positionnement par rapport aux différents niveaux, et à envisager des actions ou des formations pour accéder à des niveaux supérieurs. Les étudiants ont choisi de nombreux exemples dans le domaine du développement durable et ont fortement argumenté leur position, même s'ils ont pu regretter un temps de présentation par étudiant trop court. Ils auraient souhaité une rédaction du document plus particulièrement ciblée sur les métiers de la chimie, avec un plus grand nombre d'exemples, mais ils ont en même temps pris conscience de la transversalité du document à de nombreux secteurs industriels.

À l'issue de cette expérience, on peut estimer que l'appropriation de chaque item présenté dans le document est aisée, mais que le document dans sa globalité reste encore difficile à appréhender pour l'étudiant. Toutefois, la grande majorité des étudiants ont considéré le référentiel comme un guide qui va leur permettre de progresser dans leurs futurs métiers. Le référentiel apparaît donc comme un outil très intéressant, de référence, pour un accompagnement sur toute la durée de la vie professionnelle.

Les étudiants ont proposé des pistes d'amélioration pour rendre ce référentiel encore plus accessible. Une nouvelle dynamique est maintenant engagée avec la promotion suivante, en s'attachant à la progression de l'étudiant au sein d'une compétence tout au long de l'année au travers de l'expérience acquise durant les différentes phases d'alternance.

Les compétences comportementales apparaissent actuellement comme une problématique à traiter au sein de toutes les formations, et ces dernières devront nécessairement intégrer, dans leur maquette, des outils nécessaires à leur développement et leur évaluation. La problématique de l'évaluation de ces compétences reste toutefois très ouverte, comme en témoigne le récent rapport commandé par la Direction générale de l'Enseignement scolaire du Ministère de l'Éducation nationale [6].

Références

- [1] www.observatoireindustrieschimiques.com, rubrique « Répertoire des métiers » (consulté le 22/02/2013).
- [2] <http://master-analyse-contrôle.univ-lyon1.fr> (consulté le 22/02/2013).
- [3] www.axelera.org/emploi-environnement/chimie-environnement/competences.html (consulté le 22/02/2013).
- [4] www.lcc-toulouse.fr/jirec2012/IMG/pdf/2012_JIREC_-_presentation_Jerome_Jean-Louis.pdf (consulté le 22/02/2013).
- [5] www.lcc-toulouse.fr/jirec2012
- [6] Gay C., Montarello F., *Les compétences comportementales dans les diplômés professionnels : un savoir évaluable ?*, CPC études, août 2012, n° 2.



J. Randon

Jérôme Randon (auteur correspondant) est professeur à l'Université Claude Bernard Lyon 1, Institut des Sciences Analytiques*.

Jean-Louis Lefevre

est consultant chez SE3 Consulting**.



J.-L. Lefevre

* Université Claude Bernard Lyon 1, Institut des Sciences Analytiques, 43 boulevard du 11 Novembre 1918, F-69622 Villeurbanne Cedex.

Courriel : randon@univ-lyon1.fr

** SE3 Consulting, 12 rue du Buisson, F-69250 Fleurieu-sur-Saône.

Courriel : lefevre.jeanlouis@free.fr

Estimation de l'incertitude de la mesure

Détermination expérimentale du degré d'acidité d'un vinaigre

Christine Ducamp, Isabelle Hallery et Frédéric Marchal

Résumé L'objectif de cet article est de présenter les notions principales à transmettre aux élèves pour aborder la métrologie et plus particulièrement l'estimation de l'incertitude dans le cas de mesures en relation avec les nouveaux programmes de terminale scientifique, mais aussi dans le cadre d'enseignements post-bac (CPGE, BTS, 1^{ère} année de licence...). Un exemple d'application est proposé dans le cas de la détermination du degré d'acidité d'un vinaigre commercial. Les différentes étapes d'identification, de quantification et de calculs des incertitudes relatives aux titrages acido-basiques avec utilisation d'un indicateur coloré de fin de réaction seront développées.

Mots-clés Métrologie, incertitude de mesure, atelier JIREC 2012, enseignement.

Abstract **Estimation of uncertainty of measurements: experimental determination of the degree of acidity of a vinegar**

The objective of this article is to present the main ideas to be transmitted to the students regarding metrology, and more particularly the estimation of uncertainty in the case of measurements in connection with the new programs in the final year of high school in sciences, but also within the framework of post-baccalaureate teachings (CPGE (preparatory classes for entrance to "grandes écoles"), BTS (two-year technical degree), 1st year of license (Bachelor's degree)). One example of the application, the degree of acidity of a commercial vinegar, will be determined. In particular, we will study the various stages of identification, quantification and calculations of the uncertainties relevant to acid-base titrations with use of an indicator of the end of reaction.

Keywords Metrology, uncertainty of measurement, JIREC workshop on 2012, teaching.



Mesurer des grandeurs identifiées est une activité fondamentale dans les laboratoires de recherche scientifique comme dans l'industrie. Mesurer n'est pas simplement rechercher la valeur d'une grandeur, mais c'est aussi lui associer une incertitude afin de pouvoir estimer la qualité de la mesure [1]. Cette exigence de qualité s'impose aux laboratoires comme aux industriels sous la forme de normes à respecter : norme ISO/IEC 17025 pour la réalisation d'essais ou d'étalonnage, normes 9000 pour la fabrication de produits commercialisés.

La métrologie est la science de la mesure. Elle comprend tous les aspects théoriques et pratiques des mesurages [2]. Ses domaines d'application sont multiples dans une société où les échanges commerciaux, les réglementations et les exigences de qualité et de sécurité vont en croissant.

Il est essentiel que nos étudiants intègrent au plus tôt que le résultat d'une mesure n'a de sens que si on évalue sa fiabilité de façon méthodique.

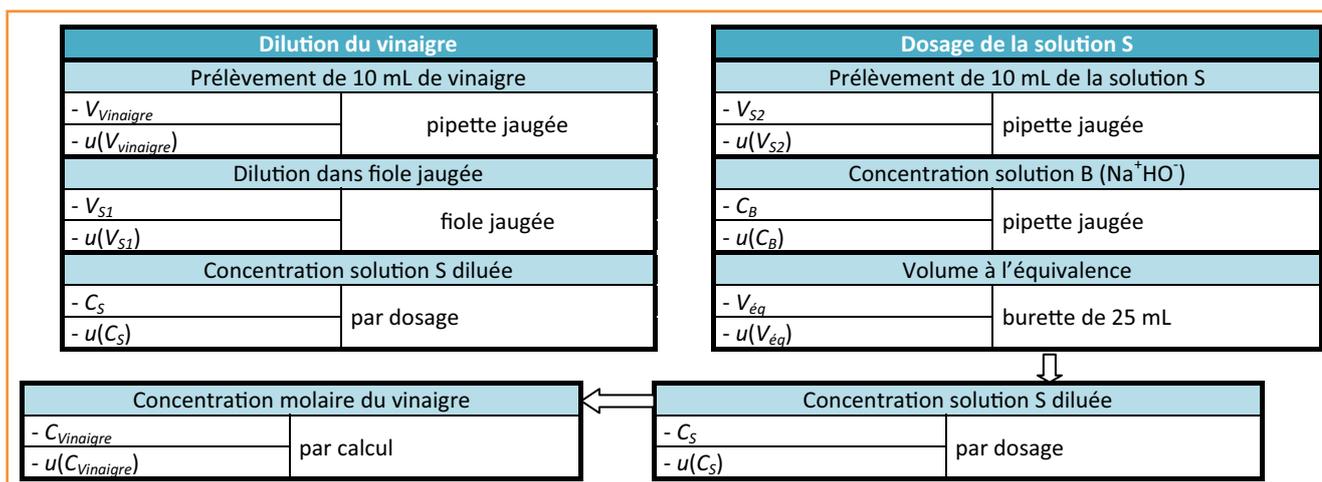
Cet article rend compte de l'atelier « Mesure et incertitude dans l'enseignement » présenté aux JIREC 2012. Le choix de cet atelier a été motivé par l'introduction de ce thème dans les nouveaux programmes du secondaire [3]. Les notions et notations nécessaires à l'estimation de l'incertitude d'une mesure sont reportées dans l'*annexe I*.*

Leur mise en application est présentée ici dans le cadre de la détermination du degré d'acidité d'un vinaigre, activité expérimentale proposée en licence QSE (Qualité, Sécurité, Environnement, ENFA) option laboratoire. Cette activité ne présente aucune difficulté particulière du point de vue chimique puisque les étudiants prennent un vinaigre commercial qu'ils diluent pour ensuite le doser par titrage acidobasique. La partie métrologie de la verrerie, faite en amont de la dilution et du dosage, est fastidieuse et demande beaucoup de rigueur et d'organisation de la part des étudiants.

Protocole

On procède tout d'abord à une dilution au dixième d'un vinaigre blanc (solution S de concentration C_S). Matériel : pipette jaugée de classe A de 10 mL, fiole jaugée de classe A de 100 mL.

La solution S est ensuite dosée par une solution d'hydroxyde de sodium commerciale (solution B) en présence de phénolphaléine.



Vision globale de la manipulation et notations adoptées.

Matériel : pipette jaugée de classe A de 10 mL, burette graduée de classe B de 25 mL.

Produit : solution commerciale d'hydroxyde de sodium à $0,10 \pm 0,01 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

Résultats et exploitation

Pour chaque phase de la manipulation, la détermination de l'incertitude se fait en quatre étapes :

- **Étape 1** : identification du mesurande ;
- **Étape 2** : identification et analyse des sources d'incertitude ;
- **Étape 3** : quantification des composantes des sources d'incertitude ;
- **Étape 4** : calcul de l'incertitude composée.

L'exploitation des résultats est faite à l'aide d'un tableau. Les résultats intermédiaires nécessaires aux calculs d'incertitude sont fournis à titre indicatif pour faciliter la compréhension **mais** ne sont jamais exploités avec les arrondis présentés. En effet, pour limiter le cumul des erreurs, l'arrondissement est effectué sur le résultat final en fonction de la valeur de l'incertitude. Pour les calculs intermédiaires, on gardera donc des chiffres qui peuvent être non significatifs [2].

Détermination de la concentration C_S par dosage

• **Étape 1** : le mesurande est la concentration C_S en acide éthanóïque de la solution diluée.

• **Étape 2** : les sources d'incertitude qui affectent le mesurande sont ici :

- le volume V_{S2} de solution S prélevé (1) ; il est soumis à trois sources majeures d'incertitude : la température (a), l'incertitude donnée par le fabricant (b), la lecture du volume (c) ;
- le volume lu à l'équivalence $V_{\text{éq}}$ (2) : il est soumis principalement à quatre sources d'incertitude : la température (a), l'incertitude donnée par le fabricant (b), la lecture du volume (c), et l'incertitude sur la lecture du point à l'équivalence lors de l'emploi d'un indicateur coloré (d) ;
- la concentration C_B de la solution d'hydroxyde de sodium (3).
- La méthode de détermination des composantes (a), (b) et (c) est décrite dans l'annexe II*.

• **Étape 3** :

(1) **Quantification de l'incertitude sur V_{S2}** (voir annexe II*)

On obtient $V_{S2} = 0,00997 \text{ L}$ et $u(V_{S2}) = 1,57369 \times 10^{-5} \text{ L}$.

L'analyse des contributions relatives de chaque composante montre que l'influence de la température peut être négligée.

(2) **Quantification de l'incertitude sur $V_{\text{éq}}$**
Incertitude sur la lecture du point à l'équivalence lors de l'emploi d'un indicateur coloré (d)

L'emploi d'un indicateur coloré introduit une erreur lors de la détection visuelle du changement de couleur : le changement intervient avec un excès de volume versé (erreur systématique) ; dans le cas de la phénolphthaléine, des études comparatives entre dosage colorimétrique et dosage pH-métrique ont montré que le volume en excès est proche de 0,05 mL, avec une incertitude à la détection visuelle de 0,03 mL [2].

Après un premier dosage rapide, un dosage précis a conduit à la valeur $V_{\text{éq}} = 13,4 \text{ mL}$. On prendra donc $V_{\text{éq}} = 13,35 \text{ mL}$ avec $u(\text{détection}) = 0,03 \text{ mL}$.

Bilan des incertitudes sur le volume à l'équivalence

L'incertitude-type sur le volume lu est donc :

$$u(V_{\text{éq}}) = \sqrt{\Sigma(u^2)} = 6,28951 \times 10^{-5} \text{ L (voir tableau I)}.$$

La composante prépondérante de l'incertitude est ici la composante (b). L'incertitude liée à la température est négligeable.

(3) **Quantification de l'incertitude sur C_B**

Le fournisseur donne $C_B = (0,10 \pm 0,01) \text{ mol/L}$. On suppose la distribution statistique triangulaire.

L'incertitude-type sur la concentration de la solution B est $u(C_B) = 4,08248 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ (voir tableau II).

• **Étape 4** :

La concentration C_S est donnée par la relation :

$$C_S = \frac{C_B \times C_{\text{éq}}}{V_{S2}}$$

D'après la loi de propagation des incertitudes, on a :

$$\frac{u(C_S)}{C_S} = \left(\sqrt{\left(\frac{u(C_B)}{C_B}\right)^2 + \left(\frac{u(V_{\text{éq}})}{V_{\text{éq}}}\right)^2 + \left(\frac{u(V_{S2})}{V_{S2}}\right)^2} \right)$$

L'incertitude-type sur la concentration de S est (voir récapitulatif dans le tableau III) :

$$u(C_S) = C_S \times \sqrt{\Sigma\left(\frac{u(x)}{x}\right)^2} = 0,13390171 \times 4,11261 \times 10^{-2} \\ = 5,50685 \times 10^{-3} \text{ mol/L}.$$

La composante prépondérante de l'incertitude est ici l'incertitude sur C_B .

Tableau I

volume équivalent lu $V_{\text{éq}} = 0,001335 \text{ L}$

		distribution	valeur x	formule $u(x)$	$u(x)$	$u(x)^2$
température (a)	$2,1 \times 10^{-4} \times \Delta T \times V_{\text{éq}}$	rectangulaire	$7,31640 \times 10^{-6}$	$\frac{x}{\sqrt{3}}$	$4,20836 \times 10^{-6}$	$1,77103 \times 10^{-11}$
fabricant (b)	$\text{EMT} = 0,5 \% \times V_{\text{total}}$	triangulaire	$1,25000 \times 10^{-4}$	$\frac{x}{\sqrt{6}}$	$5,10310 \times 10^{-5}$	$2,60417 \times 10^{-9}$
répétabilité-ajustage (c)	Résultat d'étalonnage	normale			$2,08305 \times 10^{-5}$	$4,33911 \times 10^{-10}$
détection visuelle (d)		normale			0,00003	9×10^{-10}
Variance composée $\Sigma(u^2)$						$3,95579 \times 10^{-9}$

Tableau II

concentration de B $C_B = 0,10 \text{ mol/L}$

		distribution	valeur x	formule $u(x)$	$u(x)$
fabricant	$0,10 \pm 0,01$	triangulaire	$1,00 \times 10^{-2}$	$\frac{x}{\sqrt{6}}$	$4,08248 \times 10^{-3}$

Tableau III

	description	valeur x	$u(x)$	$\frac{u(x)}{x}$	$\left(\frac{u(x)}{x}\right)^2$
C_B (mol/L)	concentration solution B	0,1	$4,08248 \times 10^{-3}$	$4,08248 \times 10^{-2}$	$1,66667 \times 10^{-3}$
$V_{\text{éq}}$ (L)	volume versé	0,01335	$6,28951 \times 10^{-5}$	$4,71124 \times 10^{-3}$	$2,21958 \times 10^{-5}$
V_{S2} (L)	volume prélevé solution S	0,00997	$1,57369 \times 10^{-5}$	$1,57842 \times 10^{-3}$	$2,49142 \times 10^{-6}$
Variance composée $\Sigma\left(\frac{u(x)}{x}\right)^2$					$1,69135 \times 10^{-3}$

Détermination de la concentration C_{vinaigre}

• **Étape 1 :** le mesurande dans cette partie est la concentration C_{vinaigre} du vinaigre.

• **Étape 2 :** les sources d'incertitude qui affectent les mesurandes sont :

- le volume prélevé du vinaigre V_{vinaigre} (1) ; il est soumis principalement à trois sources majeures d'incertitude : la température (a), l'incertitude donnée par le fabricant (b) et la lecture du volume (c) ;

- le volume final V_{S1} de la solution S (2) ; il est soumis principalement à trois sources d'incertitude : la température (a), l'incertitude donnée par le fabricant (b) et la lecture du volume (c) ;

- la concentration de la solution S (3).

• **Étape 3 :**

(1) Quantification de l'incertitude sur V_{vinaigre}

On utilise la même pipette jaugée que pour la détermination de la concentration C_S par dosage (voir précédemment) :

$$V_{\text{vinaigre}} = 0,00997 \text{ L et } u(V_{\text{vinaigre}}) = 1,57369 \times 10^{-5} \text{ L}$$

(2) Quantification de l'incertitude sur V_{S1}

On obtient $V_{S1} = 0,10034 \text{ L et } u(V_{S1}) = u(V_{S1}) = 1,08174 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$.

(3) Quantification de l'incertitude sur C_S

Voir précédemment :

$$C_S = 0,13390171 \text{ mol/L et } u(C_S) = 5,50685 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

• **Étape 4 :**

La concentration C_{vinaigre} est donnée par la relation :

$$C_{\text{vinaigre}} = \frac{C_S \times V_{S1}}{V_{\text{vinaigre}}}$$

D'après la loi de propagation des incertitudes, on a :

$$\frac{u(C_{\text{vinaigre}})}{C_{\text{vinaigre}}} = \left(\sqrt{\left(\frac{u(C_S)}{C_S}\right)^2 + \left(\frac{u(V_{S1})}{V_{S1}}\right)^2 + \left(\frac{u(V_{\text{vinaigre}})}{V_{\text{vinaigre}}}\right)^2} \right)$$

L'incertitude-type sur la concentration du vinaigre est (voir récapitulatif dans le tableau IV) :

$$u(C_{\text{vinaigre}}) = C_{\text{vinaigre}} \times \sqrt{\Sigma\left(\frac{u(x)}{x}\right)^2}$$

$$= 1,34761255 \times 4,11705 \times 10^{-2} = 5,54818 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$$

La composante prépondérante de l'incertitude provient de l'incertitude sur la concentration C_S .

Calcul du degré d'acidité D du vinaigre

Le degré d'acidité d'un vinaigre est la masse d'acide éthanoïque en g contenu dans 100 g de vinaigre.

	description	valeur x	$u(x)$	$\frac{u(x)}{x}$	$\left(\frac{u(x)}{x}\right)^2$
C_S (mol/L)	concentration solution S	0,13390171	$5,50685 \times 10^{-3}$	$4,11261 \times 10^{-2}$	$1,69135 \times 10^{-3}$
V_{vinaigre} (L)	volume prélevé de vinaigre	0,00997	$1,57369 \times 10^{-5}$	$1,57842 \times 10^{-3}$	$2,49142 \times 10^{-6}$
V_{S1} (L)	volume de la solution S	0,10034	$1,08174 \times 10^{-4}$	$1,07807 \times 10^{-3}$	$1,16224 \times 10^{-6}$
Variance composée $\Sigma\left(\frac{u(x)}{x}\right)^2$					$1,69501 \times 10^{-3}$

	description	valeur x	$u(x)$	$\frac{u(x)}{x}$	$\left(\frac{u(x)}{x}\right)^2$
M (g/mol)	masse molaire acide éthanoïque	60,05196	$9,87404 \times 10^{-4}$	$1,64425 \times 10^{-5}$	$2,70356 \times 10^{-10}$
C_{vinaigre} (mol/L)	concentration molaire du vinaigre	1,34761255	$5,54818 \times 10^{-2}$	$4,11705 \times 10^{-2}$	$1,69501 \times 10^{-3}$
Variance composée $\Sigma\left(\frac{u(x)}{x}\right)^2$					$1,69501 \times 10^{-3}$

La masse volumique du vinaigre est de 1 020 g/L (on néglige ici l'incertitude sur cette masse volumique car nous n'avons aucune indication).

Le degré d'acidité est donc donné par la relation :

$$D = \frac{C_{\text{vinaigre}} \times M}{1020} \times 100, \text{ où } M \text{ est la masse molaire de } \text{CH}_3\text{COOH} \text{ en g/mol.}$$

D'après la loi de propagation des incertitudes, on a :

$$\frac{u(D)}{D} = \sqrt{\left(\frac{u(C_{\text{vinaigre}})}{C_{\text{vinaigre}}}\right)^2 + \left(\frac{u(M)}{M}\right)^2}$$

L'évaluation de l'incertitude sur la masse molaire M est écrite dans l'annexe III* et les valeurs de masses atomiques sont données par l'IUPAC [4] avec une distribution rectangulaire pour le calcul de l'incertitude.

Le tableau V récapitule les valeurs et incertitudes pour la détermination du degré d'acidité du vinaigre.

L'incertitude-type sur le degré du vinaigre est déterminée par :

$$u(D) = D \times \sqrt{\Sigma\left(\frac{u(x)}{x}\right)^2} = 4,11705 \times 10^{-2} \times 7,93399752 \\ \times 4,11705 \times 10^{-2} = 3,26646 \times 10^{-1}$$

La composante de l'incertitude liée à l'incertitude sur la masse molaire de l'acide acétique est négligeable.

Le résultat final est donc : $D = (7,93 \pm k u(D)) = (7,93 \pm 0,66)^\circ$, avec $k = 2$ pour un niveau de confiance de 95 %.

