

L'actualité chimique

Le journal de la Société Chimique de France
Mai 2014 - N° 385

**Enseigner une chimie
économique et créatrice**

Retour sur les JIREC 2013



Société Chimique de France





Le Bup
une revue scientifique

Tous les Bup
de 1907 à ce jour
en **téléchargement gratuit**

pour toute adhésion
et abonnement

abonnement@udppc.asso.fr



CONGRÈS

Lyon
26-29 oct.
2014

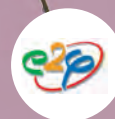
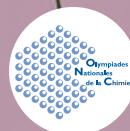
CONSULTEZ
BupDoc



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

ENVOYEZ
DES
ARTICLES

lebup.secretaire@udppc.asso.fr



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
Webmestre : Pierre Miquel

Comité des rubriques :

Recherche et développement : Rose Agnès Jacquesy, Industrie : Jacques Bousquet, Enseignement et formation : Katia Fajerberg, 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 et 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, C. de Novion, R.-E. Eastes, J. Fournier, P. Massiani, M.-T. Ménager, C. Monneret, N. Moreau, J.-M. Paris, P. Pichat, A. Picot, M. Quarton, J. Rangapanaiken, F. Rocquet, H. Toulhoat, L. Valade, M. Verdaguer, P. Walter

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. 2

© SCF 2014 - Tous droits réservés

Dépôt légal : mai 2014

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 2014 - L'ACTUALITÉ CHIMIQUE

(11 numéros par an)

Abonnement papier + électronique

Particuliers : France 100 € - Étranger 105 €

Institutions : France 200 € - Étranger 210 €

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

abonnement@lactualitechimique.org

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

Les femmes et les sciences en France : quelques dates, quelques faits, quelques chiffres...

ou Les femmes en science, en a-t-on vraiment besoin ?

Madame du Châtelet ainsi que Madame Lavoisier (et bien d'autres !) avaient déjà démontré au XVIII^e siècle ce que pouvaient valoir les femmes en science. Elles étaient les héritières lointaines d'Hypatie d'Alexandrie, philosophe et astronome du IV^e siècle, lynchée par une foule incapable d'apprécier son érudition. Érudition malheureusement inconnue de Jean-Jacques Rousseau qui écrivait, en 1762, dans *Émile ou De l'éducation* : « *La recherche des vérités abstraites et spéculatives, des principes, des axiomes dans les sciences, tout ce qui tend à généraliser les idées n'est point du ressort des femmes, leurs études doivent se rapporter toutes à la pratique ; c'est à elles de faire les observations qui mènent l'homme à l'établissement des principes.* » Heureusement, d'autres penseurs affichaient une opinion différente. Ainsi François Poullain de La Barre, philosophe cartésien, écrivait en 1673 « *l'esprit n'a point de sexe* » dans *De l'Égalité des Sexes, de l'Éducation des Dames, de l'Excellence des Hommes*.

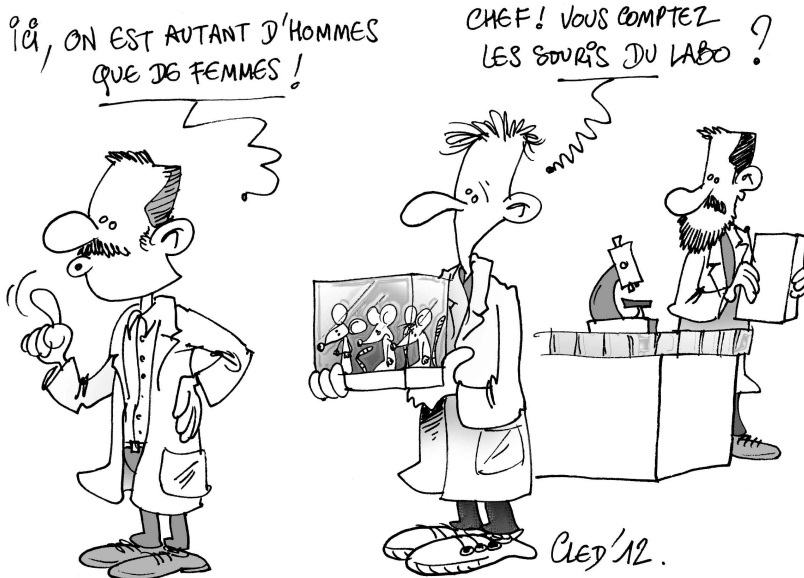
Il fallut attendre 1868 pour qu'Emma Chenu devienne la première licenciée ès sciences de France. La médecine

accepta la même année que Madeleine Brès s'inscrive au concours des hôpitaux. Quant à la première femme médecin des hôpitaux, ce fut, à Nantes, Yvonne Pouzin en 1919, suivie à Paris par Thérèse Bertrand-Fontaine, mais seulement en 1930.

Marie Sophie Germain, mathématicienne et spécialiste de l'étude de l'élasticité des corps, dut se faire passer pour un homme pour que Lagrange lise ses remarques ; ayant gagné en 1811 un concours ouvert par l'Académie des sciences, elle fut la première femme à être autorisée à assister aux séances... mais pas à intervenir. C'est en 1923 que l'Académie des sciences élit pour la première fois une femme, Yvonne Choquet-Bruhat, mathématicienne, spécialiste de physique gravitationnelle ; l'année suivante, le concours général fut ouvert aux lycéennes.

Il a fallu attendre 1973 pour que le Collège de France (créé en 1530 sous François 1^{er}) ouvre ses portes à une femme avec un titre de professeur. Il s'agissait de la philologue et helléniste Jacqueline de Romilly.

La promotion 2013 à Polytechnique comporte 14,5 % de femmes, à peine plus que lorsqu'elles y furent acceptées en 1970, mais la moitié du pourcentage



(28 %) de femmes en 2^e année de classes préparatoires. Dans la spécialité physique-chimie, il n'y a eu l'an dernier qu'une seule femme parmi les 21 reçus à l'École Normale Supérieure ; cette situation est extrême, mais néanmoins un écart entre genre s'est creusé après la fusion des ENS Sèvres et Ulm en 1985.

La sous-représentation des femmes en science serait-elle le résultat d'un fait biologique ou social, ou même d'une fatalité ?

Une étude publiée dans *Science*⁽¹⁾ en mai 2008 sur un test de mathématiques soumis à 300 000 jeunes de 40 pays montre une corrélation entre la performance et l'index d'émancipation des femmes. Un contexte hostile (au sein de la famille, de l'école, etc.) serait donc à l'origine de cette sous-représentation ? La confiance des femmes en leurs propres capacités intellectuelles serait alors compromise, à l'instar du refus de reconnaître leurs connaissances et leur savoir-faire, ainsi que leur expertise technique dans tous les domaines, y compris dans celui de l'innovation technologique !

Dans *l'Amazone et la cuisinière*, publié à titre posthume en 2014, Alain Testart, chercheur en anthropologie sociale, montre que ce sont les croyances, tacites voire irrationnelles, constantes et quasi universelles, qui expliquent – depuis la Préhistoire probablement, et en tout cas dans de multiples sociétés traditionnelles encore de nos jours – la division sexuelle du travail. Cette division n'est pas basée sur la pénibilité, la capacité d'initiative ou de conceptualisation, qu'il s'agisse de chasse, de pêche, et même de métallurgie...