Conclusion

La prise en compte et la quantification de toutes les composantes de l'incertitude liées à ce dosage ont permis de repérer les composantes négligeables : l'incertitude liée à une masse molaire peut être négligée dès lors que sa valeur numérique est donnée avec suffisamment de chiffres significatifs ; l'incertitude liée à la température peut être négligée tant que ΔT reste faible.

Le degré d'acidité du vinaigre blanc dosé est $D = (7,93 \pm 0,66)^\circ$ avec $k = 2$. Pour être commercialisé, la législation française impose que D soit supérieur à 6° [5]. L'intervalle d'incertitude obtenu est $[7,27 ; 8,59]$ avec un

niveau de confiance de 95 %. On peut donc déclarer que ce vinaigre est commercialisable.

Note et références

- * Les annexes sont téléchargeables librement à partir de la page liée à cet article sur le site www.lactualitechimique.org.
- [1] http://eduscol.education.fr/ressources_physique-chimie_lycee (rubrique « Nombres, mesures et incertitudes »), consulté le 10/02/2013.
- [2] Guide ERACHEM/CITAC : *Quantifier l'incertitude dans les mesures analytiques*, www.lne.fr/publications/eurachem_guide_incertainite_fr.pdf, consulté le 10/02/2013.
- [3] *Programme de l'enseignement spécifique et de spécialité de physique-chimie. Classe terminale de la série scientifique, 2011, Bulletin officiel spécial, 8*, http://cache.media.education.gouv.fr/file/special_8_men/99/0/physique_chimie_S_195990.pdf, consulté le 10/02/2013.
- [4] Wieser M.E., Coplen T.B., Atomic weights of the elements 2009, *Pure Appl. Chem.*, **2011**, 83, p. 359.
- [5] Décret n° 88-1207 du 30 décembre 1988 portant application de la loi du 1^{er} août 1905 modifiée sur les fraudes et falsifications en matière de produits ou de services en ce qui concerne les vinaigres, *Journal Officiel*, 31 décembre 1988.



C. Ducamp



I. Hallery



F. Marchal

Christine Ducamp

est maître de conférences chimie et didactique de la chimie à l'Université de Toulouse*.

Isabelle Hallery

est professeur agrégé de chimie à l'Université Toulouse 3**.

Frédéric Marchal

est maître de conférences au Laboratoire PLAsma et Conversion d'Énergie***

* UMR CNRS 5174 « Évolution et Diversité Biologique », Université de Toulouse - ENFA, 2 route de Narbonne, BP 22687, F-31326 Castanet Tolosan Cedex. Courriel : christine.ducamp@educagri.fr

** 118 route de Narbonne, F-31062 Toulouse Cedex 9. Courriel : isabelle.hallery@univ-tlse3.fr

*** UMR 50213 Laboratoire PLAsma et Conversion d'Énergie (LAPLACE), 118 route de Narbonne, F-31062 Toulouse Cedex 9. Courriel : marchal@laplace.univ-tlse.fr

Les ChaDoCs

Une association qui s'inscrit dans la mission de diffusion du savoir du Collège de France

Alexane Roupioz

Les Shadoks vous connaissez, mais connaissez-vous les ChaDoCs ?

Fondée en 2008, l'association des **Chercheurs associés et Doctorants du Collège de France (ChaDoC*)** regroupe les maîtres de conférences associés et les ATER du Collège de France, ainsi que les doctorants et post-doctorants travaillant sur l'un des trois sites parisiens de l'établissement. Ce projet est né d'une volonté de créer un réseau entre chercheurs et doctorants venant d'univers différents. L'interdisciplinarité du Collège de France permet la rencontre entre de jeunes chercheurs qui ne sont pas amenés à travailler ensemble professionnellement. « *Mais nous avons des choses à partager par ailleurs* » explique Thomas Fontecave, président de l'association. Les ChaDoCs répondent à ce désir de partage qui s'est retrouvé notamment dans l'organisation de la première Fête de la science au Collège de France.

L'association s'appuie sur le regroupement de plusieurs établissements prestigieux du centre de Paris : École Normale Supérieure, Collège de France, ESPCI ParisTech, Chimie Paris-Tech, Observatoire de Paris, Université Paris-Dauphine et Institut Curie. Cette entité pluridisciplinaire, l'Université Paris Sciences et Lettres (PSL), a pour vocation de relever les nouveaux défis imposés aujourd'hui par le monde de l'enseignement supérieur et de la recherche. Membre des structures universitaires internationales les plus prestigieuses, PSL fait bénéficier les actions des ChaDoCs de sa renommée. L'association organise un gala de fin d'année et d'autres événements ponctuels, mais la majorité du budget fourni par l'association Hugot et le Collège de France va à la Fête de la science.

Les actions des ChaDoCs

« Faites de la Science »

Les ChaDoCs ont participé à plusieurs reprises à la Fête de la science organisée par le LCMCP (Laboratoire de Chimie de la Matière Condensée de Paris) au Collège de France, où ils animaient une quinzaine de stands. Cette manifestation se déroule sur trois jours : les deux premiers sont destinés à des classes de collèges d'Aubervilliers et le troisième est réservé au personnel du Collège et à leur famille. Les chimistes présentent des expériences et des animations visuelles qui permettent d'attirer l'attention de tout le public. Certains stands sont basés sur la chimie que les ChaDoCs pratiquent eux-mêmes au Collège de France. « Sol-gel » et « Jardins minéraux » sont deux stands inspirés par les travaux du LCMCP. Pour les autres, l'idée part souvent d'une expérience connue et déjà réalisée, et suffisamment pédagogique et attractive pour mériter sa mise en œuvre dans une présentation parfois plus générale.

Pour la première fois en 2013, la Fête de la science est devenue pluridisciplinaire, avec la présence de stands littéraires et biologiques. Citons notamment les stands « L'écriture, toute une aventure », « Mots et dictionnaires » ou encore « Neurones ».



© ChaDoc.

Jardins minéraux réalisés grâce à la méthode sol-gel.



© ChaDoc.

Stand littéraire : en 2013, la Fête de la science est devenue pluridisciplinaire.

Les ChaDoCs espèrent que cette évolution essentielle se poursuivra dans les années à venir.

Village de la chimie

En 2013, l'association a participé pour la première fois au Village de la chimie**. Créé en 2004, cet événement a pour objectif de promouvoir la chimie, ses métiers et ses compétences professionnelles auprès des jeunes, de leurs parents, des établissements d'enseignement. Les ChaDoCs y ont présenté quatre de leurs stands. L'occasion pour eux de parler de leur parcours professionnel à de jeunes étudiants ou de donner quelques idées à des enseignants qui ont parfois du mal à intéresser leurs élèves et qui trouvent les expériences proposées très amusantes et instructives. Pour les membres de l'association, c'est également

le moment idéal pour nouer des contacts professionnels. Pour cette occasion, l'association a financé l'achat de pulls arborant leur nom et les inscriptions « ChaDoC » et « Collège de France ».

Journée pluridisciplinaire

À l'origine limitée au Collège de France, la Journée pluridisciplinaire, qui aura lieu le 31 mai prochain, est étendue cette année à tout Paris Sciences et Lettres. Au cours de cet événement, les étudiants des différents établissements de PSL se retrouvent pour une journée de conférences aussi bien littéraires que scientifiques. Les intervenants s'adressent à un public proche de leur âge, chacun sur sa propre discipline. La médiation est importante afin d'adapter le discours au public non spécialisé.

« Docet Omnia », la vocation à tout enseigner

Fondé en 1530, le Collège de France est une institution singulière qui s'adapte en permanence à l'évolution des sciences et demeure un pôle d'animation de la communauté scientifique. Comme le traduit sa devise, il a pour objectif d'« **enseigner la science en train de se faire** ». Les cours sont ouverts à tout le monde et aucun diplôme n'est requis pour y assister. La participation aux enseignements ne débouche sur aucun diplôme. Pour les professeurs, choisis pour la qualité de leurs travaux et leur contribution à leur discipline, le défi consiste à enseigner à des publics très divers et à savoir être très attractifs pour perpétuer le renom de l'établissement : une double obligation pas facile à gérer, même pour de grands savants.

dit lui-même : « Pour les idées, il y a beaucoup de stands et de manipulations qui sont issus de cours que j'ai donnés au Collège. » En 2013, il a également permis aux ChaDoCs de participer pour la première fois au Village de la chimie. Guillaume Sraiki, trésorier de l'association, nous raconte : « Jacques Livage a été invité au Village de la chimie pour donner une conférence. Quand ils sont venus l'inviter, il leur a conseillé de venir nous voir pendant la Fête de la science que l'on organisait au Collège. Il sait que généralement, nos stands sont assez sympathiques. Ils ont vu nos stands, ils ont vraiment aimé, donc ils nous ont proposé de venir faire quelques animations lors du Village de la chimie. »

Sa vocation, Jacques Livage l'a transmise à Clément Sanchez, ancien thésard du professeur. Aujourd'hui titulaire de la chaire « Chimie des matériaux hybrides », Clément Sanchez soutient l'action des ChaDoCs et encourage leurs actions de médiation scientifique au quotidien.

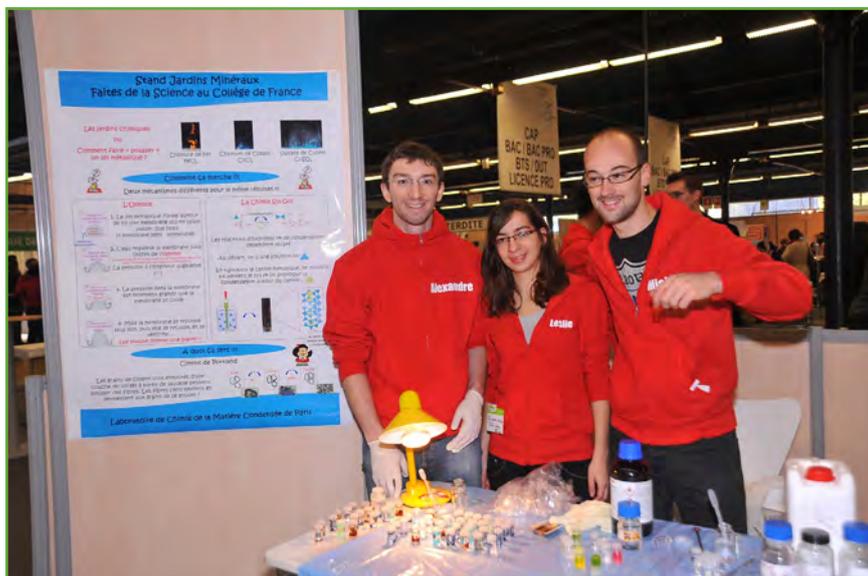
La médiation, une expérience enrichissante

La collaboration avec la mairie d'Aubervilliers (banlieue située au nord de Paris) dans le cadre de la Fête de la science permet un échange aussi intéressant que fructueux entre le Collège de France et cette commune plutôt industrielle. Dans le cadre de ce partenariat, des professeurs du Collège vont y faire des conférences. Deux jours par an, ce sont les collégiens d'Aubervilliers qui se déplacent au Collège de France et prennent part aux stands présentés par les ChaDoCs. « Entre les thésards du Collège et les collégiens d'Aubervilliers, il y a vraiment un contact super », nous confie Jacques Livage.

Les ChaDoCs ont le soutien de leurs supérieurs et du Collège de France qui sont très favorables à de telles actions. La participation des thésards aux actions de médiation scientifique est une initiative personnelle et répond au besoin qu'ils ressentent de vivre leur passion pour la recherche avec le monde qui les environne. C'est à la fois une occasion de vivre entre eux des moments stimulants, mais également un moyen de faire partager leur enthousiasme, la beauté et l'importance de la chimie, à des plus jeunes. « Voir dans le regard de quelqu'un qu'il y a une illumination, c'est toujours très valorisant » explique Guillaume Sraiki.

Recherche et médiation scientifique ne sont pas incompatibles, les ChaDoCs en sont la preuve. Leur démarche serait-elle un exemple à suivre afin de redorer l'image de la chimie et des sciences en général ?

*ChaDoC, 11 place Marcelin Berthelot, 75005 Paris, <http://chadoc-cdf.fr>
**www.villagedelachimie.org



Les ChaDoCs ont participé pour la première fois au Village de la chimie en 2013.

Cette ambition de médiation scientifique se retrouve chez les ChaDoCs. Ils ont la chance de pouvoir compter sur le soutien de Jacques Livage, professeur honoraire au Collège de France. Après dix années de journalisme scientifique, il a décidé de se consacrer à nouveau à la recherche. Quand on lui demande pourquoi une telle implication dans ce type de projets, il répond : « L'explication évidente, c'est que c'est un peu le retour au début de ma carrière. C'est dans mon âme et ça me paraît très important. »

Besoin d'idées ou de contacts ? Jacques Livage est toujours là pour soutenir les actions de l'association. Comme il le



Alexane Roupioz

est diplômée du Master de sciences physiques et chimiques fondamentales de l'Université Paul Sabatier à Toulouse, journaliste stagiaire à *L'Actualité Chimique*.

Courriel : alexane.roupioz@gmail.com

Dernière minute

Un nouveau directeur pour l'Institut de chimie du CNRS

Dominique Massiot, qui dirigeait jusqu'à présent le laboratoire de recherche Conditions Extrêmes et Matériaux : Haute Température et Irradiation du CNRS à Orléans, succède à Régis Réau, appelé à d'autres fonctions. Nous y reviendrons dans le prochain numéro.

Nominations, distinctions

Gérard Férey : Alan Davison Award Lecture

Gérard Férey, membre de l'Académie des sciences et ex vice-président de la SCF, a reçu le 17 avril dernier à Cambridge (MA, États-Unis) la prestigieuse Alan Davison* Award Lecture du Massachusetts Institute of Technology pour ses travaux pionniers sur la compréhension et les applications sociétales des solides poreux hybrides (appelés aussi « metal-organic frameworks » ou MOF), en particulier dans les domaines de l'environnement et de la santé. Cette récompense était assortie de deux conférences, la première correspondant à une présentation générale du domaine, des mécanismes de synthèse jusqu'à la production industrielle en vue d'applications multiples, et la seconde sur l'utilisation de ces produits (MIL pour « matériaux de l'Institut Lavoisier ») comme nanovecteurs pour l'encapsulation et la redistribution dans l'organisme de médicaments antitumoraux et antirétroviraux contre différentes sortes de cancer et le SIDA. Gérard Férey est le premier non-Américain à être lauréat de ce prix.

*Après des études et une thèse à l'Imperial College de Londres sous la direction de George Wilkinson (prix Nobel de chimie en 1973), Alan Davison a migré aux États-Unis, où il est maintenant professeur émérite au MIT. Il est connu pour ses recherches en chimie radiopharmaceutique.

Un nouveau président pour la Fédération Gay-Lussac



Jacques Mercadier, directeur de l'École Nationale Supérieure en Génie des Technologies Industrielles (ENSGTI), a été élu en mars dernier président

de la Fédération Gay-Lussac (FGL), qui regroupe les dix-neuf écoles d'ingénieurs en chimie et génie chimique françaises.

Il succède à Jean-Marc Le Lann, directeur de l'ENSIACET, président depuis 2011 et arrivé en fin de mandat. Jacques Mercadier, qui dirige l'ENSGTI à Pau depuis 2007, est par ailleurs vice-président du Club des Grandes Écoles de Bordeaux-Aquitaine. Diplômé en 1989 de l'École Nationale Supérieure des Industries Chimiques (ENSIC) de Nancy, docteur de l'Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL) en génie des procédés, habilité à diriger des recherches, c'est un spécialiste des réacteurs chimiques, des fluides supercritiques et de la conversion hydrothermale. Il enseigne à l'ENSGTI et à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour.

Instance de concertation et d'échange d'expériences, la Fédération Gay-Lussac est aussi une structure opérationnelle qui porte plusieurs projets et a réalisé depuis sa création, il y a vingt-cinq ans, des actions remarquables comme la création de classes préparatoires intégrées pour l'ensemble des dix-neuf écoles sur quatre sites en France (Rennes, Lille, Clermont-Ferrand et Strasbourg), la création d'un programme franco-chinois avec l'Université ECUST à Shanghai, qui accueille aujourd'hui une centaine d'élèves, et l'organisation de colloques « Recherche » réunissant les compétences de ses 90 laboratoires, 1 100 doctorants et 250 post-doctorants. Le prochain colloque aura lieu à Paris en décembre 2013 sur le thème de la chimie et la ville de demain.

Le nouveau président souhaite renforcer ces actions autour de :

- la promotion des métiers et les débouchés qu'offre la chimie aux jeunes ;
- la qualité des échanges d'élèves ingénieurs en dernière année en utilisant la complémentarité des formations des écoles ;
- le développement de l'international de façon ciblée ;
- le rapprochement avec les entreprises qui emploient les 1 600 diplômés de la Fédération ;
- la présentation du potentiel d'innovation et de créativité des écoles, toutes membres de la Conférence des grandes écoles (CGE).

• Source : communiqué FGL, 05/04/13. www.19ecolesdechimie.com

« Olivier Kahn International Award »



Appel à candidatures

Le concours pour le 4^e Prix international Olivier Kahn, organisé par l'Institut Européen de

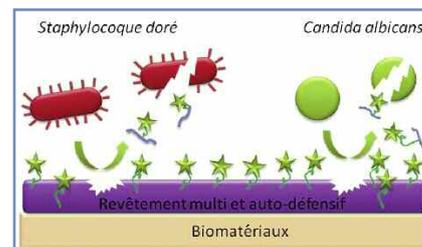
Magnétisme Moléculaire (EIMM) vient d'être lancé. Ce prix, qui porte le nom de notre regretté collègue Olivier Kahn, pionnier en magnétisme moléculaire, est destiné à de jeunes scientifiques talentueux travaillant dans un laboratoire européen en magnétisme moléculaire ou dans des disciplines proches, ayant passé leur thèse depuis moins de dix ans. Doté de 5 000 €, le prix est accompagné d'une médaille de la Monnaie de Paris. Le lauréat sera invité à faire une conférence lors du congrès européen de magnétisme moléculaire qui se tiendra à Karlsruhe du 6 au 10 octobre 2013.

Date limite de dépôt des candidatures : 1^{er} juin 2013.

• Une question ? Michel Verdaguer, secrétaire du concours, se tient à votre disposition : michel.verdaguer@upmc.fr www.eimm.eu

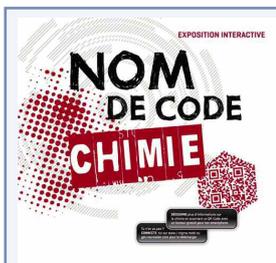
Recherche et développement

Comment prévenir la colonisation d'implants par des pathogènes ?



Revêtements à base de polysaccharides, polymères biocompatibles, permettant d'immobiliser la cateslytine (étoile verte), un peptide à la fois antibactérien et antifongique. Ce revêtement est dégradé par une enzyme, la hyaluronidase, sécrétée par la bactérie *Staphylococcus* doré et la levure *Candida albicans*, pathogènes les plus virulents rencontrés lors des maladies nosocomiales. Le peptide libéré en solution favorise ainsi l'élimination des pathogènes. © Institut Charles Sadron.

Les implants médicaux sont très largement utilisés en chirurgie, lors du remplacement de tissus défectueux ou manquants, pour l'administration de gaz, de médicaments et d'alimentation par l'intermédiaire de cathéters. La prévention de la colonisation de ces implants par des pathogènes (bactéries ou levures) est une préoccupation médicale et économique majeure. En effet, l'infection par des micro-organismes reste une des complications les plus sérieuses après un acte chirurgical ou la mise en place d'un cathéter. Chaque année en Europe, 5 % des patients admis dans les hôpitaux contractent une maladie nosocomiale et 10 % d'entre eux en meurent [1].



Nom de code : Chimie

Une nouvelle exposition à voir à l'Espace des sciences Pierre-Gilles de Gennes (ESPCI ParisTech) : **jusqu'au 28 septembre**, « Nom de code : Chimie » permettra de découvrir les innovations de la chimie à travers les objets du quotidien. Destinée au grand public et en particulier aux adolescents, elle associe une structure d'exposition classique avec l'usage

des nouvelles technologies (QR codes, labo virtuel sur tablettes tactiles...). Santé, électronique, séduction, sport, loisirs et alimentation : l'exposition dévoile et décrypte l'omniprésence de la chimie dans notre quotidien au travers de six tableaux thématiques.

Ateliers scientifiques, soirées événementielles ou encore conférences, plusieurs animations seront proposées au public, en parallèle à l'exposition, afin de croiser investigation expérimentale et réflexion sur les enjeux sociaux, économiques et environnementaux qui accompagnent les avancées scientifiques et technologiques.

Conçue par l'association de culture scientifique toulousaine Science Animation à l'occasion de l'Année internationale de la chimie célébrée en 2011, cette exposition itinérante a été élaborée en collaboration avec des chercheurs, des enseignants et des industriels du secteur.

• www.espgg.org

Certains pathogènes multi-résistants aux antibiotiques conventionnels adhèrent au dispositif implanté et se multiplient jusqu'à former un biofilm à l'origine de maladies associées aux soins. L'immobilisation de molécules antimicrobiennes sur des biomatériaux pourrait être une alternative envisageable pour empêcher la formation de tels biofilms.

Dans ce contexte, des chercheurs de l'Institut Charles Sadron de Strasbourg (CNRS) et de l'IMR Inserm 1121 viennent de mettre au point le premier revêtement biocompatible autodéfensif vis-à-vis à la fois des bactéries et des levures [2]. Ce revêtement, obtenu par la technique couche par couche, est à base de polysaccharides : le chitosan (CHI) et l'acide hyaluronique (HA). Il contient également de la cateslytine (CTL), un peptide endogène antibactérien et antifongique qui a été greffé sur HA (HA-CTL).

La libération des peptides antimicrobiens (CTL) est obtenue par le pathogène lui-même qui produit l'enzyme responsable de la dégradation du revêtement. Il empêche donc la prolifération des bactéries *Staphylococcus aureus* et des levures *Candida albicans* à son contact. Ces pathogènes, parmi les plus communs et virulents responsables des maladies nosocomiales, produisent de la hyaluronidase, une enzyme responsable de la dégradation du film et de la libération de CTL. La libération du CTL antimicrobien favorise ainsi l'élimination des pathogènes. La biocompatibilité de ces films a également été testée vis-à-vis des cellules humaines. Les films de CHI/HA-CTL, sans être cytotoxiques, c'est-à-dire

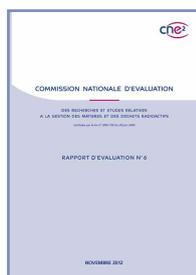
sans nocivité pour les cellules, inhibent l'adhésion des fibroblastes humains (cellules du tissu conjonctif). Ces propriétés permettent d'envisager pour ces revêtements polymères innovants des applications médicales particulièrement efficaces contre le développement d'infections microbiennes lors d'interventions chirurgicales ou après la pose de cathéters intravasculaires.

[1] Guggenbichler J.P., Assadian O., Boeswald M., Kramer A., *GMS Krankenhhyg Interdiszip.*, 2011, 6(1).

[2] Boulmedais F. et coll., Self-defensive biomaterial coating against bacteria and yeasts: polysaccharide multilayer film with embedded antimicrobial peptide, *Adv. Funct. Mater.*, 2013, doi : 10.1002/adfm.201300416.

• Source : CNRS, 16/04/13.

Le 6^e rapport de la CNE : une contribution aux débats publics sur l'énergie



radioactifs. Elle est constituée de douze membres, choisis à partir de propositions de l'Académie des sciences, de l'Académie des sciences morales et politiques et de l'Office parlementaire des choix scientifiques et technologiques (OPECST). Après audition des acteurs du nucléaire, elle établit chaque année un rapport d'évaluation, qui est présenté à l'OPECST et transmis au Parlement et au Gouvernement.

Le rapport est alors rendu public.

Le 6^e rapport de la CNE, disponible en ligne*, expose les réflexions et recommandations de la Commission pour l'année 2012 sur les deux volets structurant la gestion des matières et des déchets radioactifs : la séparation/transmutation et le stockage géologique réversible des déchets.

En liminaire, la Commission rappelle que la question des déchets radioactifs n'est pas séparable de celle des choix faits en matière de réacteurs à l'origine de ces déchets ; le problème des déchets nucléaires est donc un problème de l'ensemble du cycle nucléaire (matières et déchets), et doit être traité comme tel.

De fait, les **recherches sur la séparation et la transmutation** sont réalisées en relation avec les études sur les nouvelles générations de réacteurs (réacteurs à neutrons rapides, RNR, et réacteurs sous-critiques pilotés par accélérateur, ADS). Avant toute chose, le rapport souligne la **maturité des procédés de séparation**, permettant d'envisager raisonnablement des opérations industrielles de transmutation. De nouvelles molécules extractantes ont été créées, résistantes à la radiolyse dans les conditions réelles de mise en œuvre des séparations. Les procédés de séparation eux-mêmes (colonnes, colonnes pulsées...) ont atteint un niveau de maturité incontestable. Le CEA dispose d'un ensemble unique de procédés brevetés, permettant de répondre aux diverses stratégies de séparation des actinides (uranium, plutonium, américium, neptunium, curium) ou de séparation de groupes d'éléments (produits de fission, groupes d'éléments contenant uranium et plutonium et/ou actinides mineurs). Les **études concernant les ADS** et leur potentialité à transmuter les actinides mineurs sont menées dans un cadre européen avec le projet Myrrha, qui vise à construire un ADS, refroidi au plomb, de puissance suffisante pour préparer le passage à un niveau industriel au-delà de 2040. **En ce qui concerne les RNR**, en partenariat avec EDF et Areva, le CEA est l'organisme pilote de la R & D pour concevoir et mettre en œuvre, conformément à la loi du 28 juin 2006, un prototype industriel à l'horizon 2020, appelé Astrid. L'enjeu majeur de ce réacteur est de permettre la combustion, en cycle fermé, du plutonium qu'il produit, réalisant pour la première fois à l'échelle industrielle le multi-recyclage du transuranien majeur produit par la filière électronucléaire. Des innovations significatives, portant notamment sur la

conception du cœur, le refroidissement ou encore l'inspection en service, visent à donner au réacteur prototype un niveau de sûreté au moins équivalent à celui de l'EPR. La recherche sur des matériaux innovants nécessaires à la réalisation d'un réacteur de 4^e génération est un axe majeur de la R & D. Études et recherches pour la sûreté et le développement de matériaux nouveaux intègrent le retour d'expériences de Phénix et Superphénix. **Pour la CNE, la construction d'Astrid, ainsi que la conception du cycle associé (incluant la mise au point de pilotes de retraitement des nouveaux combustibles à haute teneur en plutonium et des études sur la transmutation de l'américium) sont indispensables pour tester la validité industrielle et économique des RNR.**

Les études menées sur le stockage géologique des déchets radioactifs ont conduit à la conclusion que la couche d'argile du Callow-oxfordien située à 500 m de profondeur en Meuse/Haute-Marne possède d'excellentes qualités de confinement. Les études de conception des installations de stockage qui seront implantées en profondeur et les installations et infrastructures de surface associées constituent le projet industriel du stockage, appelé CIGEO. Elles sont assez avancées pour qu'il soit permis d'engager la phase industrielle. À partir de la mi-mai de cette année, un **débat public** sera organisé par la Commission nationale du débat public (CNDP). À l'issue du débat, un rapport de synthèse sera adressé à l'Andra et servira d'aide à la décision pour l'État. La Commission pose de nombreuses questions dans son rapport, relatives notamment aux options de conception du stockage et des installations de surface. Afin de préciser la nature des colis qui seront sélectionnés pour la première phase du stockage, elle a de plus souhaité qu'une étude de sûreté soit réalisée, en particulier sur les colis bitumés. Toutes les réponses devront être fournies avant 2015, date de la demande d'autorisation de création du stockage.

Enfin, la CNE souligne que les principaux organismes français acteurs du nucléaire (Andra, Areva, CEA, CNRS, EDF, IRSN) contribuent à une large part des projets internationaux relatifs à la gestion des déchets et aux nouveaux concepts de réacteurs.

Valérie Cabuil

*www.cne2.fr

Enseignement-formation

29^e Olympiades nationales de la chimie



Les lauréats de ces 29^e ONC. © UIC.

Ambiance toujours aussi sympathique le 12 avril dernier à la Maison de la Chimie, où enseignants, élèves, sponsors et organisateurs s'étaient donné rendez-vous pour la cérémonie de remise des prix des 29^e Olympiades nationales de la chimie (ONC) – « *les olympiades de science les plus anciennes* [1], *mais en constante évolution* ». Le thème cette année, « **la chimie et le sport** », était une bonne occasion de rappeler combien la chimie est présente dans de nombreux domaines et en particulier dans le sport avec des applications très variées : équipements plus légers et sécurisés grâce aux nouveaux matériaux, vêtements qui respirent, gazon synthétique, etc.

L'occasion aussi pour l'Académicien Daniel Mansuy de rappeler la mission de l'Académie des sciences qui « *veille au niveau scientifique de l'enseignement et œuvre pour que les acquis soient intégrés dans la culture de notre temps* » (ONC, La Main à la Pâte). Les jeunes chimistes sont attendus, qui devront relever les défis présents et futurs (nouvelles énergies, matériaux intelligents, diagnostics et nouveaux traitements...). Comme chaque année, les deux premiers lauréats du concours scientifique seront reçus sous la Coupole en octobre prochain.



« *Urtica Dioïca : ça pique... la curiosité* », le projet primé pour « *Parlons Chimie* », a été mené par, de gauche à droite : Raphaëlle Chaud, Manon Cossou et Hélène Guilbert, avec l'aide de Stéphane Ramstein.

Photo : S. Bléneau-Serdell/L'Act. Chim., DR.

L'épreuve de communication pilotée par André Gilles (UdPPC) est baptisée

« **Parlons Chimie** » depuis cette année. Elle est ouverte à des lycéens de première ou terminale mettant en œuvre une action de communication sur un sujet qui s'inscrit dans les problématiques de la chimie actuelle, en lien avec une activité régionale ou un métier de la chimie pour un public défini. Des huit projets présentés la veille devant le jury, c'est celui du lycée Raymond Queneau de Villeneuve d'Ascq, « **Urtica Dioïca : ça pique... la curiosité** », qui a remporté l'épreuve. Les deux lauréates, **Raphaëlle Chaud et Hélène Guilbert**, élèves de 1^{ère} S, ont étudié les propriétés de l'ortie que l'on trouve dans leur région avec l'aide d'une troisième élève, Manon Cossou : après avoir extrait les fibres, elles ont montré leurs propriétés antibactériennes et ont étudié la fixation des métaux lourds (cuivre et plomb), allant jusqu'à proposer une application pour la filtration de l'eau. Avec Stéphane Ramstein (Planète Sciences), elles ont conçu un site Internet qui sera bientôt en ligne. Le second projet primé est celui des élèves du lycée Louis Vincent : « **La chimie c'est épatant de 7 à 77 ans... et plus** ». Une trentaine d'élèves de 1^{ère}, représentés par **Quentin Claudon et Laetitia Martinez**, ont mis au point des manipulations montrant l'aspect « magique » de la chimie et le cycle de l'eau, adaptées d'une part à des élèves de CM1 et d'autre part aux résidents d'une maison de retraite. Ils ont participé à de nombreuses manifestations, arrivant même à y intéresser la presse et la télévision régionales. Une mention particulière du jury a été attribuée au projet soutenu par l'équipe du lycée professionnel Louis Blériot de Marignane (Acad. Aix-Marseille) intitulé « Être beau et bio ».

Au départ du **concours scientifique**, 2 077 élèves de 213 centres, partout en France mais aussi à l'étranger (Nouméa, Ho Chi Minh Ville...)... et 42 finalistes ! Ces derniers se sont retrouvés à Paris pour trois épreuves finales réparties sur deux jours : entretien collectif (polymères), questionnaire écrit (applications des polymères) et manipulation. Cette dernière épreuve a été renouvelée cette année : pour la synthèse du polystyrène demandée, les candidats devaient mettre au point eux-mêmes le mode opératoire en quatre étapes, ce qui a suscité beaucoup plus d'interactions avec les encadrants.

Le **lauréat 2013** est **Antoine Bergeot** (TS, lycée Lakanal de Sceaux, Acad. de Versailles), un jeune homme « *sympathique et serviable* » qui, d'après sa maman, « *ne travaille pas beaucoup mais vite* » ! Nouveauté cette année

Convention de partenariat en faveur des archives ouvertes et de la plateforme mutualisée HAL

Une convention de partenariat en faveur des archives ouvertes et de la plateforme mutualisée HAL (Hyper Articles en Ligne) a été signée le 2 avril 2013 à l'Académie des sciences. Elle s'inscrit dans le cadre de la politique nationale en faveur de l'open access, du partage des résultats de la recherche, de leur diffusion et de leur conservation. Issue des travaux menés au sein de BNS4, cette convention vient actualiser le protocole inter-établissements signé en 2006.

Avec vingt-six établissements signataires* à ce jour, la convention a pour objectif le développement coordonné des archives ouvertes sur la base du développement de la plateforme mutualisée HAL et de son interconnexion avec les archives institutionnelles des établissements partenaires.

Placée sous la responsabilité du Centre pour la communication scientifique (CCSD), l'archive ouverte pluridisciplinaire HAL est destinée au dépôt et à la diffusion d'articles scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, et de thèses, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés. HAL, ce sont 220 000 documents répertoriés, dont 34 000 thèses en libre accès et plus de 2 800 documents déposés chaque mois.

* Source : CNRS, 04/04/13.

<http://hal.archives-ouvertes.fr>

* AMUE, ANDRA, ANR, BNF, BRGM, CDEFI, CEA, CEE, CGE, CIRAD, CNRS, CPU, CSTB, IFPEN, IFREMER, IFSTTAR, INED, INERIS, INRA, INRIA, INSERM, InVS, IRD, IRSN, IRSTEA, Institut Pasteur.

encore : une place lui est d'ores et déjà réservée pour concourir aux Olympiades internationales. **Appoline Louvet** (TS, lycée agricole de Blanquefort, Acad. de Bordeaux) arrive seconde, suivie par **Lucile Vigué** (TS, lycée Pierre de Fermat, Toulouse).

Tous les finalistes ont reçu de nombreux cadeaux de la part des sponsors et organisateurs et 11 500 euros répartis entre élèves et équipes pédagogiques, ainsi qu'un abonnement à *L'Actualité Chimique* (et pour les professeurs des cinq premiers). À noter cette année, une participation importante des jeunes enseignants : la relève est donc assurée !



Le podium de l'épreuve scientifique, de gauche à droite : Appoline Louvet (2^e), Antoine Bergeot (1^{er}) et Lucile Vigué (3^e). © UIC.

Le palmarès de ces Olympiades, véritable passerelle entre le monde de l'enseignement et celui de l'industrie, « révèle encore cette année de nombreux talents riches de promesses pour l'avenir de la science et de l'industrie » a déclaré Philippe Gœbel, président des ONC et président de l'Union des Industries Chimiques (UIC).

Au fait, Morgan Kazmierczak, le lauréat de l'an passé venu ouvrir la cérémonie,

que pense-t-il des ONC avec une année de recul ? « *Elles ont nourri ma passion et ma curiosité !* » a-t-il témoigné ; message très encourageant et motivant pour les quelques 500 enseignants qui se sont engagés bénévolement dans cette belle aventure. Aujourd'hui en terminale S et toujours aussi passionné, Morgan envisage de poursuivre ses études en chimie organique.

Bravo donc aux élèves, aux équipes pédagogiques et aux organisateurs (UIC, Maison de la Chimie) qui œuvrent chaque année pour la bonne réussite de cette cérémonie, et merci aux nombreux sponsors et partenaires (Académie des sciences, Arkema, BASF, Bayer, Belin, CNRS, Dow, Exxon Mobil, FGL, Lanxess, MEN, SCF, Solvay, UdPPC, Universciences...) que nous ne pouvons tous citer ici.

S. Bléneau-Serdel et R. Messal

• Palmarès complet, photos et film retraçant les deux jours d'épreuve :

www.olympiades-chimie.fr/03_deroulement/ceremonie.htm

[1] Bouldjennet L.M., Les Olympiades nationales de la chimie : 20 ans de construction entre l'industrie et l'enseignement de la chimie au lycée, *L'Act. Chim.*, 2004, 273, p. 48 (www.lactualitechimique.org/larevue_article.php?cle=756).

Accueil des étudiants étrangers : de nouvelles perspectives ?

La France, terre d'accueil ? Depuis des décennies, les étudiants étrangers, notamment non communautaires, sont obligés à un parcours du combattant.

L'Assemblée nationale entame un débat sur ce sujet sensible, qui impacte fortement notre compétitivité.

Il leur serait notamment accordé de plein droit des visas valables pour la durée de leurs études, prolongés d'une année supplémentaire pour réussir, s'ils le désirent, une première expérience professionnelle. Les doctorants étrangers bénéficieraient d'un visa permanent leur permettant de poursuivre leurs travaux dans nos laboratoires, sans subir le risque annuel d'un non-renouvellement de leur titre de séjour. Les questions pratiques pourraient être réglées en une seule démarche, au CROUS.

L'objectif est d'attirer les meilleurs étudiants et les meilleurs chercheurs, qui seront, ensuite, les ambassadeurs de la France et renforceront sa politique d'influence, ce que les États-Unis, la Grande-Bretagne, l'Australie et l'Allemagne ont bien compris. C'est particulièrement vrai pour ce qui concerne les pays émergents, comme les pays d'Amérique latine ou d'Asie, d'Inde comme d'Europe centrale. La Chine, par exemple, est un énorme pourvoyeur d'étudiants en formation qui, une fois leurs études terminées, retournent dans leur pays tout en maintenant des contacts privilégiés avec le pays d'accueil.

Mais cet objectif a un coût, pour l'État comme pour les universités. Si les droits d'inscription (en France particulièrement modiques) sont encadrés pour les étudiants européens, il en va différemment pour les étudiants originaires d'autres pays, pour qui les frais d'inscriptions sont libres, et peuvent être de deux à trois fois supérieurs.

Les universités françaises, en difficulté financière, pourraient être tentées de suivre cet exemple, ce que prône notamment la Conférence des grandes écoles. Mais, comme tout excès a ses retours de bâton, la Suède expérimente une chute brutale de l'inscription des étudiants non européens (plus de 50 % entre 2010 et 2011).

Rose Agnès Jacquesy

• Source : AFP, 16/04/13.

Sécurité et environnement

Anses : feuille de route 2013 et rapport sur le BPA

En mars dernier, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation de l'environnement et du travail (Anses) a présenté ses priorités de travail pour l'année, avec deux grands chantiers :

- la qualité de l'air intérieur et extérieur (travaux sur les allergènes ; risques liés aux particules, dont celles issues notamment du trafic routier et des espaces ferroviaires souterrains) ;

- le renforcement des moyens de contrôle et de détection tout au long de la chaîne alimentaire pour caractériser les risques émergents (virus, nouvelles souches de bactéries...) avec le développement en cours d'une centaine de nouvelles méthodes de détection pour le contrôle de la chaîne alimentaire et de l'eau destinées à la consommation humaine. Pour les contaminants chimiques, de nouvelles méthodes permettront de rechercher, dans une même analyse, plus d'une centaine de pesticides et de résidus d'antibiotiques.

Plusieurs rapports sur les travaux en cours seront publiés cette année dont les avis sont très attendus. Parmi eux : l'évaluation des risques liés aux expositions au bisphénol A dans le cadre des travaux menés sur les perturbateurs endocriniens ; les risques liés à l'exposition des travailleurs aux bitumes, aux pesticides ; une évaluation des risques relatifs aux nanomatériaux ; l'antibiorésistance ; la santé des abeilles.

Concernant ses études sur le bisphénol A, l'Anses a rendu publics ses résultats le 9 avril dernier, confirmant la mise en garde de l'agence de septembre 2011. Pour identifier les dangers potentiels du BPA, une revue complète de la littérature scientifique (rapports des organismes internationaux et travaux académiques) a été effectuée jusqu'en juillet 2012. Ces travaux mettent en évidence des risques potentiels pour la santé, confirmant la nécessité de réduire les expositions, tout particulièrement pour la femme enceinte, au regard des risques potentiels pour l'enfant à naître (modification de la structure de la glande mammaire). Concernant les autres types d'effets examinés (effets sur le cerveau et comportement, métabolisme et obésité, effet sur le système reproducteur féminin), le risque apparaît « négligeable ». Les travaux ont pris en compte une estimation des expositions réelles de la population au BPA par voie alimentaire (boîtes de conserves, bonbonnes d'eau...), mais aussi par inhalation (air ambiant) et voie cutanée (tickets de caisse...). La mise en évidence de ces risques potentiels est néanmoins associée à un niveau de confiance qualifié de « modéré » par les experts au regard de l'état actuel des connaissances et des incertitudes. Rappelons que le Parlement avait adopté en décembre 2012 une loi visant à suspendre la fabrication, l'importation, l'exportation

et la mise sur le marché de tout conditionnement à vocation alimentaire contenant du BPA, ce qui devrait significativement conduire à une baisse du niveau d'exposition. En ce qui concerne les 73 substituts connus à ce jour, il conviendra d'en évaluer l'impact dans le temps et de s'assurer de leur innocuité ; l'Agence n'encourage donc pas leur utilisation, faute de données toxicologiques suffisantes.

L'Anses vient par ailleurs de lancer son nouveau site Internet, lui permettant d'assurer sa mission d'information auprès du public et de la communauté scientifique ; y figurent quelques 15 000 documents (avis, rapports, articles, fiches, points d'actualité...).

Roselyne Messal

• Sources : Conférence de presse (09/04/2013) et dossiers de presse.
www.anses.fr

Expertise scientifique et procédures d'alerte

Création d'une Commission nationale de la déontologie et des alertes en matière de santé publique et d'environnement

Le Parlement a définitivement adopté le 3 avril dernier une proposition de loi sur les règles déontologiques devant s'appliquer à l'expertise scientifique et technique ; elle prévoit une procédure d'enregistrement et de suivi des alertes en matière de santé publique et d'environnement, et la protection des lanceurs d'alertes.

Les différents articles de la loi :

- **définissent** la composition et les modalités d'action d'une Commission nationale qui va être créée à cette fin ;
- **modifient** le Code du travail en introduisant un droit d'alerte en matière de santé publique et d'environnement de tout travailleur, directement ou par l'intermédiaire du représentant du personnel au Comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail ;
- **garantissent** la protection des lanceurs d'alerte.