Or, en France notamment, et bien qu'elles ne soient plus que 45 % en fin de 1^{ère} au lycée à choisir la filière scientifique, les filles sont finalement plus nombreuses que les garçons à obtenir un bac S et leurs résultats sont meilleurs !

Pourquoi les jeunes filles refuseraient-elles des perspectives

de carrière passionnantes en boudant l'enseignement supérieur scientifique ? Aberration qui n'est pas propre à la France, bien au contraire. Selon la revue *Nature* de décembre 2013⁽²⁾, pour 100 travaux de recherche, 25 sont signés par des femmes en France, 22 aux États-Unis, 20 au Royaume-Uni, 18 en Chine, 12 en Allemagne et 10 au Japon.

Quant à la chimie, elle fut l'une des premières à admettre des étudiantes dans ses amphithéâtres et à accepter qu'elles participent aux travaux pratiques. Alors que le pourcentage de filles dans les écoles d'ingénieurs plafonne à 27 %, la Fédération Gay-Lussac, qui regroupe 19 écoles de chimie, peut s'enorgueillir d'en accueillir entre 50 et 57 % selon les années ! Certes, leur recherche d'emploi peut durer un peu plus longtemps que celle de leurs collègues masculins, mais sans entraîner de ségrégation majeure.

Les filles, osez la science, osez la chimie, elles vous le rendront bien !



Rose Agnès Jacquesy

Rédactrice en chef

avec l'amicale complicité d'**Odile Eisenstein**,

Académie des sciences

⁽¹⁾ Guiso L., Monte F., Sapienza P., Zingales L., *Culture, gender, and math*, *Science*, 30 mai 2008, 320, p. 1164.

⁽²⁾ Cité dans *Le Monde*, 27 février 2014, p. 8.

Chimistes organiciennes oubliées...

Il est traditionnel de nommer des réactions par le nom de ceux qui les ont découvertes. Mais on ne trouve pas beaucoup de « celles ». Ainsi, une étude récente* a porté sur les noms de réactions en synthèse organique qui s'honorent d'y voir une femme associée. On en a trouvé quatre, dont deux pour la seule Irma Goldberg, un pour Gertrude Maud Robinson et un pour Clare Hunsdiecker.

On en trouve bien davantage quand on examine les réactions attribuées aux seuls hommes : Tiffeneau-Demjanov sans Bianka Tchoubar, Cope sans Elizabeth Hardy, Eschenmoser-Claisen sans Dorothée Felix... Et plus récemment, sans rechercher l'exhaustivité, Jacobsen-Katsuki (1991) a perdu Jennifer Loebach comme Myers (1994) a perdu Lydia McKinstry.

On devrait pourtant se souvenir de ces chimistes à la brillante carrière et qui ne sont pas les femmes d'une seule réaction !

*Olson J.A., Shea K.M., *Critical perspectives: Named reactions discovered and developed by women*, *Acc. Chem. Res.*, 2011, 44, p. 311.

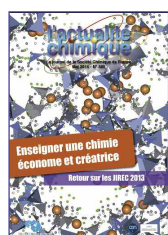
Index des annonceurs

ChemistryViews	p. 39	EuCheMS	encart
CultureSciences-Chimie	p. 34	LMI	p. 40
EDIF	p. 33	UdPPC	2 ^e de couv.
EDP Sciences	p. 52, 59		



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>

Éditorial	1
Les femmes et les sciences en France : quelques dates, quelques faits, quelques chiffres... ou Les femmes en science, en a-t-on vraiment besoin ? par R.A. Jacquesy et O. Eisenstein	1
Clin d'œil étymologique	4
À propos du magnésium, par P. Avenas	4
Chroniques	5
La compétitivité plombée par un excès de réglementations ?, par J.-C. Bernier	5
À propos de	7
La sérendipité, un chemin de traverse à suivre..., par C. Monneret	7
Enseignement et formation	9
<i>JIREC 2013 : Enseigner une chimie économe et créatrice</i> (coord. : K. Fajerweg)	
Enseigner une chimie économe et créatrice : retour sur les JIREC 2013, par M. Guitou , F. Le Quéré et K. Fajerweg	9
Bien œuvrer à la préparation des esprits ?, par L. Jullien (<i>prix de la division Enseignement-Formation</i>)	15
Enseigner la chimie de manière créative, par F. Boulc'h et J.-Y. Briand	18
L'actuel défi de la chimie organique : son enseignement, par D. Lafarge	21
La micro-échelle en synthèse organique : un outil commun chimie/génie chimique, par L. Prat , K. Loubière et O. Dechy-Cabaret	25
<i>Continuum lycée-université</i>	
Que savent et savent faire les élèves à la sortie du secondaire en regard de ce qui est attendu à l'entrée de l'université ?, par V. Wathelet et M. Dontaine	28
Accompagnement personnalisé et transition lycée-université, par C. Allodi et M. Guitou	31
<i>Ateliers, partages et retours d'expériences</i>	
Atelier « Nouvelles compétences : un outil pour faire le lien secondaire-supérieur ? Un exemple en chimie »	32
Atelier « La résolution de problème en chimie, est-ce possible ? »	32
Atelier « Démarche expérimentale en post-bac - Mise en place, exploitation et évaluation »	33
Partage d'expériences au lycée de Provins, par E. Jouguelet	34
Introduire l'équilibre chimique dans l'enseignement par une approche visuelle, par J. Randon	35
La synthèse des polymères dans l'eau : une réponse ancienne pour une nouvelle éco-conception, par T. Hamaide , C. Bourdelet , J. Lager , H. Schaal et J.B. Thibaut	36
Le choix de la procédure analytique face au besoin du client : savoir être créatif et économe, par J. Randon	38
Histoire de la chimie	41
Les chimistes, leurs institutions et leurs sociétés savantes entre les deux guerres.	
V - L'École de chimie de Mulhouse, par J.M. Chézeau	41
Mateu Orfila, chimiste, toxicologue et expert, par E. Sartori	48
En bref	53
Livres et médias	57
Agenda	61
Actualités de la SCF	62
Un point sur	63
La structure chimique des bitumes pétroliers, par E. Chailleux et F. Hammoun	63



Couverture :

Modèle de ZIF (« zeolitic imidazolate framework »), une variété de solide poreux permettant notamment la capture de CO₂.

Image aimablement fournie par le Dr Prakash Muthuramalingam, DR.

Conception graphique Mag Design - www.magdesign.info



À propos du magnésium

Vers 1810, le chimiste anglais Davy met en évidence un métal qu'il nomme d'abord *magnium*, puis *magnésium*, à partir du nom de la *magnésie* (MgO). Ce dernier nom remonte au latin médiéval *magnesia*, lui-même issu du nom de la *Pierre de Magnésie* (du grec *Magnês lithos*). Les Anciens nommaient ainsi plusieurs minéraux, mais principalement la pierre d'aimant, découverte, selon la légende, par un berger nommé *Magnês* qui trouvait cette pierre collée aux clous de ses sandales. Le magnésium n'est cependant pas magnétique, et le lien entre *magnésium* et *Magnésie* est moins simple qu'il n'y paraît, pour deux raisons :

- d'une part, le dioxyde de manganèse (MnO_2) se nommait jadis *magnésie noire*, et son métal a d'abord été nommé *magnésium*, puis ensuite *manganèse*, laissant à *magnésium* son sens actuel. En outre, le nom *magnétite* renvoie à un troisième métal puisqu'il désigne un oxyde de fer (Fe_3O_4) qui est, lui, fortement magnétique ;
- d'autre part, il y eut dans l'Antiquité plusieurs lieux nommés *Magnésie*, et c'est par là qu'il faut commencer, car c'est une première source de confusion possible entre tous ces noms.