La loi spécifie que « *Toute personne physique ou morale a le droit de rendre publique ou de diffuser de bonne foi une information concernant un fait, une donnée ou une action, dès lors que la méconnaissance de ce fait, de cette donnée ou de cette action lui paraît dangereuse pour la santé ou pour l'environnement. L'information qu'elle rend publique ou diffuse doit s'abstenir de toute imputation diffamatoire ou injurieuse.* »

La Commission nationale de la déontologie et des alertes en matière de santé publique et d'environnement peut être saisie par de nombreux acteurs : un politique, une association, une

organisation syndicale... de même qu'un établissement ou un organisme public ayant une activité d'expertise ou de recherche relevant des secteurs de la santé ou de l'environnement.

La Commission comprend des députés, des sénateurs, des membres du Conseil d'État et de la Cour de cassation, des membres du Conseil économique, social et environnemental, et des personnalités qualifiées au titre de leurs travaux dans les domaines de l'évaluation des risques, de l'éthique ou de la déontologie, du droit du travail, du droit de l'environnement et du droit de la santé publique, ou appartenant à des organismes ou des établissements publics ayant une activité d'expertise ou de recherche et ayant mené des missions d'expertise collective. Un décret en Conseil d'État précise la liste de ces établissements ou organismes, ainsi que les modalités selon lesquelles sont tenus les registres.

Elle identifie les bonnes pratiques en France et à l'étranger et émet des recommandations concernant les dispositifs de dialogue entre les organismes scientifiques et la société civile sur les procédures d'expertise scientifique et les règles de déontologie qui s'y rapportent. Chacun sera soumis à des règles de confidentialité, d'impartialité et d'indépendance dans l'exercice de sa mission.

La personne qui lance, de bonne foi, une alerte bénéficie d'une protection définie dans le texte de loi, qu'il s'agisse notamment de recrutement ou de carrière.

Marie-Claude Vitorge

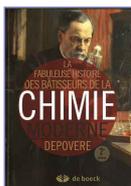
Formation en toxicologie-toxicologie

L'Association Toxicologie-Chimie (ATC) propose du 9 au 11 septembre 2013 à Paris une formation professionnelle intitulée « **Évaluation des risques toxiques en milieu professionnel et environnemental** ».

Au programme : Les relations structures/activités toxiques dans l'évaluation des risques toxiques (A. Picot) ; Évaluation toxicologique des xénobiotiques (F. Ballet) ; Nouvelles approches pour l'évaluation des risques toxiques (J.-F. Narbonne) ; Démarche d'évaluation des risques chimiques ; Le point sur les outils existants et la réglementation en milieu professionnel (C. Barat) ; Évaluation des risques de toxiques aigus. Exemple du sulfure de dihydrogène et les algues vertes (C. Lesné) ; Évaluation du risque pour les pesticides (J.-F. Narbonne).

• Pour en savoir plus : atctoxicologie@free.fr
<http://atctoxicologie.free.fr>

Livres



La fabuleuse histoire des bâtisseurs de la chimie moderne (2^e éd.)

P. Depovere
170 p., 14 €
De Boeck, 2013

Comme il l'avait fait dans son livre *À la découverte de la chimie*, publié chez le même éditeur en 2012 (conseillé notamment aux jeunes à partir de 16 ans – voir *L'Act. Chim.*, 371-372, p. 115), Paul Depovere nous entraîne aujourd'hui dans un nouvel opus, tout aussi intéressant, illustré en noir et blanc, à la découverte des « bâtisseurs de la chimie moderne ». Il a eu l'idée originale, et la culture philatélique nécessaire, pour illustrer son propos de timbres postes émis dans tous les pays du monde, Corée du Nord comprise, en hommage aux chimistes glorieux qui ont fait notre quotidien. Illustres ou inconnus, ils (et quelques elles) nous ont ouvert les portes de la connaissance et ont façonné notre environnement et notre mode de vie.

En neuf chapitres, dans une langue simple et élégante, l'auteur parcourt l'histoire des découvertes, fortuites ou non, depuis le néolithique jusqu'à la théorie cellulaire et l'avènement du génie génétique. Pendant cette promenade, on rencontre Lavoisier, mais aussi Pasteur et Woodward, le procédé Merrifield et la synthèse de Sharpless. On croise Fritz Haber, génial et ambigu, Emil Fischer, le pouvoir rotatoire et la configuration relative des aldoses, mais aussi la comtesse de Chinchon guérie par l'écorce de quinquina, et la lutte contre la malaria. On y découvre la saga des analgésiques et des tranquillisants, depuis l'éther, le chloroforme, les barbituriques et les diazépines, jusqu'aux ISRS (sérotoninergiques)...

La révolution des polymères est, notamment, une des occasions de découvrir la prodigieuse inventivité de l'industrie chimique qui, pendant des décennies, a offert à la chimie des conditions de travail exceptionnelles, dans des laboratoires remarquablement équipés et en laissant à ses chercheurs une liberté presque totale. Les figures sont claires, les molécules représentées bien choisies. Des encarts apportent des éléments biographiques intéressants, notamment ceux de nombreux prix Nobel injustement oubliés, sauf par les spécialistes de leur domaine. On peut cependant regretter que cette « fabuleuse histoire » semble s'achever avec le XX^e siècle, comme si la chimie

avait épuisé ses capacités créatives ou que la sérendipité avait déserté ses rivages. Peut-être que Paul Depovere nous offrira bientôt un nouveau volume, racontant comment la chimie a investi les champs qui sont à ses frontières : le vivant, l'espace, la mer, et surtout le domaine des matériaux, les composites, les nanostructures...

Cependant, pour une chimiste organicienne, ce conte initiatique à la recherche des grands anciens et des grandes découvertes est un vrai plaisir. Il devrait satisfaire ceux qui ont conservé leur capacité d'émerveillement. Il permettra aux jeunes, élèves et étudiants, de se convaincre que la chimie n'est pas un monde rébarbatif. Je le conseille donc aussi à leurs enseignants.

Rose Agnès Jacquesy



Pour une éducation au développement durable

F. Pellaud
196 p., 15 €
Éditions Quæ, 2011

Ce livre est sûrement un essai des sciences de l'éducation, mais pourrait être de bon conseil pour l'éducation des sciences à travers son fil rouge : le développement durable. En sept chapitres, Francine Pellaud décortique et décline cet oxymore sous tous ses aspects : définition, paradigmes induits, méthodes d'approche, éducation et entrée à l'école, mise en pratique et exemples de réalisations éducatives pratiques.

Comment enseigner ou éduquer au développement durable sans rencontrer en chemin l'opposition croissance-décroissance ? C'est à une réforme profonde de l'enseignement qu'appelle l'auteur en changeant de paradigmes. Les fondements sociaux de la pensée placent l'Homme au centre de la nature ; après avoir rappelé quelques catastrophes environnementales et la crise du pétrole et des ressources non renouvelables, elle place la nature plus au centre et recommande de passer plutôt de la protection à la régulation de l'environnement, tout en intégrant sa complexité. Les nouveaux paradigmes du développement durable s'énoncent en termes de relativité, d'évolution et de non-certitude, exigeant une souplesse intellectuelle et la conscience d'interdépendance entre l'économie, la technologie et la politique.

Pour éduquer au développement durable, il faut un changement d'état d'esprit, afin

de permettre aux élèves de sortir des cadres habituels de pensée. Prendre en compte les valeurs, les ériger en citoyens responsables, tout en restaurant leur confiance en soi. Pour les conduire au changement, il faut les sensibiliser, les rendre concernés et leur donner conscience de leur pouvoir d'influence, afin d'agir et de mener des projets. L'entrée formelle du développement durable s'est faite en France par un document du Ministère de l'Éducation en 2003, suivie par une expérimentation dans 80 établissements du primaire ou secondaire généralisée en 2004. En Suisse, une heure par semaine y est consacrée depuis 1997 dans certains cantons. Bien que satisfaisantes, l'auteur juge ces actions insuffisantes dans le système actuel où « l'envie d'apprendre n'est pas nécessaire, l'envie d'avoir le moins d'ennuis possibles suffit. » C'est dire que l'inéquation des programmes rend difficile l'introduction du développement durable comme fil rouge traversant toutes les disciplines enseignées.

Le schéma et les bases d'un nouvel enseignement sont ensuite esquissés. L'éthique et les valeurs dans l'apprentissage des écogestes, le savoir vivre ensemble, le rôle de l'enseignant, les modèles didactiques dynamiques, la confrontation des idées, imaginer, innover... : c'est donc une nouvelle organisation de l'école et de ses programmes qui est proposée à travers l'éducation au développement durable.

Le livre se termine par des exemples d'applications pratiques, de plans d'études de la maternelle au lycée en passant par le primaire. De l'étude de l'araignée à la nutrition, puis à la santé et à la culture, les prétextes de projets en ateliers pluridisciplinaires préparent les jeunes de CE2 à des sujets plus larges proposés au collège ou au lycée, comme le changement climatique décliné à travers toutes les matières enseignées. C'est à une éducation citoyenne et éthique que nous invite l'auteur qui paraît révolutionnaire dans l'état d'esprit actuel de l'Éducation nationale. Mais elle fait aussi partie du panel d'enseignants de l'Institut de l'environnement de l'Université de Genève qui propose un certificat de formation continue au développement durable (6 800 FS) pour les enseignants voulant mettre en pratique un enseignement plus réactif et dynamique.

Voilà un livre intéressant pour ceux que passionnent le développement durable et sa sensibilisation à nos chères têtes blondes, pas toujours facile à lire pour les non-familiers aux sciences de l'éducation, mais ouvrant des horizons peu explorés aux scientifiques que nous sommes.

Jean-Claude Bernier

2-7 juin 2013

NIR 2013

16th International conference on near infrared spectroscopy

La Grande Motte

• www.icnirs2013.org

6 juin 2013

DocSciLor 2013

La journée des doctorants lorrains

Pont-à-Mousson

• <http://docscilor2013.wordpress.com>

SCF

12 juin 2013

Chimie et archéologie

Paris

Journée de colloques organisée par Pierre Laszlo.

• danielle.fauque@u-psud.fr

SCF

14 juin 2013

JSCH

Journée scientifique de catalyse homogène

Lille

• <http://uccs.univ-lille1.fr/JSCH/index.html>

27-28 juin 2013

JNOEJC 2013

Journées Nord-Ouest européennes des jeunes chercheurs

Le Havre

• www.univ-lehavre.fr/recherche/urcom/JNOEJC2013

SCF

3-5 juillet 2013

Eurovariety 2013

5th Eurovariety in chemistry education conference

Limerick (Irlande)

• www.eurovariety2013.ul.ie

3-5 juillet 2013

RICT 2013

Rencontres internationales de chimie thérapeutique

Nice

• www.sct-asso.fr/articles.php?lng=fr&pg=106

FFC

7-11 juillet 2013

8-ISMSC 2013

International symposium on macrocyclic and supramolecular chemistry

Crystal City (VA, États-Unis)

• www.indiana.edu/~ismsc8/index.html

7-11 juillet 2013

ESOPS 19

19th European symposium on polymer spectroscopy

Prague (Rép. tchèque)

• www.imc.cas.cz/sympo/pmm2013/index.html

7-12 juillet 2013

33 ICSC

International conference on solution chemistry

Kyoto (Japon)

• www.irisa-lab.bio.kyutech.ac.jp/33ICSC/top.html

7-12 juillet 2013

ESOC 2013

18th European symposium on organic chemistry

Marseille

• <http://esoc2013.eu>

8-10 juillet 2013

ARF 2013

Analytical research forum

Hertfordshire (Royaume-Uni)

• www.rsc.org/Conferencesandevents/rsconferences/arf13/index.asp?

8-11 juillet 2013

MC 11

11th International conference on materials chemistry

Warwick (Royaume-Uni)

• www.rsc.org/ConferencesAndEvents/RSCConferences/MC11/index.asp

15-19 juillet 2013

ACIN 2013

International conference on advanced complex inorganic nanomaterials

Namur (Belgique)

• www.fundp.ac.be/acin2013

21-25 juillet 2013

ESFC & FMEC-2

17th European symposium on fluorine chemistry & 2nd Workshop on fluoride materials and energy conversion

Paris

• www.c2s-organisation.com/esfc-paris2013.fr

21-26 juillet 2013

Actinides 2013

Karlsruhe (Allemagne)

• <http://actinides13.ine.kit.edu>

22-26 juillet 2013

ICCST-12

12th International conference on the chemistry of selenium and tellurium

Cardiff (Royaume-Uni)

• www.cf.ac.uk/iccst12

22-28 juillet 2013

24th ICHST

International congress of history of science, technology and medicine

Manchester (Royaume-Uni)

• www.ichstm2013.com

23-26 juillet 2013

ISACS 11

Challenges in chemical biology

Boston (États-Unis)

• www.rsc.org/ConferencesAndEvents/ISACS/ISACS11/index.asp

28 juillet-1^{er} août 2013

OMCOS 17

IUPAC International symposia on organometallic chemistry directed towards organic synthesis

Fort Collins (CO, États-Unis)

• www.omcos17.com

28 juillet-2 août 2013

ISNA-15

15th International symposium on novel aromatic compounds

Taipei (Taiwan)

• www.isna15.org

4-9 août 2013

ISHHC-16

16th International symposium on relations between homogeneous and heterogeneous catalysis

Sapporo (Japon)

• www.shokubai.org/ishhc16

11-16 août 2013

44th IUPAC world chemistry congress

Istanbul (Turquie)

• www.iupac2013.org

28-30 août 2013

« Du côté nano »

Journées de la division Chimie physique

Grenoble

• <http://grenano.ujf-grenoble.fr>

SCF

Vous trouverez de nombreuses autres manifestations sur le site de la SCF : www.societechimiquedefrance.fr, rubrique **Manifestations**.

Congrès SCF 2015 : le premier Forum de la Société Chimique de France

La SCF renoue avec la tradition des congrès généraux et organisera son premier Forum au printemps 2015, afin de faire le point sur les recherches académiques et technologiques dans les domaines de spécialités de la chimie et sur la contribution de la chimie à l'énergie. Cette thématique sociétale constituera le fil rouge de la manifestation qui associera des matinées dédiées à des conférences plénières et des après-midis à des colloques pilotés par les divisions scientifiques et les groupes thématiques. Un colloque transdisciplinaire focalisé sur la thématique sociétale et une table ronde devant amorcer un dialogue entre les décideurs politiques et économiques, les représentants de la société et les chimistes complèteront ce Forum.

Il se déroulera sur cinq à six demi-journées et ambitionne de regrouper entre 500 et 750 chimistes.

Plus d'informations sont disponibles auprès de Stanislas Pommeret, président du Comité d'organisation, vice-président de la SCF*.

* stanislas.pommeret@societechimiquedefrance.fr

Remise des Grands prix et Prix binationaux 2012 de la Société Chimique de France

Nous rappelons que la remise officielle des Prix 2012 (Prix Achille-Joseph Le Bel et Pierre Süe, Miguel Catalán-Paul Sabatier et Georg Wittig-Victor Grignard) aura lieu le **lundi 27 mai** à l'École Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse (voir *L'Act. Chim.*, 373, p. 49). Le programme complet de la journée est téléchargeable sur le site de la SCF.

• www.societechimiquedefrance.fr/fr/breve/remise-solennelle-des-prix-scf-2012.html

Colloque « De la recherche à l'enseignement »

Nous rappelons également que la troisième édition de ce colloque, co-organisé par la Société Chimique de France, l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie et l'Union des Professeurs de Spéciales et animé par Jean-Pierre Foulon, se tiendra le **samedi 7 septembre** à l'École Nationale Supérieure de Chimie Paris ParisTech (de 9 h 30 à 17 h 30) (voir *L'Act. Chim.*, 373).

Le programme provisoire et la fiche d'inscription sont disponibles sur le site de la SCF à la page de la division Enseignement-Formation.

• Toute demande d'information complémentaire peut être adressée à :

colloquere13@societechimiquedefrance.fr

www.societechimiquedefrance.fr/manifestation/3e-colloque-de-la-recherche-a-l-enseignement.html

Le Bureau de la SCF

Tournée de conférences du professeur Santiago Alvarez, lauréat 2012 du Prix franco-espagnol

Santiago Alvarez (Université de Barcelone), lauréat du prix franco-espagnol Catalán-Sabatier de la SCF et de la Société royale espagnole de chimie (RSEQ) fera les conférences suivantes lors de son séjour en France organisé par la SCF :

- Le 27 mai (durant la journée scientifique de remise des Prix SCF), à 14 h 15 à l'École Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse : *Theoretical and structural exploration of the van der Waals territory*.
- Le 28 mai, à 10 h 30 à l'ISIS, Université de Strasbourg : *Chemistry and music, the odd couple*.
- Le 29 mai, à 10 h 30, à l'Université d'Angers : *Molecular symmetry and pseudosymmetry: some concepts and tools*.
- Le 30 mai, à 14 h durant les Journées de modélisation à Paris : *Theoretical and structural exploration of the van der Waals territory*.
- Le 31 mai, à 17 h, durant l'École doctorale de chimie moléculaire à l'UPMC Paris : *Molecular symmetry and pseudosymmetry: some concepts and tools*.

• www.societechimiquedefrance.fr/fr/breve/tournee-de-conferences-du-professeur-santiago-alvarez-laureat-2012-du-prix-franco-espagnol.html

Rappel des prochaines manifestations de ou avec la SCF

21-24 mai 2013

ISGC-2

2nd International symposium on green chemistry

La Rochelle

• <http://isgc2.conference.univ-poitiers.fr>

21-24 mai 2013

JIREC 2013

Journées de l'innovation et de la recherche dans l'enseignement de la chimie

Marne-la-Vallée

Thème : Enseigner une chimie économe et créatrice.

• www.jirec.fr

26-31 mai 2013

Gecom-Concoord 2013

Congrès de chimie de coordination, chimie organométallique et catalyse

Cap d'Agde

Thèmes : Chimie théorique, catalyse homogène, matériaux moléculaires, électrochimie, chimie supramoléculaire, MOF.

• www.gecom2013.fr

26 mai-2 juin 2013

SECO 50

Semaine d'études de chimie organique

Saint-Trojan-les-Bains

• www.seco50.tk/fr/bienvenue.html

27-30 mai 2013

GECat 2013

Congrès du Groupe d'étude en catalyse

Agde

Thèmes : Synthèses innovantes de catalyseurs ; Du catalyseur au réacteur ; Oxydation sélective.

• www.gecat.fr

30-31 mai 2013

Journées de printemps du GFP2P

(Groupe français de photochimie, photophysique et photosciences)

Grenoble

• jerome.chauvin@ujf-grenoble.fr

30-31 mai 2013

SFST3

3^e Symposium francophone de synthèse totale

Grenoble

• <http://sfst3.sciencesconf.org>

30 mai-1^{er} juin 2013

Chimie et terroir 2013

Lens

• www.maisondelachimie.asso.fr/chimiesociete

5 juin 2013

17^e Journée de chimie organique et chimie organique biologique de la Montagne Sainte-Geneviève

Paris

• <http://curie.fr/fr/recherche/17e-journee-chimie-organique-chimie-organique-biologique-montagne-sainte-genevieve>

6 juin 2013

DocSciLor 2013

La journée des doctorants lorrains

Pont-à-Mousson

• <http://docscilor2013.wordpress.com>

12 juin 2013

Chimie et archéologie

Journée de colloques organisée par Pierre Laszlo

Paris

• danielle.fauque@u-psud.fr

13 juin 2013

Journée de printemps de la section régionale Rhône-Alpes

Grenoble

• scf.ra2013@ujf-grenoble.fr

27-28 juin 2013

JNOEJC 2013

Journées Nord-Ouest européennes des jeunes chercheurs

Le Havre

• www.univ-lehavre.fr/recherche/urcom/JNOEJC2013

1-3 juillet 2013

Electroanalysis

at the nanoscale
Faraday discussion 164

Durham (Royaume-Uni)

• www.rsc.org/ConferencesAndEvents/RSCConferences/FD164/index.asp

1-4 juillet 2013

Formula VII

International event dedicated to the science, technology and teaching of formulation

Mulhouse

• www.formulaviimulhouse.uha.fr

8-11 juillet 2013

JE 2013

Journées Electrochimie

Paris

• www.je2013.fr

14-18 octobre 2013

JFJPC14

Journées francophones des jeunes physico-chimistes

Fréjus

• Stanislas.Pommeret@cea.fr

Cette rubrique

« Actualités de la SCF »
est la vôtre !

Vous êtes membre de la SCF ? Président ou membre d'une division scientifique, d'une section régionale ou d'un groupe thématique ? Vous lancez un appel à candidatures pour un prix ? Vous souhaitez annoncer les lauréats ? Vous organisez une manifestation ? Vous souhaitez partager une information ?

Compte tenu des délais d'impression et pour être certains d'être publiés à temps, **pensez à adresser directement vos informations à la Rédaction.**

**Nos colonnes vous sont
ouvertes !**

• redaction@lactualitechimique.org

Index des annonceurs

BASF	4 ^e de couv.	Ienix	p. 29
EDP Sciences	p. 24	LECO	p. 17
EuCheMS	encart	Vacuubrand	p. 6



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>



Nous sommes membres de
la Société Chimique de France,
et vous ?