Magnésie en Grèce et en Asie Mineure

Les *Magnètes*, un peuple déjà présent dans les textes d'Homère du VIII^e siècle avant J.-C., ont donné leur nom à la région qu'ils habitaient au nord-est de la Grèce, la *Magnésie*. À partir du IV^e siècle avant J.-C., les *Magnètes* ont essaimé en Asie Mineure, principalement à *Magnésie du Sipyle* (aujourd'hui *Manisa* en Turquie), près du mont Sipyle, et à *Magnésie du Méandre*, non loin du fleuve célèbre pour avoir inspiré le nom d'un trajet sinueux, comme celui d'un *méandre* (de la Seine par exemple).

Un même nom issu de *Magnésie* a donc pu être donné à des minéraux complètement différents provenant de lieux très éloignés les uns des autres. Ainsi, Pliny l'Ancien évoque plusieurs sortes de minéraux qu'il nomme en latin *magnetes* (pluriel de *magnes*, *magnetis*).



Les trois *Magnésie* dans l'Antiquité grecque.

La magnétite (Fe_3O_4)

Une première sorte de *magnetes* de Pliny correspond à ce que nous appelons *magnétite* aujourd'hui, et qui a tellement impressionné les Anciens par sa capacité à attirer le fer. L'origine du nom *magnétite* se confond avec celle du nom des *Magnètes* et de la *Magnésie* grecque, où ce minerai est effectivement présent. Cependant, beaucoup d'auteurs associent le nom *magnétite* à *Magnésie du Sipyle* en Asie Mineure, car le mont Sipyle est connu également pour l'exploitation de ses gisements de magnétite.

Le dioxyde de manganèse (MnO_2)

Toujours selon Pliny, une deuxième sorte de *magnetes* était utilisée comme additif dans la fabrication du verre. On ne sait pas précisément

de quel minéral il s'agissait, ni quelle était sa provenance (de quelle *Magnésie* ?), mais, d'après l'usage évoqué, on peut penser au dioxyde de manganèse, ce qui expliquerait son appellation ancienne de *magnésie noire*.

À ce propos, *manganèse* provient d'un emprunt à l'ancien italien (sans doute une altération de *magnesia*), qui a d'abord désigné la magnésie noire, puis le métal lui-même.

Mais quid de la magnésie (MgO), et même des magnésies ?

On ne retrouve pas de manière certaine la *magnésie* actuelle (MgO, nommée jadis *magnésie blanche*) dans les descriptions grecques ou latines. Il y a bien une troisième sorte de *magnetes* qui, selon Pliny, vient « de *Magnésie d'Asie* » (mais laquelle ?) et « rappelle la pierre ponce ». S'agirait-il de l'*écume de mer* ($H_4Mg_2Si_3O_{10}$), nommée aussi parfois *magnésie*, et qui flotte sur l'eau comme la pierre ponce ?

On connaît également le carbonate de magnésium ($MgCO_3$), nommé *magnésite* au début du XIX^e siècle, et bien connu aujourd'hui des gymnastes qui l'utilisent comme poudre antidérapante sous le nom usuel de... *magnésie*. Mais ce minerai était-il exploité dans l'Antiquité ?

D'autre part, le dictionnaire étymologique d'Oxford mentionne le terme *magnes carneus* (du latin *carneus*, « relatif à la chair ») employé au XVI^e siècle pour désigner une poudre qui colle à la langue comme l'aimant au fer, et qui devait être la magnésie (MgO). Cette appellation tardive a peut-être joué un rôle dans l'origine même du nom *magnésie* pour l'oxyde de magnésium, en renvoyant toujours, mais indirectement, à la *Magnésie* grecque.



La magnétite (Fe_3O_4), le dioxyde de manganèse (MnO_2) et la magnésie des sportifs ($MgCO_3$).

Épilogue

Le nom de la *magnétite*, l'aimant naturel, et celui de la *magnésie* (MgO), l'oxyde de magnésium, se relie à la *Magnésie* de la Grèce antique, mais si cette liaison est directe dans le cas de la *magnétite*, elle est indirecte, et finalement obscure, dans celui de la *magnésie*. Enfin, si l'on n'a pas peur d'un coq à l'âne caractérisé, on trouvera dans le voisinage de *Magnésie du Méandre* une liaison plus directe encore entre l'antique cité grecque *Colophon* et le nom de la... *colophane*, car ce produit, obtenu par distillation de la résine de pin, y était réputé d'une excellente qualité.



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

Courriel : pier.avenas@orange.fr

La compétitivité plombée par un excès de réglementations ?

On parle beaucoup de la compétitivité des entreprises en soulignant que le coût du travail en France est particulièrement pénalisant. On parle moins de l'empilement des réglementations, des normes, des surinterprétations à la française, des règles européennes qui découragent encore plus sûrement les entreprises à s'implanter ou à se développer dans l'hexagone. Comme le dit un économiste : « *Pour creuser le déficit du commerce extérieur en France, une petite norme vaut mieux qu'une grande pelle.* »

De nombreux exemples peuvent être trouvés ; contentons-nous d'en citer quelques-uns en chimie.

La garantie financière pour les établissements à risques

En 2002, l'imagination débordante de l'administration alourdit encore les contraintes pesant sur les usines chimiques Seveso 2 dites « haut seuil » en leur imposant une mise sous séquestre représentant les indemnités à verser en cas d'accident majeur. L'histoire d'Atotech (groupe Total) à Saint-Ouen-l'Aumône (Val d'Oise) est exemplaire.

Atotech est leader mondial pour les produits de traitement de surface destinés à l'électronique et la métallurgie, et

la direction veut agrandir et développer le site de Saint-Ouen-l'Aumône, qui comprend 500 kg de produits très toxiques et 200 t de produits dangereux. La demande d'autorisation d'extension – qui a demandé six mois et pèse 8,2 kg – est transmise aux services préfectoraux, avec la prévision d'investir plus de 1,5 million d'euros (M€) dans des systèmes de sécurité renforcés. Fin 2002, les services de la DREAL (Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement) demandent d'évaluer les sommes nécessaires pouvant être réclamées par les voisins de la zone industrielle dans un rayon de 150 m autour de l'usine. Devant l'ampleur de la tâche des négociations avec les riverains et de l'absurdité de l'immobilisation de cette garantie, Atotech retire vivement sa demande d'extension et rapatrie les fabrications du site en Allemagne, Slovénie ou Espagne, où les contraintes Seveso 2 sont lourdes, mais bien moins coûteuses.

Les fabricants de ouate de cellulose baladés

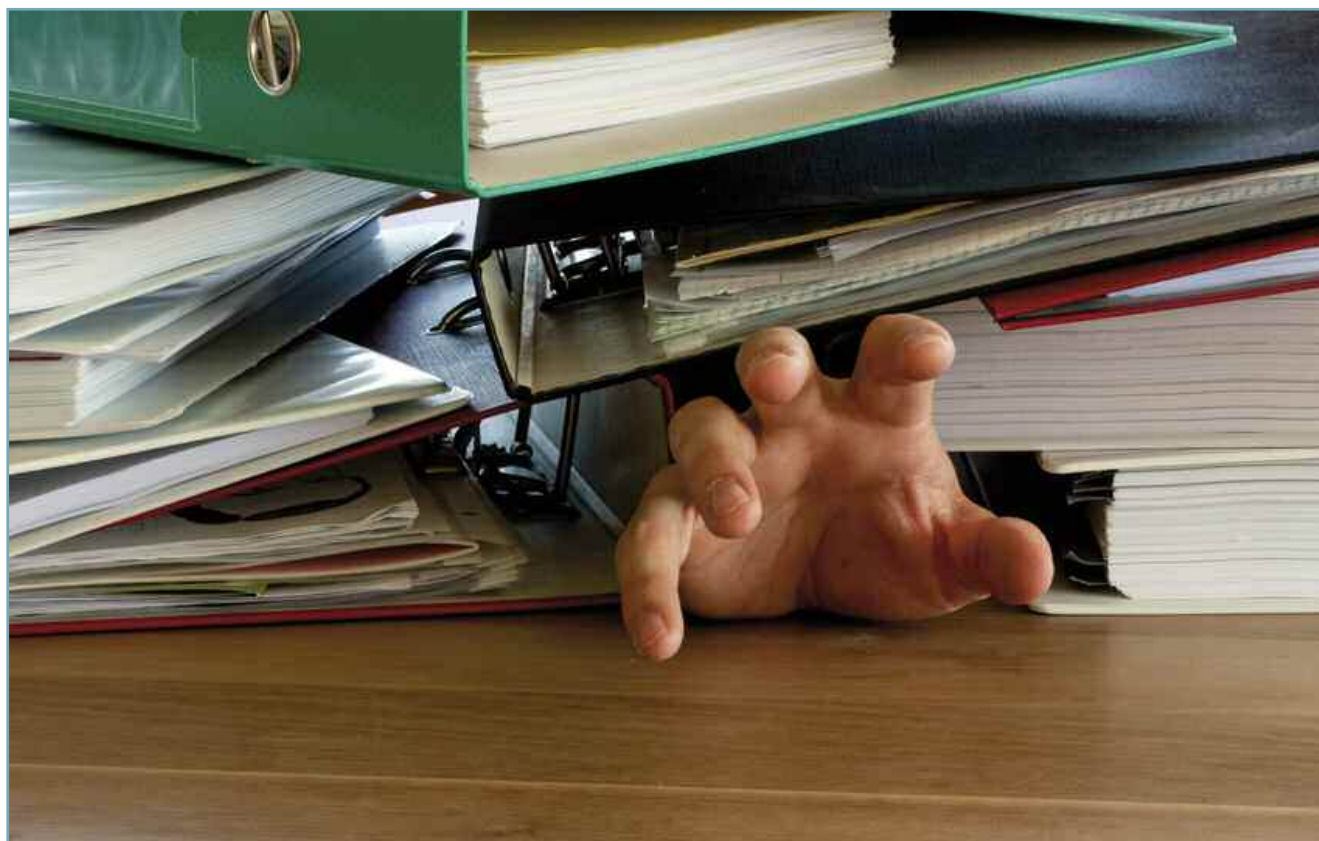
Voilà une industrie écologique qui profite de la transition énergétique ; elle fabrique de très bons matériaux isolants à partir de papier journal recyclé.

En quelques années, la production est passée en France de 10 000 à 50 000 tonnes, créant des centaines d'emplois.

Pour ignifuger la ouate, on l'imprègne de sel de bore, souvent B_2O_3 , qui a de plus l'avantage d'être répulsif pour les rongeurs. Las, trois fois hélas : la CCPAT (Commission chargée de formuler des avis techniques au Ministère du Logement) s'est aperçu que l'acide borique peut entraîner une intoxication aiguë chez l'homme dès une absorption de 20 grammes. Au nom du principe de précaution, et sachant que les Français ont l'habitude d'aller manger dans les combles ou dans les contrecloisons quelques kilos de ouate de cellulose en apéritif, le CSTB retire, en juin 2012, l'agrément à la ouate imprégnée de bore !

Panique justifiée des fabricants et importateurs qui trouvent une parade en utilisant un substitut, les sels d'ammonium. Pas de chance : les architectes signalent fin 2012 que sous l'influence de l'humidité et de la chaleur, ces sels d'ammonium se décomposent et que de violentes odeurs d'ammoniac transforment les logements, genre vespasiennes odorantes !

Devant la bronca unanime des spécialistes de l'isolation, le CCPAT autorise à



nouveau en novembre 2013 la ouate de cellulose protégée au sel de bore, mais en ne mangeant son chapeau qu'à demi, l'autorisation n'ayant validité que jusqu'en 2016 ! Alors que les producteurs européens, y compris les Suédois et Norvégiens très soucieux de la protection des citoyens, ont montré et constaté que ce produit n'était pas nocif. « Tu tu tu... », disent les fonctionnaires français, « et l'exception française, vous en faites quoi ? »

La saga hexagonale du bisphénol A

Le bisphénol A (BPA) est un composé que l'on trouve maintenant un peu partout dans notre environnement*. Sa structure est proche de celle de l'œstradiol mais il est mille fois moins actif que l'hormone naturelle. Monomère largement utilisé dans la fabrication des polymères tels que le polycarbonate, les résines époxy et les vernis, sa production mondiale dépasse 4 millions de tonnes. Le BPA peut passer à dose infinitésimale du contenant (biberon) au contenu (lait), c'est ce qui a justifié en 2008 une étude au Canada sur sa nocivité pour les bébés et les jeunes enfants. En janvier 2009, un reportage de France 2 et un emballage médiatique dont nous sommes coutumiers ont pour effet que le BPA soit déclaré poison mortel. Quelques experts auto-proclamés et des associations de défense des consommateurs convainquent les politiques sur la foi d'études de dangerosité pour les nouveau-nés, qui votent l'interdiction du BPA dans les biberons en plastique. Le Canada et l'Union européenne font de même, les États-Unis appellent à la vigilance. Retour au calme pensez-vous ? Oui, sauf en France, où les partis écologistes et les associations de consommateurs crient au complot.

En 2011, l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail) sous pression annonce qu'il se peut que le BPA ait une influence sur l'obésité, le diabète et l'activité sexuelle, et même sur le cancer du sein. Du coup, les

parlementaires et le nouveau gouvernement interdisent le 24 décembre 2012 « toute fabrication, exportation ou mise sur le marché de tout conditionnement à vocation alimentaire contenant du BPA. » Même les experts de Bruxelles en tombent de leurs chaises rembourrées !

Mais en 2013, l'ANSES confesse qu'elle était partie un peu vite sur de fausses pistes et l'EFSA (Autorité européenne de sécurité des aliments) démontre à partir d'une évaluation complète des risques associés au BPA qu'il n'est pas question de remettre en cause l'autorisation du BPA pour le conditionnement alimentaire. Le décret d'application en France précise l'interdiction pour les nouveau-nés, les enfants de moins de 3 ans et les femmes enceintes, et reporte l'application à tous les contenants alimentaires à juillet 2015. Ce qui n'empêche pas l'ANSES, pourtant renvoyée sèchement à ses chères études par l'Europe, de demander à l'ECHA (Agence européenne des produits chimiques) la révision du classement du BPA. Dernier revirement en janvier dernier de plusieurs experts de l'EFSA, qui recommandent de baisser la dose journalière admissible de 50 µg/kg de poids à 5 µg faute d'accord interne, et l'avis des agences sanitaires nationales est demandé pour mars 2014.