**Rejoignez
le réseau
des chimistes :
votre association !**

www.societechimiquedefrance.fr

crédits photos : Renaud Hauray - © www.magdesign.info



Société Chimique de France

Les produits lourds pétroliers

Tous les scénarios établis par l'Agence internationale de l'énergie (IEA) prévoient une augmentation de la demande énergétique dans les vingt prochaines années. Dans ce contexte, les énergies fossiles (gaz, pétrole et charbon) resteront prépondérantes pour satisfaire les besoins énergétiques de la planète. Malgré la baisse de la consommation des véhicules, le développement de nouvelles technologies de motorisation et les économies d'énergie, la demande en produits dits légers que constituent les bases d'élaboration des carburants pour le transport (essence, carburacteur et gazole) va rester importante et continuer à croître, surtout dans les pays émergents. Pour obtenir de tels produits aux spécifications en vigueur ou à venir, calquées sur celles existant aujourd'hui en Amérique du Nord, en Europe et dans certains pays d'Asie/Océanie, le raffineur a intérêt à traiter un pétrole dit léger (*figures a et b*), peu dense, contenant une proportion importante de coupes essence, carburacteur et gazole. Toutefois, la raréfaction de ces pétroles légers à travers le monde nécessite déjà la production de pétroles plus lourds, non conventionnels, dont l'aspect est très similaire aux bitumes routiers classiques qui recouvrent nos routes (*figure c*), et contenant une portion bien plus faible d'espèces chimiques entrant dans la composition des carburants précédemment cités. L'exploitation et la nécessaire transformation de ces bruts lourds au cours du raffinage vont se heurter à de nombreuses difficultés industrielles qui nécessitent des développements technologiques innovants.

La définition des différents bruts pétroliers est basée sur un grandeur, dénommée degré API, définie en 1921 par l'American Petroleum Institute (API) suivant la formule :

$$\text{Degré API} = (141,4/d) - 131,5$$

où d est la densité du brut. On constatera que plus un brut est dense, plus le degré API sera faible. On peut ainsi classer les différents types d'huiles (ou bruts) en fonction de leur degré API : *brut léger* : degré API > 31,1, soit une densité < 0,87 ; *brut moyen* : $22,3 \leq \text{degré API} \leq 31,1$, soit une densité de 0,87-0,92 ; *brut lourd* : degré API < 22,3, soit une densité > 0,92.

À côté du degré API, un autre paramètre est très important pour caractériser un brut lourd : sa viscosité. Comme les bitumes routiers qui nous sont familiers, ces produits sont très visqueux et coulent très difficilement à température inférieure à la centaine de degrés. Les bruts lourds sont également définis comme ayant une viscosité supérieure à 10 000 centipoises (cP) (pour mémoire, celle de l'eau est de 1 cP). Parmi les bruts lourds, une classification plus précise a été établie, incluant degré API et viscosité :

- *huile lourde* : degré API > 10 et viscosité < 10 000 cP. Cette huile est supposée couler dans les conditions du gisement (ou réservoir) pétrolier (température élevée) ;
- *huile extra-lourde* : degré API < 10 et viscosité mesurée dans les conditions du réservoir (*in situ*) < 10 000 cP. Pour ce type de produit, la mobilité de l'huile est considérée comme réduite ;
- *bitume naturel*, souvent constitué de brut mélangé à du sable, ou également dénommé sables bitumineux, avec degré API < 10 et viscosité *in situ* > 10 000 cP, ce qui conduit à un écoulement pratiquement impossible (*figure d*).

Rappelons que tous les pétroles que nous connaissons de par le monde ont une origine commune résultant de la transformation thermique sur une très longue période (plusieurs centaines de millions d'années) de matière organique de végétaux et d'organismes vivants qui ont été progressivement enfouis dans des couches sédimentaires constituant la « roche mère ». Le fluide pétrolier qui apparaît dans cette roche mère, résultat de ces transformations, va en partie migrer du bassin sédimentaire (roche mère) vers une sorte de piège qui constituera le gisement ou réservoir qui est aujourd'hui exploité pour extraire le brut. Ce gisement est physiquement constitué par une roche, plus ou moins perméable, dont les pores sont occupés par le fluide pétrolier.

On parle beaucoup actuellement d'exploitation possible de schistes bitumineux ; il s'agit de roches mères qui n'ont pas subi la transformation thermique suffisamment poussée pour permettre la formation d'huile et de gaz pouvant migrer vers le gisement. Ces schistes sont des solides riches en matière organique qui n'est pas une huile minérale. Ils ne sont pratiquement pas exploités et nécessiteraient des traitements à haute température pour réaliser artificiellement et rapidement (de l'ordre de l'heure) la transformation thermique qui a lieu naturellement à beaucoup

plus basse température pendant une longue période dans le bassin sédimentaire, fournissant ainsi une huile de schiste liquide.

Mais pourquoi existe-t-il des huiles légères et des huiles lourdes ? Ces dernières sont le résultat d'une altération biologique (biodégradation) de l'huile initialement formée par un ensemble de bactéries. L'huile étant constituée par un ensemble très large de molécules hydrocarbonées de structure et de masse moléculaire très variées, les bactéries vont attaquer plus spécifiquement les petites molécules et provoquer ainsi un alourdissement de l'huile en place, plus riche en entités de poids moléculaire élevé et à tendance plus aromatique (résines et asphaltènes).

L'importance des bruts lourds, qui regroupent huiles lourdes, extra-lourdes et bitumes naturels (sables bitumineux), est considérable. On estime actuellement les réserves à 5 000 milliards de barils (1 baril = 159 L), soit l'équivalent des ressources restantes en bruts conventionnels (légers et moyens). Environ 75 % de ces ressources sont localisés en Amérique du Nord (Canada) et en Amérique du Sud (Venezuela). On comprend alors aisément les enjeux liés à leur utilisation, tant aux niveaux de la production (gisement pétrolier), du transport que du raffinage pétrolier.

La production des huiles lourdes

La production des huiles lourdes se heurte en premier lieu à l'écoulement très difficile des huiles en place dans les conditions du gisement (plusieurs dizaines de °C). Classiquement, la production d'un gisement pétrolier est assurée par la différence de pression entre le gisement et la surface. Au cours de la production, le gisement « se vide » et la pression tend à décroître, limitant ainsi le débit en surface d'huile récupérée. Dans le cas des huiles lourdes, ce phénomène, joint à la haute viscosité du produit, va très vite imposer la mise en place d'une aide à la production (EOR : « enhanced oil recovery »). On estime que sans cette aide, on ne peut guère extraire plus de 10 % de l'huile en place dans le gisement. De nombreuses techniques ont été développées et font toujours l'objet de travaux de recherche afin d'augmenter ce niveau de production. La première approche peut consister à pomper l'huile pour la soutirer du gisement à l'aide d'installations très couramment visibles à terre dans les zones d'exploitation pétrolière. Une avancée technologique majeure, qui a permis des gains importants de productivité des gisements d'huile, a été le développement du forage horizontal. Il devient ainsi possible, en creusant différentes branches (ou drains) plus ou moins horizontales et multi-directionnelles, d'atteindre différentes zones du gisement et collecter ainsi une fraction plus importante d'huile en limitant l'impact des installations de surface.

Un des objectifs recherchés est de réduire la viscosité de l'huile pour faciliter son déplacement. On injecte alors dans le gisement un fluide chaud qui peut être de la vapeur d'eau, par injections éventuellement cycliques, ou des hydrocarbures légers qui, mélangés à l'huile, vont permettre de baisser la viscosité. Un couplage des technologies de forage horizontal et d'injection de vapeur a permis des gains de productivité substantiels. Dans cette technologie (SAGD : « steam assisted gravity drainage », drainage par gravité avec injection de vapeur), de façon schématique, deux puits horizontaux sont creusés, l'un situé au-dessus de l'autre, le puits supérieur va servir de puits injecteur pour la vapeur et le second servira à récupérer l'huile par gravité. L'injection d'eau n'est pas très efficace du fait des différences de

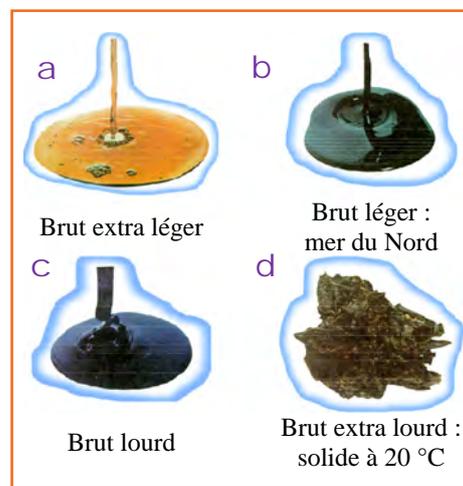


Figure 1 - Illustration de l'aspect et des propriétés d'écoulement des bruts.

viscosité entre l'eau et l'huile. Pour améliorer la récupération, on est amené à ajouter des polymères à l'eau pour la rendre plus visqueuse. Une autre façon de « chauffer l'huile en place » est de brûler une faible partie de l'huile pour dégager de la chaleur, ce qui va permettre de fluidifier le pétrole avoisinant ; ce procédé est appelé la combustion *in situ*. On peut également mentionner l'utilisation de gaz carbonique (CO₂), connu pour être très soluble dans les huiles lourdes, permettant par là même une réduction de viscosité.

Dans le cas des sables bitumineux, localisés à proximité de la surface du globe, l'extraction est d'abord minière à l'aide de pelleteuses et de camions gigantesques, ces derniers pouvant tracter un chargement de près de 400 t. La quantité d'huile contenue dans ce matériau de base varie de 10 à 12 % en volume. L'extraction de l'huile est réalisée par ajout d'eau chaude, puis injection d'air. Il se forme alors une mousse en surface qui est récupérée, contenant un mélange d'huile et d'eau en proportion sensiblement équivalente, le sable ayant été séparé par gravité. Un traitement thermique de cette mousse permet d'éliminer l'air et l'eau et l'huile lourde très visqueuse subit avant commercialisation un traitement spécifique (« upgrading »), permettant en particulier d'améliorer ses propriétés pour être transportée plus aisément par oléoduc (brut synthétique).

Le transport des huiles lourdes

Une fois les huiles lourdes extraites du gisement, elles doivent être acheminées vers les raffineries qui vont permettre l'extraction des produits de base intéressants (essences, carburateurs, gazoles...) et la transformation des fractions non directement valorisables. La difficulté est encore principalement liée à leur forte viscosité et la faible concentration en produits légers. Le transport en pipelines n'est généralement pas directement réalisable et nécessite des traitements additionnels. Comme précédemment cité, le chauffage du pipe peut être une possibilité mais se heurte à plusieurs problèmes concernant le pompage, le maintien de la température sur de longues distances (stations de chauffage), des problèmes de corrosion plus marqués et évidemment le coût. La dilution de l'huile lourde par un solvant plus léger et moins visqueux est un procédé classique souvent employé, le solvant pouvant être finalement recyclé. Toutefois, l'addition sans contrôle préalable d'un solvant peut entraîner des phénomènes de précipitations de la fraction la plus lourde de l'huile, et donc la formation de dépôts, voire le bouchage des installations. L'ajout d'eau pour former une émulsion peut être une alternative pour réduire la viscosité et faciliter l'écoulement, mais casser l'émulsion à l'arrivée peut poser certains problèmes (stabilité). Une technologie séduisante a été également proposée, basée sur un écoulement annulaire (« core annular flow ») : un film d'eau est formé à l'interface paroi du pipe/huile visqueuse à transporter, agissant tel un lubrifiant et permettant ainsi une baisse de la pression de pompage. Enfin, comme mentionné précédemment pour le traitement des huiles de sables bitumineux, un traitement thermique ou thermocatalytique avec ou sans ajout d'hydrogène sur site peut être opéré, modifiant la composition de l'huile et permettant *in fine* un abaissement très important de la viscosité (brut synthétique).

La transformation des huiles lourdes : le raffinage

Du point de vue chimique, les huiles lourdes contiennent, comme tous les produits pétroliers, essentiellement du carbone et de l'hydrogène. Comparativement à des bruts légers, la teneur en hydrogène est plus faible. La structure chimique est ainsi à dominante aromatique, avec des espèces polyaromatiques très diverses et des molécules de haut poids moléculaire (asphaltènes et résines) qui ont tendance à s'agréger dans l'huile, lui conférant ces propriétés de forte viscosité. De plus, d'autres éléments en plus faible concentration sont présents, en particulier le soufre, l'azote et des métaux tels le nickel et le vanadium (quelques centaines de ppm). La première étape que subit un brut entrant dans une raffinerie est la distillation (atmosphérique et sous vide). La quantité de fractions légères (faible masse moléculaire, faible température d'ébullition), facilement valorisable en carburants et autres produits intéressants, est limitée dans une huile lourde, voire presque inexistante dans une huile extra-lourde. Par contre, la fraction lourde (haute masse moléculaire) est abondante et va donc devoir être transformée profondément en fractions légères. C'est le

travail du raffineur qui utilise pour cela différents procédés purement thermiques ou catalytiques avec ajout d'hydrogène : hydroconversion catalytique, hydrotraitement ou hydrocraquage sous forte pression d'hydrogène.

Le procédé thermique *a priori* le plus simple est appelé viscoréduction. Comme son nom l'indique, il a pour objet de réduire la viscosité. Il s'agit de traiter le produit à haute température (450 °C) ; on obtient alors une fraction enrichie en hydrogène, de qualité assez médiocre (base pour carburants) et par conséquent une fraction plus lourde, plus pauvre en hydrogène et très visqueuse. Un autre procédé purement thermique, très souvent utilisé industriellement, est le procédé de « coking » ou cokéfaction. On produit alors du coke, qui peut en tant que combustible solide remplacer le charbon, et des fractions plus légères, bases futures pour carburants. Les produits issus des procédés thermiques sont de qualité médiocre et doivent être transformés en faisant appel à des procédés utilisant des catalyseurs fonctionnant sous haute pression d'hydrogène à haute température et permettant de réaliser différents hydrotraitements et hydrocraquages. L'objectif principal de ces derniers est de purifier les produits de conversion (élimination du soufre et de l'azote) et de transformer les molécules les plus lourdes en entités plus légères, en particulier par hydrocraquage (rupture liaison carbone-carbone). On comprend ainsi la nécessité d'un apport d'hydrogène pour « cicatrifier » les deux entités formées par cette rupture. L'approvisionnement en hydrogène de ces unités d'hydrotraitement et d'hydrocraquage est un problème économique important du raffinage pour convertir efficacement ces huiles lourdes dans le futur. L'utilisation d'un catalyseur permet de promouvoir les réactions chimiques spécifiques, autres que purement thermiques, telles l'hydrogénation des cycles aromatiques, l'élimination des éléments soufre et azote – rupture C-S, C-N, on parle d'hydrodésulfuration (HDS) et d'hydrodésazotation (HDN) –, élimination des métaux – Ni, V, poisons de catalyseurs, on parle d'hydrodémétallisation (HDM). Les catalyseurs utilisés sont des matériaux de haute surface spécifique constitués par un support sur lequel est déposée une phase active, en général à base de sulfures métalliques. Ils font l'objet de recherches approfondies pour améliorer leurs performances industrielles, diminuer leur coût et leur empreinte environnementale.

Les problèmes environnementaux

La prise de conscience des enjeux environnementaux va s'accompagner d'une régulation plus stricte de l'exploitation et des traitements des huiles lourdes. La pression environnementale sur les territoires est plus sensible lors de l'exploitation de bruts lourds que pour celle de bruts conventionnels (plus de puits forés, consommation d'eau...). Le paysage naturel peut être profondément modifié, particulièrement pour l'exploitation des sables bitumineux. La « restauration » de ce paysage demeure un problème important. La gestion des résidus solides, de l'eau injectée, doit être prise activement en considération. Les huiles lourdes sont plus fortement concentrées en soufre, en azote et en métaux que les huiles conventionnelles. Il faudra donc éliminer une quantité plus importante de ces contaminants pour obtenir *in fine* des produits aux spécifications voulues avec pratiquement plus aucune impureté (gazoles, teneur maximale en soufre de 10 ppm en Europe). Ceci impose une utilisation des unités de raffinage dans des conditions plus sévères, entraînant des consommations énergétiques et en hydrogène accrues, et donc des émissions de gaz à effet de serre (CO₂) qu'il faut contrôler et réduire. Il en est de même pour les phases d'extraction des huiles, l'injection de vapeur étant très consommatrice d'énergie. Dans ce contexte, les technologies de captage et de stockage du CO₂ en profondeur peuvent s'avérer intéressantes.

Pour en savoir plus

- *Heavy crude oils – From geology to upgrading, An overview*, A.Y. Huc (éd.), IFPEN Publications, Éditions Technip, 2011.
- *Geochemistry of fossil fuels – From conventional to unconventional hydrocarbon systems*, par A.Y. Huc (éd.), IFPEN Publications, Éditions Technip, 2012.
- Boy de la Tour X., *Le pétrole : au delà du mythe*, Éditions Technip, 2004.
- www.ifpenouvelles.fr/espace-decouverte-mieux-comprendre-les-enjeux-energetiques/les-cles-pour-comprendre/les-sources-d-energie/le-petrole#11

Cette fiche a été préparée par **Didier Espinat** (didier.espinat@ifpen.fr), directeur expert, et **Alain Quignard**, expert et chef de projet conversion, IFP Énergies nouvelles, Rond-point de l'Échangeur de Solaize, BP 3, F-69360 Solaize. Les fiches « Un point sur » sont coordonnées par un comité éditorial mené par Jean-Pierre Foulon, Véronique Nardello-Rataj et Michel Quarton (contact : bleneau@lactualitechimique.org).

le dossier

À propos des nouveaux programmes de chimie au lycée
Ateliers JIREC 2012



**l'actualité
chimique**

publié avec le n° 374 de L'Actualité Chimique, mai 2013

À propos des nouveaux programmes de chimie au lycée

Ateliers JIREC 2012 – Introduction

Michel Vigneron

Dans ce dossier figurent des comptes rendus d'ateliers ou encadrés dont les sujets se rapportent aux nouveaux programmes de chimie du lycée : contenus nouveaux, présentations différentes et pratiques pédagogiques fondées sur l'acquisition de compétences par les élèves. Le changement est d'importance et les étudiants qui poursuivront des études supérieures scientifiques auront un profil sensiblement modifié en 2013. Ainsi, les compétences expérimentales ne sont plus centrées uniquement sur la réalisation de protocoles « clés en mains », mais impliquent davantage d'analyses en amont de l'expérience proprement dite et de validation en aval : c'est la démarche dite d'investigation, qui est présente dans l'enseignement de la chimie depuis l'école primaire. Des conséquences de ce choix sont développées dans l'article « **De nouveaux profils étudiants en 2013** » (M.-B. Mauhourat, B. Garreau-de Bonneval et K. Fajerweg, p. II).

Sur le plan des contenus, certains sont totalement nouveaux (RMN du proton, matériaux) et sont en prise avec la chimie qui se fait dans les laboratoires de recherche, alors que d'autres permettent une approche différente de concepts déjà enseignés auparavant : ainsi, les principes de la chimie verte renouvellent l'enseignement de la chimie organique en promouvant une chimie économe et respectueuse de l'environnement – ce qui annonce les JIREC 2013*. La transposition didactique nécessaire pour ensei-

gner ces savoirs nouveaux est évoquée dans l'article « **Enseignement de la spectroscopie de résonance magnétique nucléaire** » (V. Gilard et A. Gilles, p. V) et celui sur **la chimie organique** (J. Calafell, F. Milon et M. Urrutigoity, p. IX) dans une perspective de formation des enseignants. Enfin, un **zoom sur les nanomatériaux** (p. XI) permet de montrer comment on peut traiter ce sujet et envisager une activité expérimentale appartenant au thème « matériaux » de l'enseignement de spécialité physique-chimie de terminale S, dans ce nouvel esprit.

La lecture de ce dossier détachable permettra certainement à chacun de mieux percevoir les enjeux de cette réforme de l'enseignement de la chimie, dans la perspective d'une meilleure transition entre le lycée et l'enseignement supérieur.

* www.jirec.fr



Michel Vigneron

est Inspecteur d'Académie – Inspecteur Pédagogique Régional (IA-IPR), Académie de Paris*.

* Rectorat de Versailles, 3 boulevard de Lesseps, F-78000 Versailles.
Courriel : Michel.Vigneron@ac-paris.fr

De nouveaux profils étudiants en 2013

Marie-Blanche Mauhourat, Bénédicte Garreau-de Bonneval et Katia Fajerweg

Mots-clés Enseignement, JIREC 2012, nouveaux programmes de chimie au lycée, transition lycée-université.

Cet article fait suite à l'atelier des JIREC 2012 intitulé « Liaison lycée-enseignement supérieur : profil des nouveaux étudiants », qui a réuni une trentaine d'enseignants de l'enseignement supérieur. À la rentrée 2013, toutes les formations post-baccalauréat accueilleront des « nouveaux » lycéens. Afin de favoriser leur réussite en première année, il s'avère nécessaire de bien connaître la formation qu'ils ont

reçue en amont, tant au niveau des contenus que des méthodes d'enseignement. Les programmes dispensés dans les universités, les IUT et les BTS devront prendre en compte ces évolutions. C'est le souci d'assurer une continuité, la plus appropriée possible, qui a prévalu lors de la conception des nouveaux programmes de première année des classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE).



L'atelier a débuté par une présentation succincte des nouveaux programmes dont les textes officiels sont publiés au *Bulletin officiel de l'Éducation nationale (BOEN)* [1]. Des documents ressources, notamment les annales zéro du baccalauréat, sont accessibles sur le site « éducol » [2]. Les nouveaux profils, en physique-chimie, des étudiants issus des filières scientifiques des voies générale et technologique sont décrits dans un document rédigé par l'Inspection générale [3]. L'objectif de cette publication est de présenter, de manière synthétique, les thématiques et les contenus abordés en physique-chimie, du collège au lycée, ainsi que les compétences scientifiques et générales visées par les programmes et évaluées au baccalauréat.