Évidemment, les professionnels de l'agroalimentaire, les fabricants de boîtes de conserve, de canettes, etc. sont au bord de l'apoplexie. Ce sont plusieurs filières qui sont menacées, car tous les revêtements intérieurs depuis près de cinquante ans sont à base de vernis époxy contenant du bisphénol. Alors que tous les États membres de l'Union européenne, le Canada et l'incommode FDA américaine admettaient la non-nocivité à faibles doses, nous serions en 2015 les seuls au monde à brandir cette interdiction (et fiers de l'être ?). L'ANIA (Association nationale des industries alimentaires) a lancé en catastrophe avec les métallurgistes une étude de substitution des vernis époxy avec des vernis à base de polyesters, de polyacrylates, vinyliques ou acryliques,

qui doivent s'adapter aux divers contenus (gras, acides, sucres...). Des tests de validation devront montrer leur étanchéité, leur résistance à la corrosion et... la non-altération du goût. Il est clair que d'ici 2015, leur agrément, y compris par nos voisins européens, risque de ne pas être obtenu par manque de recul ! D'après l'ANIA, la catastrophe est programmée, et ce sera bien pire que la viande de cheval. Adieu donc choucroute, cassoulet, sardines au citron et canettes de bière... Je soupçonne les lobbies verrier et du caoutchouc rouge d'être à la manœuvre !

Dans le plan prochain de simplification et d'économie, j'attire l'attention de nos gouvernants sur les 6 000 exigences réglementaires pour les industries chimiques, les 6 400 fonctionnaires de la Direction générale de la prévention des risques (DGPR), les 5 200 de la même Direction de la prévention alimentaire et les 8 000 agents des Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL, ex DRIRE). Tous ces employés compétents et à l'imagination débordante devraient mieux se consacrer à l'implantation et au développement d'usines, et donc d'emplois, et moins s'occuper à « surtransposer à la française » les directives européennes et à en inventer de nouvelles. Déjà en 2009, l'Union des Industries Chimiques (UIC) souhaitait un moratoire de deux ans sur les textes réglementaires dont l'avalanche rendait l'application suicidaire pour les PME. Philippe Proudhon de l'UIC soulignait fin 2013 que « la simplification de la réglementation ne se limite pas à un nombre de textes mais à un état d'esprit. » Souhaitons qu'il s'instaure.



Jean-Claude Bernier,
le 17 février 2014

*Voir Marquet A., Faut-il avoir peur du bisphénol A ?, *L'Act. Chim.*, 2013, 378-379, p. 11, et le « produit du jour » sur le bisphénol A, site de la SCF (www.societechimiquedefrance.fr/produit-du-jour/bisphenol-a.html).



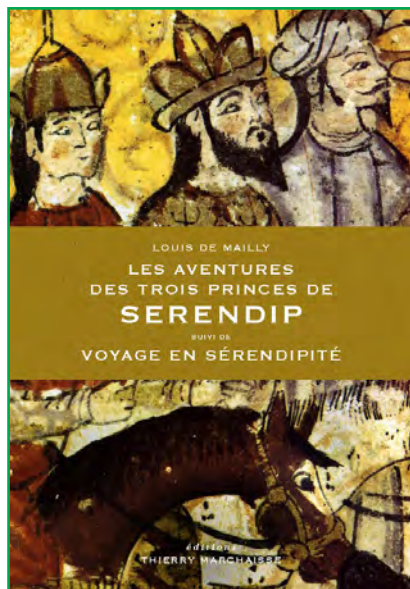
La SCF sur Facebook, vous aimez ?
Parlez-en autour de vous,
et invitez vos amis et collègues à nous rejoindre !

• www.facebook.com/SocieteChimiquedeFrance?ref=profile



La sérendipité, un chemin de traverse à suivre...

Claude Monneret



En 2012, après bien des années de vie clandestine, le mot sérendipité est entré dans le dictionnaire Larousse, sous la définition : « *capacité, art de faire une découverte, scientifique notamment, par hasard.* » Ce mot est la traduction du terme anglais « serendipity », lui-même forgé par Horace Walpole en 1754, en référence à un conte ancien, récemment réédité [1], intitulé « Voyage et aventures des trois princes de Serendip », Serendip étant l'ancien nom de l'île de Ceylan, le Sri Lanka d'aujourd'hui.

C'est au sein d'une lettre de remerciements qu'Horace Walpole écrit à son ami Thomas Mann, résident britannique à Florence, que ce mot va apparaître, à propos de la découverte de blasons, dans les termes suivants : « *Vraiment cette découverte est presque de l'espèce que j'appelle serendipity, un mot très expressif que je vais m'efforcer, faute d'avoir mieux à vous narrer, de vous expliquer.* » Un peu plus loin, faisant référence au conte ancien, il ajoutait : « *tandis que leurs altesses voyageaient, elles faisaient toute sorte de découvertes, par accident et sagacité, de choses qu'elles ne cherchaient pas du tout.* »

Ce mot restera peu usité et sera d'abord l'apanage de la philosophie des sciences, puisqu'il s'agit en somme d'une méthode de recherche, même si peu orthodoxe. Notre regretté collègue Jean Jacques la décrira en 1990 comme une alternative à « la science en majuscule », une sorte de pied de nez « *taquin, poétique, libertaire* » aux lourds programmes rationnels [2]. Que dirait-il s'il était toujours des nôtres aujourd'hui ?

En 1949, ce mot fera son entrée officielle en sociologie des sciences sous la plume de Robert K. Merton [3] et ce concept sera alors considérablement travaillé et théorisé. Plus près de nous, Danièle Bourcier et Pek van Andel [4] vont décliner cette notion en sérendipité positive, négative et pseudo-sérendipité, tout comme Jean-Louis Swinners [5] qui parle de vraie et de fausse sérendipité. La « vraie » est celle qui permet de trouver quelque chose que l'on ne cherchait pas, la « fausse », ou pseudo-sérendipité, permet de trouver, mais de manière imprévue, ce que l'on cherchait. Quant à la sérendipité négative, elle concerne une observation surprenante qui ne sera pas correctement expliquée, comme la découverte, dès 1854 par Rayer et Davaine, de bâtonnets cylindriques très ténus dans le sang d'animaux morts du

charbon, sans soupçonner qu'il s'agit là de la bactérie responsable de la maladie.

La sérendipité, art de rencontrer quelque chose que l'on ne cherchait pas, est une source pour la créativité et l'innovation et les exemples sont nombreux, notamment en chimie thérapeutique.

Nombreux sont en effet les médicaments qui lui doivent leur existence, dans des domaines aussi variés que la cancérologie, la psychiatrie ou les maladies cardiovasculaires. Selon une revue récente, 35 % des médicaments relevant du traitement des cancers lui seraient liés [6]. Dans ce domaine justement, l'un des meilleurs exemples de sérendipité est celui du cis-platine. Barnett Rosenberg, un biophysicien d'esprit curieux, voulait observer le comportement des bactéries *Escherichia coli* dans un champ électrique alimenté grâce à des électrodes en platine. Ne se contentant pas de la seule observation, à savoir l'arrêt de la multiplication des bactéries et leur déformation, il voulut comprendre le phénomène, d'abord en analysant le mélange d'électrolyte, puis en s'associant à des pharmacologues. De là naîtra le cis-platine qui révolutionna le traitement des cancers testiculaires [7].

Toujours dans le domaine du cancer, un autre exemple est celui des alcaloïdes de la petite pervenche. De substances censées traiter le diabète de type 2, grâce à l'observation de chercheurs, on en arrivera à des médicaments ciblant la tubuline, un élément essentiel à la multiplication cellulaire. C'est toute l'histoire des poisons du fuseau comme la vincristine et la vinblastine, lesquelles conduiront, par une réaction chimique inattendue, à la vinorelbine ou Navelbine®, et plus récemment, suite à une initiative un peu folle, à la vinflunine ou Javlor®, destinée au traitement du cancer de la vessie [7].

Sait-on que la découverte des sulfamides hypoglycémisants destinés à traiter les diabètes de type 2, par les professeurs Marcel Janbon et Auguste-Louis Loubatières, est liée au rationnement imposé aux habitants de Montpellier dans la France occupée en 1942 ? La mauvaise nutrition était source de nombreux cas d'infections, voire de typhoïdes. Le traitement consistait à administrer des sulfamides antibactériens, jusqu'à ce que l'on observe plusieurs cas d'hypoglycémies sévères. Ceci amènera Loubatières à démontrer l'action pro-insulinique de certains de ces sulfamides. De là est né un nouveau traitement pour les diabétiques de type 2, non insulino-dépendant [7].

Et que dire des médicaments psychiatriques qui, pour la plupart, sont redevables à la sérendipité. Il en est ainsi pour le chef de file, la chlorpromazine ou Largactil® découvert en 1951 par le médecin de marine Henri Laborit, un spécialiste de l'hibernation, et développé à l'époque par Rhône-Poulenc. Les benzodiazépines, dont on sait les Français grands consommateurs, sont le fruit du hasard et de la persévérance de Léo Sternbach. Ce grand chimiste désireux de faire place nette dans son laboratoire pour aborder un nouveau thème de recherche découvre un échantillon abandonné sur une

étagère. Plutôt que de l'éliminer, il le purifie et l'envoie au pharmacologue Lowell Randall. Coup de théâtre : le produit se révèle peu toxique et très actif, capable de calmer les animaux les plus irascibles. Il s'agit du chlordiazépoxyde ou Librium® qui, synthétisé « accidentellement » à partir d'une quinazoline, est le chef de file des benzodiazépines comme les Valium®, Lexomil®, Témesta®, pour ne citer que les plus connus. Qui plus est, la formule initialement proposée pour ce composé chimique est fautive et sera rectifiée par Sternbach lui-même lorsqu'il reprendra les études sur le composé et sa synthèse à plus grande échelle. La sérendipité jouera également un rôle dans la découverte d'autres médicaments psychiatriques comme l'imipramine ou Tofranil®, et le méprobamate ou Équanil®. Comme l'écrivait voici quelques années dans *la Recherche*, le neurologue et psychiatre Boris Cyrulnik, la psychiatrie devrait élever un monument à la gloire de la sérendipité [8].

La découverte du carbonate de lithium comme antidépresseur majeur est née de la persévérance d'un médecin australien isolé au fond de la brousse, John Cade, qui était persuadé que les épisodes maniaques des schizophrènes étaient dus à une substance endogène X, et qu'une carence en cette même substance X expliquait leur état dépressif. En réalité, en ajoutant un sel de lithium à des extraits urinaires pour les solubiliser, il découvrira le potentiel antidépresseur du lithium, sans pouvoir toutefois en maîtriser la toxicité. Ce traitement par le lithium bénéficiera d'un coup de pouce supplémentaire – toujours la sérendipité – par la mise au point à peu près simultanée du spectromètre de flamme par Mogens Schou, un médecin danois, permettant d'ajuster les doses [9].

Les essais précliniques et cliniques en sont d'autres exemples, les effets produits n'étant pas ceux escomptés. Le plus connu est probablement celui du Viagra®, destiné à l'origine à soigner l'angine de poitrine, et qui va révolutionner le traitement de l'impuissance, alors du ressort des psychologues. Au passage, l'impuissance est rebaptisée dysfonctionnement érectile et devient du ressort des urologues. Une nouvelle maladie est née.

C'est aussi l'histoire du minoxidil, initialement destiné à traiter l'hypertension artérielle. Quelle ne fut pas la surprise des médecins de voir la chevelure des hypertendus ainsi traités devenir plus drue, et la chute de leurs cheveux ralentie. Le minoxidil deviendra un traitement de référence contre la calvitie. Il est certain que les profits du laboratoire Upjohn s'en sont trouvés améliorés.

L'histoire de la découverte du propranolol pour soigner les hémangiomes infantiles graves relève purement de l'observation clinique. Elle débute en été 2006 lorsqu'un nouveau-né souffrant d'un angiome grave, et risquant de ce fait de perdre un œil, est traité par la cortisone. Trop forte dose ou susceptibilité individuelle, quoiqu'il en soit, le nouveau-né présente des troubles cardiaques sérieux qui nécessitent un traitement par un β -bloquant, le propranolol. Force est de constater la régression de l'hémangiome en quelques jours [10]. Plusieurs essais cliniques conforteront ce résultat, de sorte que le propranolol est devenu le traitement de référence de ces hémangiomes.

À l'heure où l'on s'interroge tous azimuts sur l'innovation thérapeutique, comment la stimuler, comment la favoriser, il est curieux de constater que l'on fait tout pour la freiner. La volonté de tout planifier, que ce soit dans le monde industriel ou dans le monde universitaire, met en péril cet aspect

pourtant riche en exemples fructueux. Selon le Dr Pierre Allain [11], « la sérendipité semble fuir les grands ensembles [...] la recherche bien organisée avec une armée de chercheurs à qui il ne manque pas un bouton de guêtres s'est révélée moins efficace que la recherche « désordonnée » de petites équipes plus aptes à saisir les opportunités et les chemins de traverse qui se présentent ». De leur côté, Pek van Andel et Danièle Bourcier considèrent que « la sérendipité, loin de favoriser l'individualisme ou de provoquer le désordre, devient une voie efficace pour faire de la science autrement, et mettre les esprits audacieux et créatifs au pouvoir » [4].