Quelques analogies et différences entre ancien et nouveau programme de chimie de la filière S

L'ancien programme de chimie en première S s'articulait autour de « mesurer et créer en chimie », plus précisément autour de l'analyse quantitative et de la synthèse en chimie organique. En terminale S, les propriétés des transformations chimiques – lentes ou rapides, totales ou non, spontanées ou forcées, contrôlables par le chimiste – étaient étudiées.

Dans le nouveau programme, deux modifications sont à noter : une réduction de l'horaire hebdomadaire dédié à la physique-chimie⁽¹⁾ et une approche thématique de la physique-chimie, sans distinction désormais entre la physique et la chimie, autour de trois grandes étapes de la démarche scientifique : « voir » (observer), « comprendre » (modéliser) et « agir ». La plupart des notions et des concepts traditionnellement abordés dans le secondaire sur la constitution, la transformation et l'analyse de la matière le sont toujours. Ce sont approximativement les mêmes que dans les anciens programmes. Une comparaison entre ancien et nouveau programme sur l'exemple des réactions acide-base en filière S est présentée dans l'*encadré* et est résumée dans le tableau publié en *annexe**

Il faut en outre citer que, pour les filières technologiques STL (Sciences et techniques de laboratoire) et STI2D (Sciences et technologies de l'industrie et du développement durable), les différences entre les anciens et les nouveaux programmes sont cette fois-ci très importantes, compte tenu des nouveaux objectifs de poursuite d'études qui leur sont assignés. Au niveau des compétences développées et des contenus abordés, les filières technologiques se rapprochent désormais davantage de la voie générale. L'approche contextuelle porte, quant à elle, sur des objets ou systèmes technologiques. L'insertion professionnelle est dorénavant la vocation de la voie professionnelle.

Comparaison entre ancien et nouveau programme sur l'exemple des réactions acide-base en filière S

Quatre points sont abordés pour effectuer cette comparaison : l'étude des transformations et de leur modélisation par une réaction, les couples acide-base, les calculs de pH de solutions aqueuses et les titrages. Un tableau mettant en regard les notions et capacités exigibles dans les deux programmes est présenté en *annexe**

1. L'évolution d'un système par transformation chimique débutait dès la classe de seconde avec l'établissement du tableau descriptif de l'évolution et la notion d'avancement. Repris en classe de première, ces outils permettaient de déterminer des quantités de matière, notamment lors des titrages, et en classe de terminale d'analyser l'état final d'un système pour introduire la notion d'équilibre chimique, puis d'illustrer l'évolution spontanée vers l'état d'équilibre. Dans le nouveau programme, c'est seulement en classe de première que sont abordées les notions de réactif limitant et d'avancement, le tableau « d'avancement » n'étant plus exigible. La notion d'évolution n'est plus explicitement traitée (suppression du quotient réactionnel) et la notion d'équilibre chimique n'intervient en classe de terminale qu'à propos de la réaction chimique par échange de proton^(a) (partie « comprendre »). La généralisation de ces concepts d'équilibre et de constante d'équilibre associée à une réaction devra être faite dans l'enseignement supérieur. Signalement que le symbolisme d'écriture des équations de réactions n'impose plus le signe égal, mais divers types de flèches.

2. Les couples acide-base étaient introduits en classe de première, à travers la mise en évidence d'un transfert de proton ; ils le sont désormais en classe de terminale seulement. La notion d'acides ou de bases forts ou faibles est à nouveau enseignée. Auparavant, l'étude de l'état final d'un système amenait à attribuer le caractère total ou non à une transformation, et en particulier à celle d'un acide et d'une base sur l'eau. La maîtrise des diagrammes de distribution des espèces devra être assurée dans l'enseignement supérieur.

3. Les calculs de pH en solutions aqueuses faisaient appel, lorsque le cas se présentait, à la constante d'équilibre, à l'état initial et final d'un système, qui permettaient de prévoir ou de valider la valeur d'un pH final. Dans le nouveau programme, seules les « réactions quasi totales » d'acide fort et de base forte dans l'eau ou de mélange d'acide fort et de base forte sont abordées. De ce fait, seul le calcul de pH d'une solution aqueuse d'acide fort ou de base forte de concentration usuelle est exigé. En ce qui concerne les acides faibles, seuls les diagrammes de prédominance sont à réaliser ou à utiliser. Dans l'enseignement supérieur, il conviendra de s'interroger sur les compétences à acquérir dans ce domaine en fonction des nouveaux programmes. En CPGE, il n'est pas explicitement fait référence à des calculs de pH et c'est l'approche de l'ancien programme avec la détermination de l'état final d'un système et l'utilisation des diagrammes de prédominance qui a été privilégiée.

4. Les titrages étaient abordés dès la classe de première S et faisaient l'objet d'une étude approfondie pour bien faire appréhender la notion d'équivalence à travers des suivis conductimétriques et le titrage d'espèces colorées avec des réactions d'oxydo-réduction. Ils étaient repris en classe de terminale avec les suivis pHmétriques et le choix des indicateurs colorés pour les réactions acido-basiques. Ils sont désormais introduits en classe de terminale dans la partie « agir » autour du « contrôle de la qualité par dosage^(b) » ; il s'agit uniquement de titrage direct par pHmétrie, conductimétrie et indicateur de fin de réaction. Le temps consacré aux titrages est donc nettement plus faible que par le passé. En conséquence, la réflexion autour de la notion d'équivalence devra être poursuivie dans l'enseignement supérieur pour une bonne appropriation du concept. Cependant, l'autonomie et l'initiative attendues en travaux pratiques devraient amener les lycéens à avoir davantage de recul et/ou d'esprit critique lors du choix des solutions titrantes ou des résultats des titrages, avec notamment le travail engagé sur les mesures et incertitudes^(c).



- (a) Théorie de Brønsted : acides faibles, bases faibles ; notion d'équilibre ; couple acide-base ; constante d'acidité K_a . Échelle des pK_a dans l'eau, produit ionique de l'eau ; domaines de prédominance (cas des acides carboxyliques, des amines, des acides aminés).
- (b) Dosages par titrage direct ; réaction support de titrage, caractère quantitatif ; équivalence dans un titrage, repérage de l'équivalence pour un titrage pHmétrique, conductimétrique et par utilisation d'un indicateur de fin de réaction.
- (c) Marchal F., Rabier P., Evaluation de l'incertitude de mesure du titre hydrotimétrique d'une eau de boisson, *Le Bup*, 2011, 105(935), p. 719 ; Ducamp C., Hallery I., Marchal F., Estimation de l'incertitude de la mesure, détermination expérimentale du degré d'acidité du vinaigre, *L'Act. Chim.*, 2013, 374, p. 36.

Quelles conséquences pour la conception des programmes de 1^{ère} année de CPGE ou de L1 ?

Lors de l'élaboration des programmes de chimie de CPGE, les concepteurs se sont placés dans un esprit de continuité avec le secondaire, ce qui est explicité dans le préambule commun aux programmes de toutes les filières⁽²⁾. Les contenus disciplinaires débutent tous par l'évolution des systèmes, vers l'état d'équilibre d'une part et leur évolution temporelle d'autre part. Signalons que les compétences expérimentales exigibles s'appuient sur la même grille que celle introduite au lycée et utilisée lors de l'épreuve d'évaluation des compétences expérimentales du baccalauréat [4]. Enfin, les approches documentaires prolongent les analyses et synthèses de documents et les résolutions de problèmes, introduites en spécialité de physique-chimie, sont généralisées à toutes les filières de CPGE.

Dans toutes les universités françaises, les programmes d'enseignement étaient habilités tous les quatre ans par leur ministère de tutelle. Lors de la dernière campagne d'habilitation, l'Agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (AERES) a été mandatée par le Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MESR) pour effectuer les expertises sur les offres de formation proposées. Cette évaluation s'est faite dès 2009 (vague A), lors de plusieurs vagues, et se poursuit actuellement. Dans tous les rapports rendus par l'AERES [5], les items officiels analysés sont les suivants : le projet pédagogique, les dispositifs d'aide à la réussite, l'insertion professionnelle, la poursuite des études et le pilotage des licences. Dans la plupart des universités, les nouveaux parcours de formation proposés permettent une orientation progressive des étudiants en licence (selon le schéma LMD [6]). Certaines universités proposent en plus des parcours dits « spécifiques » ou « spéciaux » (préparations entrée écoles d'ingénieurs, parcours concours et recherche, parcours aménagé pour les bacheliers technologiques), souvent à capacité d'accueil limitée [7]. Force est de constater que, au regard du calendrier de la réforme des programmes du lycée, tous les enseignements universitaires mis en place à ce jour ont été réfléchis sur la base des anciens programmes de lycée.

En termes d'organisation, dans la majorité des habilitations déposées, les enseignements sont structurés autour d'un cours magistral, de travaux dirigés et de travaux pratiques. Or, si cette ancienne répartition correspondait à la vision de l'enseignement à l'université il y a quelques années, il est difficile aujourd'hui d'accueillir dans ce cadre les nouveaux étudiants issus de la réforme du lycée décrite précédemment. À cela s'ajoute le fait que toutes les réformes pédagogiques se heurtent souvent à des problèmes logistiques liés essentiellement au manque de places et de salles d'enseignement disponibles. Il faut souligner également que dans le cadre de la loi relative aux libertés et responsabilités des universités appelée aussi loi sur l'autonomie des universités [8], les différences de coût d'un enseignement dispensé en cours magistral ou en travaux dirigés sont davantage prises en considération. Durant cet atelier des JIREC 2012, les échanges ont porté sur l'ensemble de ces aspects et changements.

En termes de présentation des contenus des offres de formation, les syllabus proposés aux étudiants présentent un résumé succinct des connaissances enseignées, mais en aucun cas des outils pédagogiques mis en œuvre pour l'apprentissage des contenus. Le contrôle des connaissances

en L1 prend la forme, soit d'un contrôle continu tout au long du semestre, soit de partiels et d'un examen terminal à la fin du semestre.

Si l'on s'intéresse aux offres de formation dans le domaine « Sciences, technologie et santé », et particulièrement à la mention « sciences de la matière », les disciplines enseignées sont généralement les mathématiques, la mécanique, l'informatique, les sciences pour l'ingénieur, la physique et la chimie. Ces formations correspondent à la demande du MESR : « **La première année de licence est moins spécialisée et est davantage recentrée sur les fondamentaux** (nouvelles technologies, langues, méthodologie, expression écrite et orale...) » [9]. En fonction des maquettes proposées par chaque établissement, certaines de ces matières peuvent faire partie d'enseignements d'exploration (appelés d'approfondissement ou de découverte) ; ils permettent aux étudiants de conforter leur choix d'orientation ou de se réorienter dès la fin du premier semestre de L1.

Intéressons-nous maintenant plus particulièrement à la chimie. À la lecture des nouveaux programmes de lycée, les étudiants arrivant à l'université en septembre 2013 vont être confrontés en plus des nouvelles structures d'enseignement déjà citées, à une méthode d'apprentissage totalement différente. Les **deux points forts** de la réforme des programmes du lycée portent sur l'**autonomie** des élèves et la **démarche d'investigation** [10]. Le **point faible** est lié à la diminution des heures d'enseignement de physique-chimie. Jusqu'à présent, les travaux pratiques, surtout en L1, n'utilisaient pas ou peu la démarche d'investigation. Ces deux nouveaux paramètres (*techniques pédagogiques d'apprentissage* et *nouveaux contenus des programmes*) doivent être intégrés de manière urgente dans les enseignements de L1 alors même que la dernière habilitation universitaire vient à peine d'être mise en place dans certaines universités pour plusieurs années, sans calendrier pour les futures modifications. Cette intégration devra donc se faire hors du cadre de l'habilitation. Lors des discussions menées durant cet atelier, les enseignants présents affichaient une connaissance succincte sur ces deux points clés. Pour certains, leurs inquiétudes portaient sur le contenu dans les matières scientifiques en général enseignées au lycée. La suppression de notions mathématiques, comme les équations différentielles, indispensables aux enseignements de physique ou de chimie, est apparue comme alarmante pour la plupart des enseignants universitaires présents ; il conviendra donc de les faire acquérir en L1.

Conclusion

Pour préparer les élèves à l'enseignement supérieur, leur autonomie a été développée au collège et au lycée par le biais d'activités variées, comme les tâches complexes, les démarches d'investigation et les résolutions de problèmes. La prise en charge de ces « nouveaux » lycéens à l'université, et dans toutes les autres formations post-baccalauréat, nécessitera de la part des enseignants de l'enseignement supérieur la connaissance des contenus et des méthodes d'enseignement au lycée. De même que des commissions d'enseignants sont mises en place afin d'améliorer les transitions école-collège et collège-lycée, il serait très opportun de transposer ces dispositifs à la transition lycée-enseignement supérieur. Cela nécessitera des rencontres structurées et préparées entre enseignants du second degré et enseignants de filières post-baccalauréat afin que les enjeux de la formation des élèves-étudiants dans le cadre du cycle bac - 3, bac + 3 soient partagés par tous les acteurs.

Notes et références

- * Annexe téléchargeable librement sur le site www.lactualitechimique.org, à partir de la page liée à cet article.
- [1] 30 minutes en seconde et 1 h 30 en première S de moins en physique-chimie par semaine, ce qui conduit à globalement 72 h de chimie en moins.
 - [2] « Le programme de chimie de la classe de PCSI s'inscrit dans une double continuité, celle des programmes du lycée rénové et celle des enseignements dispensés dans les écoles d'ingénieurs, et plus généralement des poursuites d'études universitaires. »
 - [3] *Bacheliers scientifiques des voies générale et technologique à compter de la session 2013 ; Formation en physique-chimie au collège et au lycée*, document rédigé par le groupe physique-chimie de l'Inspection générale de l'Éducation nationale : <http://eduscol.education.fr/pid26017/programmes-du-lycee.html>
 - [4] <http://eduscol.education.fr/cid58020/des-sujets-de-physique-chimie-au-baccalaureat.html>
 - [5] *Nouveaux profils des étudiants scientifiques en physique-chimie, à partir de la rentrée 2013*, Document de l'Inspection générale de l'Éducation nationale, groupe physique-chimie : http://eduscol.education.fr/mnst/actualites/profils_en_physique-chimie_des_bacheliers_scientifiques_2013
 - [6] <http://physique.discipline.ac-lille.fr/lycee/terminale/terminale-s/evaluations-des-capacites-experimentales/liste-des-sujets/cahier-des-charges/view>
 - [7] www.aeres-evaluation.fr
 - [8] www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid20190/organisation-licence-master-doctorat-l.m.d.html
 - [9] www.unistra.fr ; www.univ-tlse3.fr ; www.univ-lille1.fr/etudes/Organisation-etudes/Parcours_specifiques
 - [10] Loi n° 2007-1199 du 10 août 2007 relative aux libertés et responsabilités des universités : www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000824315, consulté le 20/02/2013.
 - [11] www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid20277/licence.html
 - [12] Bataille X., Beauvineau E., Cheymol N., Mas V., Vigneron M., La démarche d'investigation pour motiver les étudiants : exemple d'un TP sur la spectroscopie infrarouge, *L'Act. Chim.*, **2009**, 334, p. 41 ; Bataille X., Beauvineau E., Calafell J., Cheymol N., Szymczak A., Vigneron M., Évaluer les activités expérimentales..., *L'Act. Chim.*, **2010**, 344, p. 15 ; d'Ham C., La construction de protocole expérimental : objet et moyen

d'apprentissage, *Les Cahiers Pédagogiques*, **2009**, n° 469, www.cahiers-pedagogiques.com/La-construction-de-protocole ; d'Ham C., Girault I., Dans quelles conditions les apprenants peuvent-ils concevoir leurs expérimentations au cours d'investigations scientifiques ?, www.lcc-toulouse.fr/jirec2012/IMG/pdf/Presentation_JIREC-2012_dHam.pdf.



M.-B. Mauhourat



B. Garreau-de Bonneval



K. Fajerberg

Marie-Blanche Mauhourat

est Inspectrice générale de l'éducation nationale, groupe de physique chimie de l'Inspection générale*.

Bénédicte Garreau-de Bonneval et **Katia Fajerberg** sont maîtres de conférences à l'Université Toulouse 3 – Paul Sabatier**.

* Inspection générale de l'Éducation nationale, 107 rue de Grenelle, F-75007 Paris.

Courriel : marie-blanche.mauhourat@education.gouv.fr

** Laboratoire de Chimie de Coordination, 205 route de Narbonne, F-31077 Toulouse Cedex.

Courriels : katia.fajerberg@lcc-toulouse.fr ; benedicte.debonneval@lcc-toulouse.fr

Enseignement de la spectroscopie de résonance magnétique nucléaire

Véronique Gilard et André Gilles

Mots-clés Résonance magnétique nucléaire, RMN, spectroscopie, programme de terminale S, enseignement, JIREC 2012.

Cet atelier à destination des enseignants en lycée avait pour objectif d'échanger autour de l'enseignement de la résonance magnétique nucléaire (RMN) et de la façon d'aborder cet enseignement en terminale. Les programmes de RMN en terminale S ou STL spécifient qu'aucune notion théorique ne peut être exigée. Il s'agit de donner aux élèves les moyens d'interpréter des spectres de molécules simples.

Enseigner la RMN en terminale

Dans le cadre de ce programme (voir encadré), les élèves doivent pouvoir :

- utiliser des tables simplifiées de valeurs de déplacement chimique ;
- utiliser la courbe d'intégration ;
- appliquer la règle $n + 1$.

Extrait du programme de terminale S*

Spectres de RMN du proton

Identification de molécules organiques à l'aide :

- du déplacement chimique
- de l'intégration ;
- de la multiplicité du signal : règle des $(n + 1)$ -uplets

Relier un spectre de RMN simple à une molécule organique donnée, à l'aide de tables de données ou de logiciels. Identifier les protons équivalents ; relier la multiplicité du signal au nombre de voisins.

Extraire et exploiter des informations sur différents types de spectres et sur leurs utilisations.

* MENE1119475A arrêté du 12-7-2011 - JO du 20/09/2011.

Il faut noter que la notion de couplage et l'utilisation des constantes de couplage ne sont pas au programme. La difficulté pour un élève confronté pour la première fois à un spectre de RMN sera d'appréhender puis d'analyser l'ensemble des informations présentes dans le spectre de RMN : déplacement chimique, intégration et multiplicité.

La présentation des notions élémentaires de RMN n'est pas l'objet de cet article. Le lecteur intéressé pourra se reporter aux nombreux ouvrages et sites pédagogiques mis à la disposition des enseignants (voir les références données en fin d'article).

La meilleure façon de présenter l'intérêt de la RMN peut être, pour débiter, de montrer la complémentarité des deux techniques spectroscopiques au programme : l'infrarouge (IR) et la RMN. Dans cette optique, nous avons développé les exemples des spectres de deux esters, le butanoate d'éthyle et le propanoate de propyle, pour lesquels il est aisé de montrer l'apport de la RMN pour la détermination d'une structure développée alors que l'infrarouge ne permet que la détermination de groupes fonctionnels.

La *figure 1* présente les spectres obtenus par spectroscopie IR pour ces deux esters qui sont très similaires. Les bandes d'élongation caractéristiques de la fonction ester, des vibrations C=O ($\sim 1740 \text{ cm}^{-1}$) et C-O ($\sim 1190 \text{ cm}^{-1}$) sont facilement détectables.

Si la spectroscopie IR ne permet pas une discrimination structurale entre ces deux isomères, le spectre de RMN ^1H assure au contraire une distinction aisée, en particulier par l'analyse de la multiplicité des protons méthylènes voisins de la fonction ester. Ainsi, suivant l'ester considéré, le signal le plus déblindé* correspondant au $-\text{CH}_2-\text{O}$ ($\delta \approx 4,1 \text{ ppm}$) est soit un quadruplet, soit un triplet ; il en est de même pour le $-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O}$ ($\delta \approx 2,3 \text{ ppm}$). Ces cas d'esters montrent bien à l'élève l'intérêt de combiner deux méthodes spectroscopiques pour une détermination structurale. La spectroscopie IR permet d'identifier le groupement caractéristique et la RMN de déterminer sa position dans la molécule.

Nous nous sommes ensuite attachés à montrer que des molécules pourtant simples peuvent présenter des spectres relativement complexes ou soulever des difficultés pédagogiques imprévues. Certains points délicats abordés sont brièvement présentés ci-après :

• Les protons labiles des groupes -OH et -NH

Le couplage de ces protons labiles n'est généralement pas observé avec les protons voisins ; ceci est lié au phénomène d'échange de ces protons et à la vitesse de cet échange. À très basse température ou dans des solvants particuliers, on peut observer les couplages de ces protons avec ceux portés par les carbones voisins. Il semble admis qu'en classe terminale, on ne présentera que des spectres avec des singulets pour ces protons labiles.

• Le proton du groupe aldéhyde

Le couplage du signal de ce proton avec les protons des carbones voisins, bien que parfois faible, est observable ; c'est par exemple le cas sur le spectre de l'éthanal où l'on observe un quadruplet ($^3J_{\text{HH}} < 3 \text{ Hz}$). Le spectre se complique dès que la chaîne s'allonge quelque peu. Ainsi pour le propanal, les deux protons du carbone central donnent un quadruplet du fait du fort couplage avec les trois protons du carbone terminal. Mais chaque composante de ce quadruplet (*figure 2*) est décomposée en un doublet par le faible couplage avec le proton du groupe aldéhyde. Ceci est visible même sur un spectre à basse résolution. Ce cas, qui nécessite donc d'appliquer la règle $n + 1$ deux fois successivement, est à la limite du programme de terminale.