Enfin, c'est la philosophe Avital Ronell qui, dans un de ses livres [12], dénonçait la folie de l'évaluation permanente, susceptible selon elle de « brider l'action, étouffer la créativité au profit d'un formatage et de ne susciter, in fine, plus rien que routine et désengagement. »

Références

- [1] de Mailly L., *Les aventures des trois princes de Serendip, suivi de Voyage en sérendipité*, Éditions Thierry Marchaisse, 2012.
- [2] Jacques J., *L'imprévu ou la science des objets trouvés*, Édition Odile Jacob, 1990.
- [3] Merton R.K., *Social Theory and Social Structure*, Free Press, New York, 1949.
- [4] van Andel P., Bourcier D., *De la sérendipité dans la science, la technique, l'art et le droit – Leçons de l'inattendu (2^e éd.)*, Éditions Hermann, 2013.
- [5] Swiners J.-L., La sérendipité ou l'exploitation créative de l'imprévu, *Automates Intelligents*, 2005 (www.automatesintelligents.com/echanges/2005/avr/serendipite.html).
- [6] Hargrave-Thomas E., Yu B., Reynisson J., Serendipity in anticancer drug discovery, *World J. Clin. Oncol.*, 2012, 3, p. 1.
- [7] Bohuon C., Monneret C., *Fabuleux hasards : Histoire de la découverte des médicaments*, EDP Sciences, 2009, et réf. citées.
- [8] Cyrulnik B., Les eaux de Serendip ont-elles une mémoire ?, *La Recherche*, 1997, 301, p. 109.
- [9] Schou M., Juel-Nielsen N., Strömgen E., Voldby H., The treatment of manic psychoses by the administration of lithium salts, *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*, 1954, 17, p. 250.
- [10] Léauté-Labrèze C et al., Propranolol for severe hemangiomas of infancy, *N. Engl. J. Med.*, 2008, 358, p. 2649.
- [11] Allain P., Renier J.-C., La sérendipité dans la découverte des médicaments, *Pharmacorama* (www.pharmacorama.com/Rubriques/Output/serendipite.php, consulté le 06/04/14).
- [12] Ronell A., *Test drive : la passion de l'épreuve* (traduit par C. Jaquet), Stock, 2009.



Claude Monneret

est directeur de recherche émérite au CNRS* et membre de l'Académie nationale de pharmacie.

* Institut Curie, 26 rue d'Ulm, F-75248 Paris Cedex 05.

Courriel : claudemonneret@curie.fr



Dans le langage américain, « serendipity » désigne une rencontre ou une découverte heureuse, mais aussi le lieu où celle-ci a lieu, comme ce célèbre salon de thé new-yorkais. © Wikimedia.com/Ben W.

Enseigner une chimie économe et créatrice

Retour sur les JIREC 2013

Marie Guitou, Frédéric Le Quéré et Katia Fajerberg

Mots-clés JIREC 2013, enseignement, liaison secondaire-supérieur, nouvelles compétences et nouvelles pratiques, partages et retours d'expériences, chimie verte, chimie créatrice, nouvelles énergies, synthèses économes et durables.



Les participants des JIREC 2013 à Marne-la-Vallée. Photo : F. Le Quéré, DR.

Pour leur 29^e édition, les Journées pour l'Innovation et la Recherche dans l'Enseignement de la Chimie (JIREC) se sont déroulées à Marne-la-Vallée du 21 au 24 mai 2013. Ce colloque a rassemblé plus de cent personnes, parmi lesquelles des enseignants-chercheurs des universités et écoles d'ingénieurs, des formateurs, des enseignants du secondaire, de classes préparatoires et de BTS. Des industriels et des éditeurs étaient également présents pour exposer leurs activités et échanger avec les enseignants.

Le thème des JIREC 2013, « Enseigner une chimie économe et créatrice », présente une vision moderne et positive de la chimie, en accord avec les thématiques des activités de recherche et d'enseignement développées dans de nombreuses universités. Ces JIREC sont dans la continuité des MIEC-JIREC 2007 sur le thème « Chimie et développement durable » [1], thème poursuivi en 2010 avec « Chimie du nucléaire, énergie et développement durable » [2].

Les 29^e JIREC ont été aussi l'occasion de montrer que la recherche en chimie à l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée est orientée principalement vers la modélisation et la chimie environnementale, où des méthodes et outils nouveaux (apport de la puissance des calculs et simulations numériques) permettent de grandes avancées dans la connaissance théorique de la matière, des atomes et petites molécules jusqu'aux systèmes complexes. Pour rappel, le prix Nobel de chimie a été décerné en 2013 à trois spécialistes de la modélisation des réactions chimiques, et par ailleurs, le numéro de février-mars 2014 de *L'Actualité Chimique* a été consacré à la chimie théorique [3]. La transmission de la recherche par l'enseignement à l'Université de Paris-Est Marne-la-Vallée s'effectue également du point de vue expérimental dans les thématiques de la dépollution et du traitement des sols (doctorat Erasmus Mundus ETeCoS³) [4].

La conceptualisation de la démarche vers ce que l'on appelle aux États-Unis la chimie verte a été faite par le groupe de Paul Anastas dans les années 1990 sous la forme de douze recommandations [5] et a fait l'objet de nombreuses publications [6-15]. Cette évolution récente de la chimie et de son image à travers la recherche et l'industrie chimique montre une chimie plus économe, propre et innovante. Nous avons voulu illustrer quelques aspects de cette chimie, économe et créatrice, à travers :

- la synthèse de nouveaux matériaux innovants [16-21] de la recherche fondamentale jusqu'à leur utilisation industrielle ;
- la conception et le développement de catalyseurs et matériaux biosourcés ou bio-inspirés [22-23], utilisés pour le stockage d'énergies propres dans des conditions optimales [24] ;
- l'apport de la modélisation, outil indispensable pour

la compréhension et la prévision des structures intimes et de la réactivité [25-26] des molécules et matériaux complexes [27-29].

Ces différents aspects sont fondamentaux à transmettre à travers les enseignements dispensés à l'université et dans l'enseignement en général, comme c'est le cas maintenant dans les nouveaux programmes du lycée, avec les notions de stockage et conversion d'énergie chimique en classe de première S [30], et les thématiques de chimie durable, contrôle de qualité, stratégies de synthèse dans le tronc commun de terminale S. L'enseignement de spécialité illustre également les aspects environnement, ressources et énergie, ainsi que les nouveaux matériaux [31].

Nous avons souhaité proposer aux participants des JIREC 2013 un nombre limité de conférences focalisées sur les avancées de la recherche pour privilégier l'aspect enseignement sous différentes formes. Le programme comprenait six conférences plénières, huit communications orales, une séance de communications par affiches, quatre ateliers et des séances de « partages d'expériences »⁽¹⁾ et de « retours d'expériences »⁽²⁾ (voir encadré 1). Les résumés des conférences, communications et ateliers ainsi que la plupart des diaporamas des présentations sont disponibles sur le site des JIREC [32]. L'objectif de cette présentation générale est de souligner quelques temps forts de la manifestation.

Enseigner une chimie économe et créatrice

La thématique de ces journées a été développée dans quatre conférences plénières (voir encadré 1) :

- Marc Fontecave (Collège de France, Université et CEA de Grenoble) a donné un riche aperçu de la chimie actuelle et future

Encadré 1**Programme des JIREC 2013**

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

Conférences plénières

Chimie et défis énergétiques du 21^e siècle : des carburants à partir d'eau et de soleil, par Marc Fontecave (Collège de France, Université et CEA, Grenoble).

*Que savent et savent faire les élèves à la sortie du secondaire en regard de ce qui est attendu à l'entrée de l'université ?**, par Valérie Wathelet et Matthieu Dontaine (Académie de Louvain, Belgique).

Quels métiers et quelles compétences pour l'industrie chimique du futur ?, par Sophie Jullian (IFP Énergies nouvelles).

De la création d'une matière intéressante jusqu'à l'utile. L'exemple des solides poreux, par Gérard Férey (Académie des sciences).

Vers une chimie économe et durable : quel rôle pour la chimie théorique et computationnelle ?, par Philippe Sautet (Université de Lyon).

*Le défi actuel de la chimie organique : faire évoluer son enseignement**, par David Lafarge (Université de Clermont-Ferrand).