• Les protons éthyléniques

Ce cas est complexe car les trois couplages des protons en position *cis* ou en position *trans* ou portés par le même carbone sont tous très différents. C'est le cas du styrène (*figure 3*) pour lequel le couplage géminé (protons portés par le même carbone) est faible ($\approx 1 \text{ Hz}$) et non observable sans étalement du spectre RMN ($J_{\text{trans}} > J_{\text{cis}} > J_{\text{gém}}).$ H_B et H_C ne sont pas équivalents : chacun donne un doublet car il est couplé à H_A . Le proton H_A donne quant à lui un doublet dédoublé du fait des deux couplages différents au lieu d'un triplet.

• Les protons portés par des cycles benzéniques

La spectroscopie de RMN permet d'établir les positions de substituants portés par un cycle aromatique.

Examinons la *figure 4* qui représente l'étalement du spectre de RMN de l'acide acétylsalicylique entre 7 et

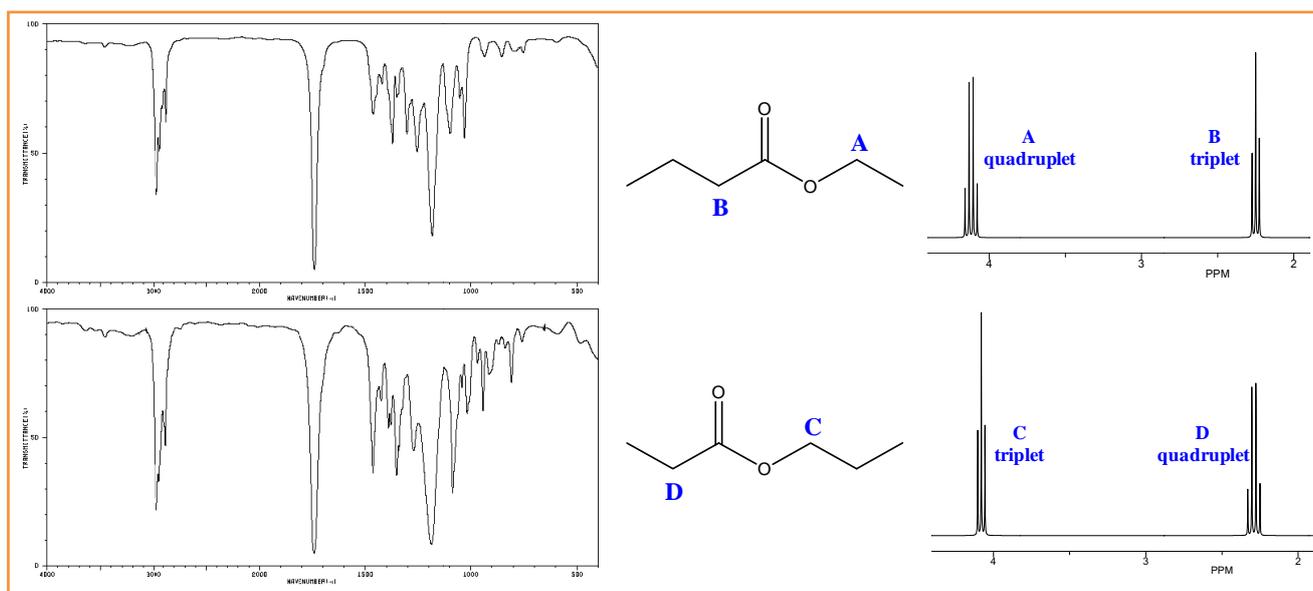


Figure 1 - Spectres IR (SDBSWeb <http://sdbb.riondb.aist.go.jp> - National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 16/04/2013) et spectres de RMN ^1H (spectre partiel de la zone 1,9-4,3 ppm, simulation ChemDraw) du butanoate d'éthyle et du propanoate de propyle.

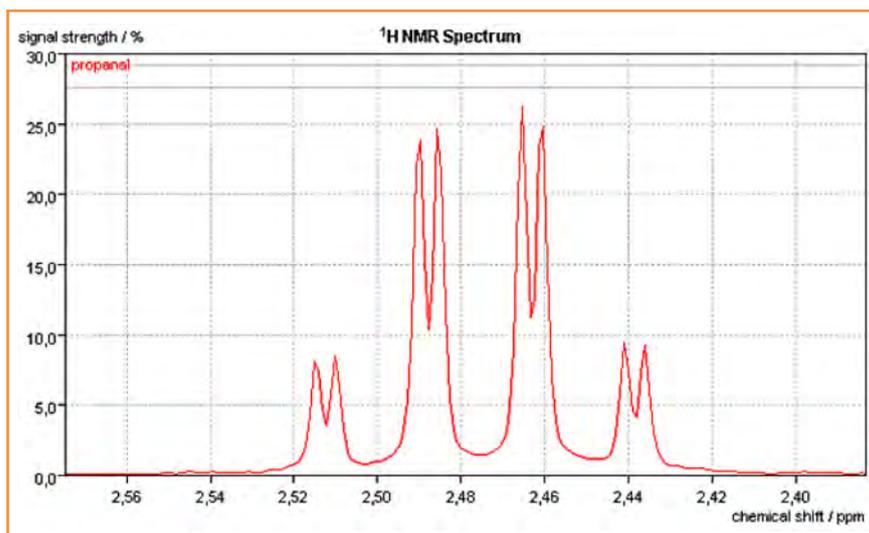


Figure 2 - Étalement du signal du CH₂ du spectre de RMN ¹H du propanal (www.le.ac.uk/spectraschool).

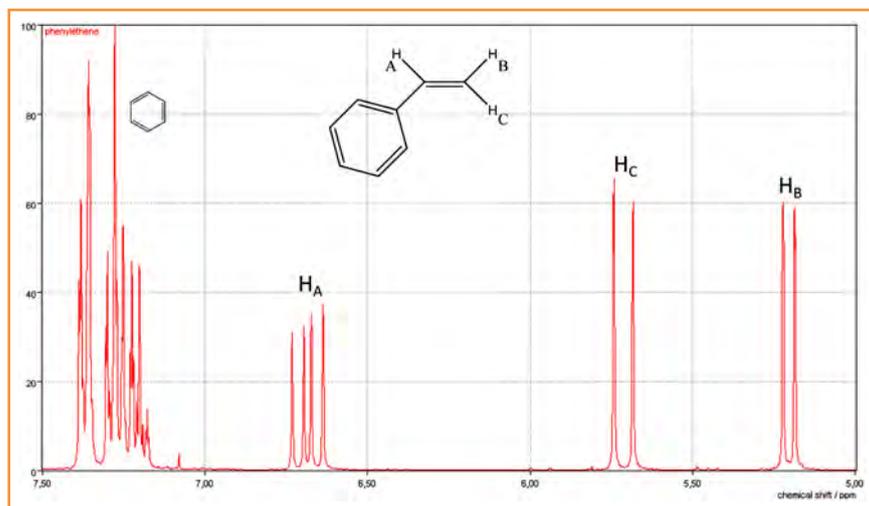


Figure 3 - Spectre de RMN ¹H du styrène (www.le.ac.uk/spectraschool).

8,2 ppm (protons du cycle aromatique). Cette molécule a été choisie car elle est fréquemment rencontrée dans les ouvrages de terminale.

En première approximation, on peut ne tenir compte que du couplage entre les protons qui se trouvent en position *ortho* l'un par rapport à l'autre sur le cycle, c'est-à-dire portés par des carbones voisins. On voit que les protons (c) et

(f) donnent deux doublets alors que les protons (d) et (e) donnent deux triplets. Le spectre confirme donc que dans l'acide acétylsalicylique, les deux substituants sont en position *ortho*. L'approche qui vient d'être décrite est en adéquation avec le programme de terminale.

Une attribution plus précise des quatre multiplets n'est pas indispensable et sortirait du cadre du programme de terminale. Elle nécessite de prendre en compte les effets de blindage ou déblindage des deux substituants : le groupe acide attracteur a un effet de déblindage sur le proton (c) et plus faiblement sur le proton (e) ; le groupe ester donneur a un effet de blindage sur le proton (f) et très faiblement sur le proton (d). Avec ces informations, il est aisé de procéder aux attributions : (c) à 8,11-8,13 ppm ; (e) à 7,59-7,62-7,65 ppm ; (d) à 7,33-7,35-7,38 ppm ; (f) à 7,12-7,15 ppm.

Le cas du paracétamol est également intéressant car cette molécule présente une symétrie où les protons (c) et (g) d'une part et les protons (d) et (f) d'autre part sont équivalents.

La figure 5 présente le spectre de RMN du paracétamol entre 10,00 et 1,00 ppm. En première approche, on observe deux doublets dans la zone des pics des protons aromatiques : en effet, chaque proton est principalement couplé au proton du carbone voisin. Le spectre rend bien compte de la disubstitution en *para* du cycle aromatique de cette molécule.

Conclusion

L'enseignement de la spectroscopie de RMN dans le cadre des programmes de terminale doit passer par un choix d'exemples judicieux, soit pédagogiquement très simples (alcane, esters), ou s'ils sont plus complexes (alcools, alcènes, cycles aromatiques), doit montrer et considérer les difficultés pédagogiques éventuelles qui peuvent aller au-delà du cadre du programme. C'est sur ce point que nous avons choisi d'accentuer cet article car après une première année d'enseignement de la spectroscopie de RMN dans les lycées, les enseignants peuvent être amenés à varier les

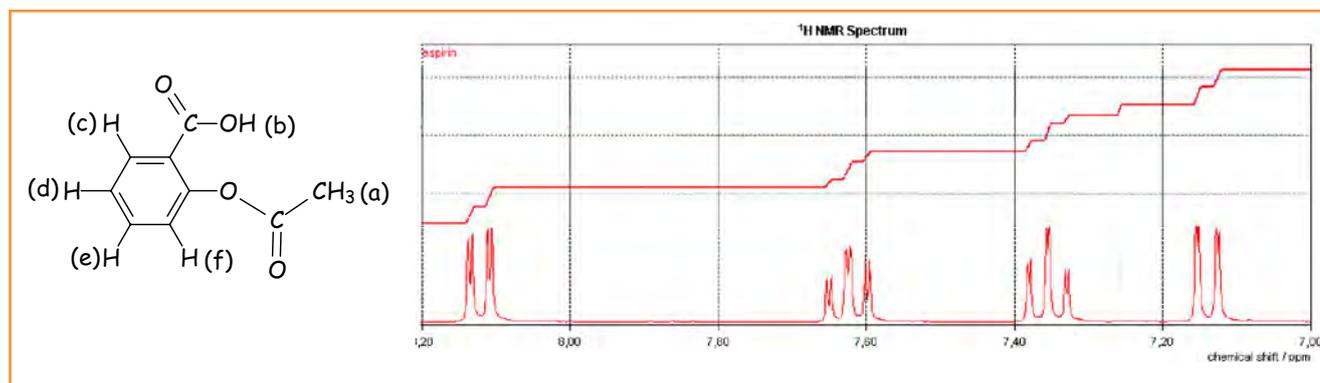


Figure 4 - Spectre de RMN ¹H des protons aromatiques de l'acide acétylsalicylique (étalement 7-8,2 ppm) (www.le.ac.uk/spectraschool).

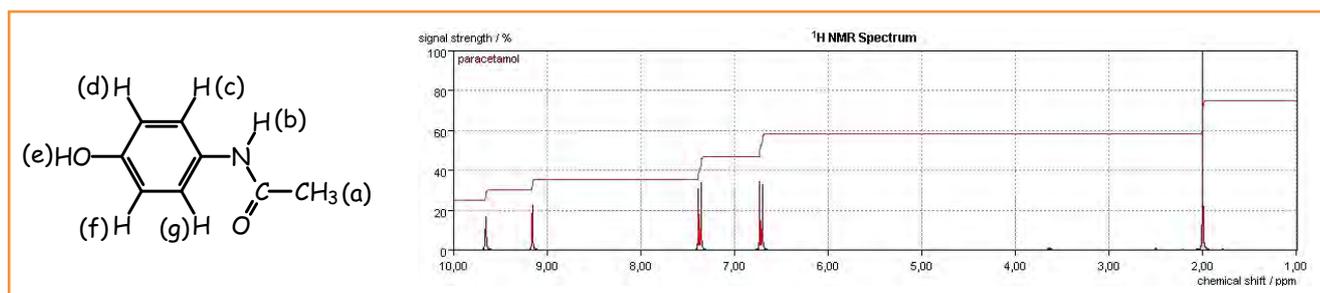


Figure 5 - Spectre de RMN ^1H du paracétamol (www.le.ac.uk/spectraschool).

sources documentaires et être alors confrontés à certains cas présentant des difficultés pédagogiques. Les premiers bacheliers ayant suivi cet enseignement de spectroscopie de RMN vont arriver dans l'enseignement supérieur à la rentrée 2013-2014 où ces cas plus délicats seront alors abordés.

Références documentaires pour l'enseignement en terminale ou pour la 1^{ère} année de l'enseignement supérieur

Cours très simples

- www.web-sciences.com/documents/terminale/tedo06/teco06.php
- culturesciences.chimie.ens.fr/category/terminale-s-58?page=5

Cours au niveau terminale

- physique-chimie-lycee.fr/cours-terminale-s-chimie/obs04_3-spectre-rmn.html

Fiches pédagogiques

- www.ac-limoges.fr/physique-chimie/spip.php?article286
- www.sciences-edu.net/physique/specamp/Landel_TP_06_Spectres_RMN.pdf
- pedagogie.ac-toulouse.fr/sc_phy/site_php/IMG/pdf/3_RESSOURCES_analyse_spectrale_RMN_VF-.pdf
- www.ac-paris.fr/portail/jcms/p1_568216/des-spectres-rmn

Cours de RMN assez complet qui dépasse nettement le programme de terminale S

- www2.ac-lyon.fr/enseigne/physique/phychi2/spip.php?article419

Sites d'exercices

- www.unice.fr/cdiec/multispectroscopie
- www.chem.ucla.edu/~webspectra
- www.nd.edu/~smithgrp/structure/pbm_table.html

Ouvrages de références

- Silverstein R.M., Webster F.X., Kiemle D.J., *Identification spectrométrique de composés organiques*, 2^e éd., De Boeck, **2007**.
- Field L.D., Strenhell S., Kalman J.R., *Organic Structures from Spectra*, 5th ed., Wiley, **2013**.
- Hesse M., Meier H., Zeeh B., *Méthodes spectroscopiques pour la chimie organique*, Masson, **1997**.
- Gunther H., *La spectroscopie de RMN - Principes de base, concepts et applications de la spectroscopie de résonance magnétique nucléaire du proton et du carbone 13 en chimie*, Masson, **1993**.

* La présence d'un groupe attracteur accroît le déplacement chimique des protons : c'est l'effet de « déblindage ». L'effet d'un groupe -OR ou -O-COR est plus fort que celui du groupe -CO-OR. Cette notion n'est pas exigible en terminale.



V. Gilard

Véronique Gilard

est professeur à l'Université Toulouse 3 – Paul Sabatier (Groupe de RMN Biomédicale, Laboratoire de synthèse et Physicochimie de Molécules d'Intérêt Biologique-UMR5068)*.

André Gilles**

est professeur CPGE retraité.



A. Gilles

* Université Toulouse 3 – Paul Sabatier, Groupe de RMN Biomédicale, Laboratoire de synthèse et Physicochimie de Molécules d'Intérêt Biologique-UMR5068, 118 route de Narbonne, F-31062 Toulouse Cedex 9.
Courriel : gilard@chimie.ups-tlse.fr

** Courriel : a.gilles@orange.fr
www.udppc.asso.fr/national

Synthèse organique et chimie verte

Julien Calafell, Françoise Milon et Martine Urrutigoity

Mots-clés

JIREC 2012, enseignement, addition, élimination, substitution, chimiosélectivité, modification de chaîne, modification de groupe caractéristique, nouveaux programmes, chimie organique, chimie verte, économie d'atomes.

L'atelier de chimie organique/chimie verte des JIREC 2012 a rassemblé une quarantaine de personnes enseignant essentiellement dans le secondaire. Les points délicats du nouveau programme de terminale scientifique [1], tels que modification de chaîne ou de groupe caractéristique, attribution de la catégorie de réaction et chimiosélectivité, ont été abordés sous forme de questions qui ont donné lieu à discussion. Pour la partie chimie verte nouvellement introduite, la notion d'économie d'atomes a été plus particulièrement développée.

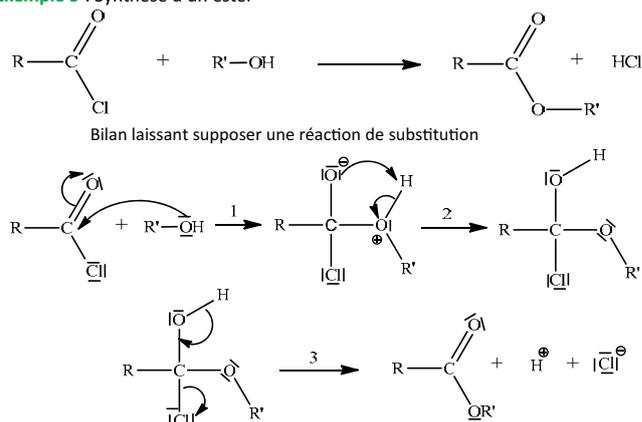
Modification de chaîne et modification de groupe caractéristique

On demande aux nouveaux élèves de terminale scientifique de savoir distinguer une modification de chaîne d'une modification de groupe caractéristique. Si la réponse est évidente dans certains cas (figure 1, exemples 1, 2 et 3), dans d'autres, la distinction est plus compliquée. L'exemple 4, dans lequel on modifie à la fois la chaîne et le groupe caractéristique, a fait l'objet d'une discussion qui nous a conduits à considérer que le but recherché est la modification de chaîne ; la modification du groupe caractéristique n'est le plus souvent qu'une conséquence de cette dernière. On remarquera que dans l'exemple 3, la chaîne n'est pas modifiée car même si le nombre d'atomes de carbone augmente, il n'y a pas de modification de liaisons C-C.

Grandes catégories de réactions

Il est demandé aux nouveaux élèves de savoir déterminer la catégorie d'une réaction (substitution, élimination et addition) ; deux points relatifs à cette compétence ont attiré notre attention. Il est tout d'abord important de noter que cette manière de classer les réactions n'est pas exclusive de leur classement dans les réactions d'oxydoréduction (la réaction de bromation des alcènes est une addition, mais aussi une oxydation ; l'hydrogénation des alcènes est une addition, mais aussi une réduction) et qu'il existe des réactions d'échange de protons. D'autre part, si pour les réactions d'addition et d'élimination, la catégorie de réaction est le plus souvent identique selon que l'on s'intéresse au bilan ou au mécanisme réactionnel, ce n'est pas toujours le cas des réactions de substitution [2]. Dans les exemples 5 et 6 (figure 2), le bilan laisse supposer une réaction de substitution. Si le mécanisme de la réaction 6 est en accord avec une telle conclusion, le mécanisme de la réaction 5 de synthèse d'un ester relève d'une réaction d'addition suivie d'une élimination.

Exemple 5 : Synthèse d'un ester



Mécanisme = étapes d'addition (étapes 1 et 2) et d'élimination (étape 3)

Exemple 6

Bilan = substitution : $I^- + CH_3Cl \rightarrow CH_3I + Cl^-$

Mécanisme = substitution :

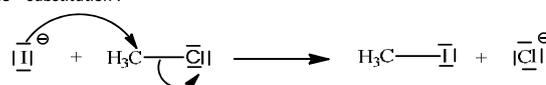


Figure 2 - Catégorie de réaction.

Une longue discussion a eu lieu à ce sujet lors de l'atelier car les collègues enseignant dans le supérieur craignent que les élèves de lycée cherchent à appliquer le mécanisme de substitution à l'estérification. Pour éviter ce problème, peut-être faut-il éviter de traiter ces exemples complexes (addition-élimination), ou alors traiter en parallèle le mécanisme (en demandant aux élèves d'utiliser le formalisme des flèches).

Chimiosélectivité

Dans l'exemple 7 de la figure 3 (synthèse bien connue du paracétamol), les deux groupes $-NH_2$ et $-OH$ sont susceptibles de réagir avec l'anhydride d'acide et seul le groupe amine $-NH_2$ réagit ; on dit que l'anhydride éthanóïque est un réactif chimiosélectif. Une lecture rapide de l'exemple 8 pourrait laisser penser que le réactif de Jones est un réactif chimiosélectif, le groupe acide carboxylique n'ayant pas été modifié. Or ce groupe ne peut pas réagir avec le réactif de Jones. Nous proposons donc la définition suivante : un réactif est chimiosélectif si parmi plusieurs groupes caractéristiques d'une même molécule susceptibles de réagir, l'un d'eux réagit préférentiellement avec le réactif considéré. Le problème est que les élèves n'ont pas la culture suffisante en chimie organique pour savoir si un groupe est susceptible ou pas de réagir ; il faudra donc leur donner cette information. Nous proposons de donner aux élèves la réaction de synthèse de l'aspirine en complément de l'exemple 7 (où on voit bien que la fonction phénol est susceptible de réagir avec l'anhydride éthanóïque) et une information sur la

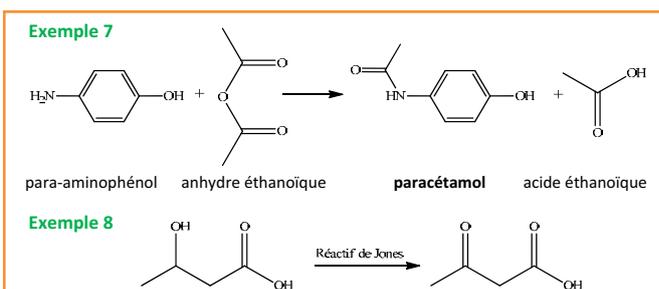


Figure 3 - Utilisation de réactifs chimiosélectifs.

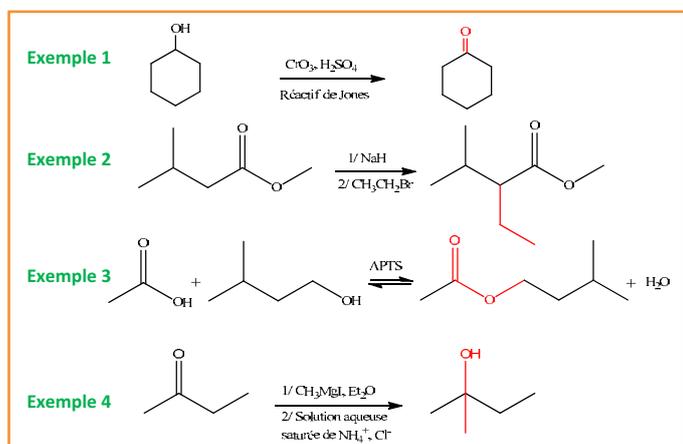


Figure 1 - Modification de groupe caractéristique (exemples 1 et 3) et de chaîne (exemples 2 et 4).

non-suroxydation de la fonction acide carboxylique en complément de l'exemple 8 afin de pouvoir répondre.

Chimie verte

La chimie actuelle représente une force économique importante car elle façonne toute la matière utilisée, entre autres, dans l'industrie. Mais pour ne pas compromettre l'environnement et les ressources naturelles, la démarche des chimistes est maintenant de mettre en œuvre les douze principes de la chimie verte déclinés par Anastas et Warner [3]. La chimie verte, indispensable à un développement durable, est abordée dans les nouveaux programmes de première (sous l'aspect énergétique) et terminale scientifique (apports de la chimie au respect de l'environnement). La chimie verte peut être définie comme la conception, le développement et l'élaboration de produits et procédés chimiques pour minimiser ou éliminer l'utilisation et la génération de substances dangereuses pour la santé et l'environnement [4]. Cette démarche s'attache avant tout à produire en minimisant les déchets, en réduisant au maximum l'emploi de produits toxiques et en utilisant des réactions rapides et efficaces. Parmi ces douze principes, sept présentent un intérêt particulier pour la chimie organique en synthèse :

- éviter les déchets,
- maximiser l'économie d'atomes,
- concevoir des synthèses chimiques moins dangereuses,
- augmenter l'efficacité énergétique,
- utiliser des matières premières renouvelables,
- réduire le nombre de dérivés chimiques utilisés,
- utiliser des catalyseurs.

Le second principe de la chimie verte – maximiser les économies d'atomes – peut être illustré par la définition donnée par B.M. Trost [5] : l'économie d'atomes correspond à l'incorporation, dans le produit final de la réaction, des atomes présents dans les réactifs de départ afin de limiter la quantité de sous-produits et par conséquent de déchets. Dans une synthèse idéale, selon cet unique principe, tous les réactifs de départ se retrouvent dans le produit final à 100 %

Dans la chimie conventionnelle, l'obtention du rendement maximal R était la préoccupation principale :

$$R(\%) = \frac{\text{masse de produit obtenu}}{\text{masse théorique de produit}} \times 100$$

Dans la chimie durable, l'économie d'atomes (EA) entre en jeu et va être définie comme le rapport pondéré de la masse molaire du produit sur la somme des masses molaires des réactifs :

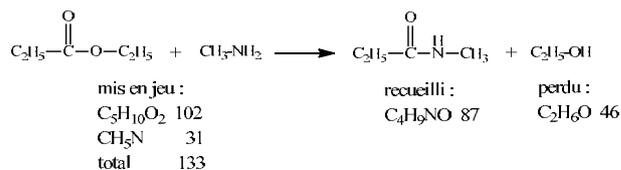
$$EA = \frac{\sum a_i \times M_i(\text{produit désiré})}{\sum b_j \times M_j(\text{réactif})} \times 100$$

où a_i et b_j sont des nombres stœchiométriques et M_i la masse molaire (en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$).

La figure 4 présente des exemples illustrant la notion d'économies d'atomes.

Dans la chimie verte, l'utilisation de solvants plus respectueux de l'environnement est également prise en compte. En effet, les solvants utilisés en chimie organique présentent les inconvénients de toxicité et d'inflammabilité. Une solution de remplacement aux solvants organiques membres de la famille des COV (composés organiques volatils), qui apparaît comme la plus prometteuse, est l'utilisation de solvants de substitution qui sont ininflammables, peu toxiques, avec des tensions de vapeur minimales, tels que les liquides ioniques, le

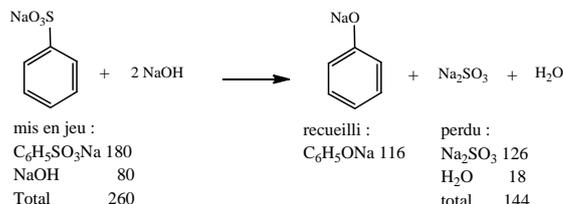
Exemple 9 : Réaction d'aminolyse d'un ester



$$\text{Économie d'atomes : } EA = 87/133 \times 100 = 65,4 \%$$

L'éthanol étant un solvant que l'on peut recycler facilement, l'économie d'atomes est alors de 100 %.

Exemple 10 : Synthèse du phénol par fusion alcaline d'un sulfonate



$$\text{Économie d'atomes : } EA = 116/260 \times 100 = 44,6 \%$$

Ce procédé a été abandonné depuis plusieurs années au profit de la réaction d'oxydation du cumène qui, à partir de l'hydroperoxyde de cumyle formé, permet d'obtenir du phénol et de l'acétone. Les deux produits étant utiles, on peut considérer que l'économie d'atomes est de 100 %.

Figure 4 - Exemples illustrant la notion d'économies d'atomes.

CO_2 supercritique, le polyéthylène glycol ou les carbonates de dialcyles, pour ne citer que ceux-là.

Conclusion

En fin d'atelier, les animateurs ont proposé des activités type bilan permettant d'illustrer les différentes parties du programme de chimie organique : formalisme des flèches, stéréochimie, spectroscopies, catégories de réactions, réactifs chimiosélectifs et chimie verte. Ces différentes parties sont intimement liées ; entre autres exemples : une réaction d'addition est parfaite en termes d'économie d'atomes (principe n° 2), la chimiosélectivité permet d'éviter l'usage de groupes dérivés (groupes protecteurs, principe n° 8), etc.

Références

- [1] *Bulletin officiel de l'Éducation nationale* spécial n° 8 du 13 octobre 2011.
- [2] Calafell J., Milon F., Gilles A., Détermination du type d'une réaction en chimie organique, *Le Bup*, 2013, 951, p. 129.
- [3] Anastas P.T., Warner J.C., *Green Chemistry Theory and Practice*, Oxford University Press, 1998.
- [4] Colonna P., *La Chimie verte*, Lavoisier, 2006.
- [5] Trost B.-M., The atom economy: A search for synthetic efficiency, *Science*, 1991, 254, p. 1471.



J. Calafell



F. Milon

Julien Calafell est professeur CPGE au lycée Bellevue de Toulouse⁽¹⁾.

Françoise Milon est professeur agrégé à l'Université Toulouse 3 – Paul Sabatier⁽²⁾.

Martine Urrutigoity est professeur à l'ENSIACET, Toulouse⁽³⁾.



M. Urrutigoity

(1) Lycée Bellevue, 135 route de Narbonne, BP 44370, F-31031 Toulouse Cedex 4.

(2) Université Paul Sabatier, 118 route de Narbonne, F-31062 Toulouse Cedex 9.

(3) Courriel : francoise.milon@univ-tlse3
ENSIACET, 4 allée Émile Monso, F-31030 Toulouse Cedex 4.

Courriel : Martine.Urrutigoity@ensiacet.fr

Zoom sur la pratique expérimentale autour des nanoparticules

Le but de ce document n'est pas de délivrer clés en mains des contenus relatifs à une **pratique expérimentale** autour des **nanomatériaux** (thème : « Synthèse de nouvelles molécules et nouveaux matériaux »), mais d'exposer brièvement la démarche de cette activité et l'objectif du nouveau programme de spécialité de physique-chimie en terminale S. Les nanomatériaux, et de surcroît les nanoparticules, appartiennent à la partie « Agir – défis du XXI^e siècle ». La principale contrainte implique que l'ensemble des notions et contenus explicités dans le programme soit traité dans la perspective de l'acquisition par tous les élèves des compétences exigibles précisées dans le programme de terminale S, tout en respectant l'esprit de la démarche scientifique [1].

La démarche scientifique

« Initier l'élève à la démarche scientifique, c'est lui permettre d'acquérir des **compétences** et le rendre capable de mettre en œuvre un **raisonnement** pour **identifier un problème, formuler des hypothèses, les confronter aux constats expérimentaux et exercer son esprit critique**. Il doit pour cela pouvoir **mobiliser ses connaissances, rechercher, extraire et organiser l'information utile, afin de poser les hypothèses pertinentes**. Il lui faut également **raisonner, argumenter, démontrer et travailler en équipe** » (extrait de [1]).

Le programme et donc la formation à la démarche scientifique se situent dans le prolongement de celui de première S [2]. Les programmes de première et de terminale de la série scientifique s'articulent autour des grandes phases de la démarche scientifique : **observer, comprendre, agir**, et s'appuient sur des entrées porteuses et modernes [1].

L'enseignement actuel de spécialité de physique-chimie en terminale S permet à l'élève de se confronter à la démarche scientifique dans son ensemble, à travers trois activités essentielles : la pratique expérimentale, l'analyse et la synthèse de documents scientifiques, et la résolution de problèmes scientifiques.

Le programme comprend trois thèmes : l'**eau**, le **son** et la **musique**, et les **matériaux**. Chacun de ces grands thèmes est lui-même divisé en sous-thèmes avec des mots-clés.

La pratique expérimentale : application à un exemple de nanoparticules

La pratique expérimentale constitue une activité essentielle du programme de spécialité de physique-chimie en terminale S. Il convient de souligner qu'elle « *doit être soutenue et diversifiée et doit favoriser l'initiative des élèves* » correspondant à la logique de la démarche d'investigation [3-4]. Cette dernière implique que les apprenants deviennent responsables de la démarche de résolution d'un problème scientifique [5]. Le but de cet enseignement est d'éveiller la curiosité, l'appétence des élèves (ou étudiants) pour les matériaux nanométriques (nanochimie) et les nouveaux matériaux d'une façon générale.

En s'inspirant de l'atelier « Matériaux et nanomatériaux » présenté aux JIREC 2012, nous exposons la démarche d'une pratique expérimentale intitulée « **Nanoparticules d'or et détection de polluants dans des eaux** », qui comprend deux axes principaux :

- la synthèse et la caractérisation des nanoparticules d'or (AuNP),
- la détection de faibles quantités de mercure.

L'enseignant exerce sa liberté de traiter ces deux aspects de différentes façons, selon ses objectifs pédagogiques et la progression qu'il souhaite mettre en œuvre avec ses élèves durant l'année scolaire. Cette activité autour des AuNP présente l'intérêt de concerner deux thèmes du programme : eau et matériaux. L'enseignant peut ainsi développer cette activité dans un thème plutôt qu'un autre suivant la sélection des documents et des expérimentations envisagées.

Des fiches « professeur » liées aux activités de l'enseignement actuel de spécialité de physique-chimie en terminale S sont disponibles sur Internet. Afin d'illustrer l'activité expérimentale autour des AuNP, un exemple de fiche [6] accompagnée de quelques idées de documents est reporté ci-après.

Fiche « professeur »

Nanoparticules d'or et détection de polluants dans des eaux

Thème 3 : matériaux

Sous-thèmes : nouveaux matériaux

Notions et contenus : nanoparticules (NP)

Mots-clés : synthèse, taille contrôlée, spectroscopie, détection, polluants, eau

Nature de l'activité : activité expérimentale

Type de ressources : documents illustrant les mots clés du programme

Résumé : l'activité permet à l'élève d'analyser diverses informations contenues dans les documents. Il s'approprie la thématique à l'issue de l'analyse de documents (cf. support de travail) et doit être capable de proposer un protocole expérimental qu'il a lui-même élaboré et qu'il expérimentera. Cette activité permet à l'élève de mettre en évidence les propriétés physico-chimiques des nanoparticules pour la détection de polluants pour des applications environnementales.

Documents supports pouvant être distribués aux élèves

- **Document 1** : protocoles simples de synthèses
- **Document 2** : influence de la nature de l'agent de stabilisation des NP
- **Document 3** : description du phénomène de résonance plasmon
- **Document 4** : influence de la taille des AuNP sphériques sur le spectre d'absorption de solutions de AuNP
- **Document 5** : détection de faibles quantités de mercure à partir d'une solution de AuNP de taille contrôlée
- **Document 6** : directive Cadre européenne sur l'eau

Compétences pouvant être mobilisées ou évaluées lors de l'activité expérimentale autour des nanoparticules d'or.

Compétences	Exemples de capacités et d'attitudes (non exhaustifs)
S'approprier	- rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation - énoncer une problématique - ...
Analyser	- formuler une hypothèse - proposer une stratégie pour répondre à la problématique - proposer une modélisation - choisir, concevoir ou justifier un protocole/dispositif expérimental - ...
Réaliser	- suivre un protocole - respecter les règles de sécurité - utiliser le matériel (dont l'outil informatique) de manière adaptée - effectuer des mesures avec précision - reporter un point sur une courbe ou dans un tableau - effectuer des calculs simples - ...
Valider	- exploiter et interpréter des observations, des mesures - vérifier les résultats obtenus - valider ou infirmer une information, une hypothèse, une propriété, une loi... - analyser des résultats de façon critique - proposer des améliorations de la démarche ou du modèle - ...
Communiquer	- utiliser les notions et le vocabulaire scientifique adaptés - présenter, formuler une proposition, une argumentation, une synthèse ou une conclusion de manière cohérente, complète et compréhensible
Être autonome, faire preuve d'initiative	- travailler seul, en équipe - proposer et discuter - ...

Pistes d'exploitation avec les élèves

Cette activité expérimentale comprend deux axes principaux :

- la **synthèse** et la **caractérisation des nanoparticules d'or** (AuNP),
- la **détection de faibles quantités de mercure**.

Ces pistes peuvent être complétées en fonction des objectifs pédagogiques de l'enseignant et du contenu des documents.

Compétences des élèves (d'après [7])

L'élève doit agir en autonomie et faire preuve d'initiative tout au long de l'activité expérimentale, qu'elle soit menée partiellement, individuellement ou en groupe.

Les compétences qui peuvent être mobilisées ou évaluées pour la réalisation de l'activité expérimentale autour des AuNP sont données dans le *tableau* ci-contre. Il peut être amendé ou complété en fonction des contenus des documents.

Conclusion

Afin de favoriser les transitions lycée-université, les interactions entre les enseignants de l'enseignement supérieur et les enseignants de lycée sont à privilégier. Les enseignants de lycée pourraient par exemple utiliser certaines publications disponibles dans les établissements de l'enseignement supérieur autour du thème matériaux. Ces publications constitueraient alors un ensemble de ressources documentaires-support qui, après quelques ajustements, pourrait être distribué aux élèves.

Références

- [1] *Bulletin officiel* spécial n° 8 du 13 octobre 2011 (www.education.gouv.fr/cid58166/au-bo-special-n-8-du-13-octobre-2011-programmes-des-classes-terminales.html).
- [2] *Bulletin officiel* spécial n° 9 du 30 septembre 2010 (www.education.gouv.fr/cid53327/mene1019556a.html).
- [3] http://eduscol.education.fr/site.physique-chimie/im_phy/activites-experimentales-en-spcfa
- [4] www.ac-grenoble.fr/disciplines/maths/file/Ressources_GeneralesInspection/JDI_5e_2006/Les_7_etapes.pdf
- [5] Etkina E., Karelina A., Ruibal-Villasenor M., Rosengrant D., Jordan R., Hmelo-Silver C., Design and reflection help students develop scientific abilities: learning in introductory physics laboratories, *The Journal of the Learning Sciences*, 2010, 30, p. 54.
- [6] www.phychim.ac-versailles.fr/IMG/pdf/act_experimentale_nanoparticules.pdf
- [7] www.ac-nancy-metz.fr/enseign/physique/IPR/Doc_officiels/fichiers/ECE-cahier%20des%20charges.pdf



L'Actualité Chimique

SCF, 28 rue Saint-Dominique, F-75007 Paris

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

redaction@lactualitechimique.org

www.lactualitechimique.org

Abonnement 2013 (numéros spéciaux inclus)

Cochez la case qui correspond à l'abonnement auquel vous voulez souscrire :

	Abonnement papier + électronique*		Abonnement électronique seul*		Abonnement multiple**	
	France	Étranger	France / Étranger	France / Étranger	(pour les lycées et les institutions)	
Particuliers	<input type="checkbox"/> 95 €	<input type="checkbox"/> 100 €	<input type="checkbox"/> 55 €	<input type="checkbox"/> 400 €		
Lycées	<input type="checkbox"/> 110 €	<input type="checkbox"/> 130 €	<input type="checkbox"/> 70 €	<input type="checkbox"/> 400 €		
Institutions	<input type="checkbox"/> 195 €	<input type="checkbox"/> 205 €	<input type="checkbox"/> 155 €	<input type="checkbox"/> 400 €		

* Courriel obligatoire ** Adresse IP obligatoire (cet abonnement correspond à un abonnement papier + dix abonnements électroniques + l'accès aux archives de la revue)

Complétez votre collection

Les sommaires de tous les numéros peuvent être consultés sur notre site www.lactualitechimique.org

Numéros spéciaux également disponibles en **version électronique** sur le site à un tarif préférentiel

- CO₂, où en sommes-nous ? (fév.-mars 2013) : 32 €
- Toxicologie environnementale et humaine (oct.-nov. 2012) : 32 €
- Danses avec les spins. La résonance magnétique nucléaire en chimie (juin-juil.-août 2012) : 32 €
- Fibres et textiles chimiques : matériaux du XXI^e siècle (fév.-mars 2012) : 32 €
- Le rayonnement synchrotron, une lumière pour comprendre la chimie (oct.-nov. 2011) : 32 €
- Chimie et société : construire un dialogue (sept. 2011) : 24 €
- La chimie prépare notre avenir, vol. 2 (juin-juil.-août 2011) : 32 €
- La chimie prépare notre avenir, vol. 1 (janv.-fév. 2011) : 32 €
- La chimie mène l'enquête (juin-juil.-août 2010) : 15 €
- Chimie et développement durable. L'engagement des écoles de la Fédération Gay-Lussac (fév.-mars 2010) : 15 €
- Adolphe Pacault, un acteur majeur dans la renaissance de la chimie physique en France (déc. 2009) : 15 €
- Electrochimie & Art, Environnement, Santé, Nanosciences... (fév.-mars 2009) : 15 €
- Les cosmétiques. La science au service de la beauté (oct.-nov. 2008) : 15 €
- Chimie organique physique. Hommage à Jacques-Émile Dubois (juin-juil. 2008) : 15 €
- Chimie et patrimoine culturel, vol. II (avril 2008) : 15 €
- La photochimie pour transformer la matière (mars 2008) : 15 €
- 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 €

Liste complète des numéros thématiques sur www.lactualitechimique.org/tarifs.php#numero

Achat à l'unité hors numéros spéciaux

11 € pour les numéros avant 2012 ; 20 € à partir de 2012
(à partir de 2005, ces numéros sont également disponibles en version électronique sur le site)

Numéro(s) souhaité(s) :

Hors-séries "L'Actualité Chimique - Livres", co-édités et diffusés par EDP Sciences

- La chimie et la nature (oct. 2012) : 24 €
- La chimie et l'habitat (oct. 2011) : 24 €
- La chimie et le sport (janv. 2011) : 24 €
- La chimie et l'alimentation (oct. 2010) : 24 €
- La chimie et l'art (juin 2010) : 24 €
- 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
www.edition-sciences.com



Bon de commande

Nom Prénom
 Adresse (pour les particuliers, préciser l'adresse personnelle)
 Code Postal Ville Pays
 Tél Fax Courriel
 Adresse IP (pour l'abonnement multiple)

Montant total de la commande (frais de port inclus) :

Mode de règlement

- sur facturation (joindre obligatoirement le bon de commande)
- par chèque bancaire ou postal libellé à l'ordre de la SCF souhaite recevoir une facture acquittée
- par virement bancaire ou postal

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 Abonnement, 250 rue Saint-Jacques, 75005 Paris. Tél. : 01 40 46 71 66 - Fax : 01 40 46 71 61.
adhesion@societechimiquedefrance.fr - www.lactualitechimique.org

Nous créons de la chimie pour que le compost aime le plastique.



La plupart des plastiques ne sont pas biodégradables. Ce n'est pas le cas des plastiques ecovio® de BASF, qui disparaissent complètement lorsqu'ils sont compostés dans des conditions contrôlées. L'utilisation de sacs compostables pour ramasser les déchets organiques rend leur élimination plus propre et pratique. Plutôt que de terminer dans une déchetterie, ils se transforment en précieux compost. Quand le sac plastique que vous utilisez aujourd'hui est synonyme de futur plus propre pour l'environnement, c'est parce que, chez BASF, nous créons de la chimie.

www.wecreatechemistry.com

 **BASF**

The Chemical Company