Communications orales

*La micro-échelle en synthèse organique : un outil commun chimie/génie chimique**, par Odile Dechy-Cabaret (ENSIACET et Université de Toulouse).

Les Maisons pour la science : un dispositif innovant au service de l'éducation (voir encadré 2 p.12), par Bénédicte de Bonneval (Université de Toulouse).

Formalabo 2, un outil d'aide à la préparation et à la conduite de travaux pratiques de chimie dans le respect de la santé et de la sécurité des personnes, par Jean-Paul Leroux, Nelly Troisfontaine (INRS) et Philippe Gall (INSA Rennes).

Le Réseau Français de Chimie Théorique (voir encadré 3 p.12), par Céline Léonard (Université Paris-Est Marne-la-Vallée).

*Une chimie créatrice... de photographies**, par Florence Boulc'h (Aix-Marseille Université).

Retours d'expériences

*Accompagnement personnalisé et liaison lycée-supérieur**, par Corinne Allodi (lycée Pierre de Coubertin, Meaux).

*Le développement de l'instrumentation analytique face au besoin du client, savoir être créatif et économe**, par Jérôme Randon (Université de Lyon 1).

Ateliers et démonstrations

Logiciel Formalabo 2, par Jean-Paul Leroux (INRS) et Philippe Gall (Rennes).

*Démarche expérimentale, d'investigation, scientifique, en post-bac**, par Xavier Bataille (ENCPB, Paris).

*La résolution de problème en chimie : est-ce possible ?**, par Michel Vigneron (IA-IPR, Académie de Paris).

*Nouvelles compétences des lycéens – Liaison secondaire-supérieur**, par Ludvine Héliot (lycée Jean-Baptiste Corot, Savigny-sur-Orge).

Partages d'expériences

Le bleu de Prusse, un pont entre la chimie et l'art, par Florence Boulc'h (Université Aix-Marseille).

*La synthèse des polymères dans l'eau : une réponse ancienne à un nouveau problème**, par Thierry Hamaide et ses étudiants (Université Lyon 1).

L'introduction de l'équilibre : en finir définitivement avec l'estérification, par Jérôme Randon (Université Lyon 1).

Rendre accessible l'information sécurité via des QR-codes, par Vincent Dugas et coll. (Université Lyon 1).

*Ateliers « teinture médiévale » et « archéoscience » (MPS seconde). Présentation de TPE de 1^{ère} S. Exposition de réalisations de l'enseignement d'exploration de sciences et laboratoire. Exposition de l'ancienne collection du lycée (XIX^e siècle)**, par Éric Jouguelet et coll. (lycée de Provins).

Table ronde « Industrie et enseignement »

En présence de Sophie Jullian (IFPEN), Gérard Férey (Académie des sciences) et Marion Guélou (BASF).

Communications par affiches

Rendre accessible l'information sécurité via des QR-codes, par Vincent Dugas, Hervé Delépine, Julie Bertrand et Jérôme Randon (Université Claude Bernard Lyon 1).

Molécule, liaison chimique : comment les définir ?, par Patrick Chaquin (Université Pierre et Marie Curie, Paris).

Détection de cations métalliques par spectrofluorimétrie : de la recherche à l'enseignement, par Jonathan Piard, Isabelle Leray, Carine Julien-Rabant, Robert Pansu et Joanne Xie (Département de Chimie et PPSM, ENS Cachan).

sous l'aspect crucial des nouvelles ressources énergétiques. L'apport et les innovations de la chimie bio-inspirée promettent de grandes avancées dans l'essor de la photosynthèse artificielle, qui illustrent l'importance du lien entre recherche fondamentale et recherche technologique.

- Gérard Férey (Académie des sciences, Médaille d'or du CNRS 2010), à travers l'exemple des solides poreux, a montré comment le cheminement de la pensée du chercheur peut permettre, en partant de questionnements fondamentaux, d'aboutir à la réalisation de nouveaux matériaux aux applications multiples et variées, telles que le développement de procédés industriels innovants pour de nouveaux carburants ou la synthèse de nanovecteurs de médicaments.
- Sophie Jullian (IFP Énergies nouvelles) a dressé un panorama des besoins en chimie et des compétences nécessaires pour l'industrie du futur, en soulignant l'aspect incontournable des compétences pluridisciplinaires, de la catalyse et de la modélisation multi-échelle pour aborder les problèmes de l'énergie.
- Philippe Sautet (Académie des sciences, Université de Lyon et CNRS) a montré l'apport de la modélisation et de la chimie computationnelle à la compréhension et à la visualisation des processus de catalyse à l'échelle atomique et moléculaire. La chimie quantique permet de déterminer des profils énergétiques de réactions, par exemple des hydrogénations sélectives entre aldéhydes et alcènes, et constitue donc un outil pour la compréhension des mécanismes réactionnels.

L'enseignement de la chimie

Au-delà de la thématique principale, l'aspect enseignement a été développé dans les **conférences plénières** suivantes :

- Valérie Wathélet et Mathieu Dontaine (Centre de didactique supérieure de l'Académie de Louvain, Belgique) ont décrit leur expérience des « Passeports pour le bac », un outil permettant d'évaluer les étudiants à la sortie de l'enseignement secondaire ou à l'entrée à l'université. La synthèse des informations recueillies permet à la fois à l'étudiant de réagir pour combler ses lacunes ou pour s'améliorer pour une compétence donnée, et à l'enseignant d'avoir une connaissance globale et individuelle de son groupe d'étudiants afin d'adapter son enseignement.
- David Lafarge (Université de Clermont-Ferrand) a exposé les problèmes inhérents à l'enseignement de la chimie organique et proposé des pistes d'évolution de cet enseignement à travers différents exemples de mises en œuvre.

Les **communications** ont également permis de riches échanges :

- Odile Dechy-Cabaret (ENSIACET, Université de Toulouse) a vanté l'intérêt de l'utilisation de la micro-échelle comme outil commun s'adressant aux étudiants de master ou d'école d'ingénieurs, issus de cultures différentes (chimie *versus* génie chimique). Au-delà des aspects incontournables de formation liés à la chimie verte, cet outil permet de faire la liaison entre les deux cultures afin de saisir les avantages et inconvénients des synthèses en batch ou en continu.
- Jean-Paul Leroux, Nelly Troisfontaine (INRS) et Philippe Gall (INSA Rennes) ont discuté l'enseignement des bases en prévention des risques ainsi que la version 2 du logiciel Formalabo, permettant l'autoformation des étudiants à la prévention lors de la préparation de travaux pratiques. Lors des JIREC 2008, la version 1 de ce logiciel avait été présentée et avait fait l'objet d'un article dans *L'Actualité Chimique* [33]. Cette version 1 était un guide et un support d'accompagnement de l'étudiant pour l'acquisition d'une démarche ou méthodologie générale prenant en compte les aspects scientifiques et liés à la sécurité pour la réalisation de la synthèse organique. Formalabo 2 a pu être testé par des participants lors de l'atelier qui a suivi cette communication. Un article relatif à cette approche sera publié ultérieurement.



La salle de conférence. Photo : F. Le Quéré, DR.

D'autres communications concernaient plus particulièrement des **retours d'expériences** ou d'innovations pédagogiques :

- Bénédicte de Bonneval (Université de Toulouse) a présenté un nouveau dispositif mis en place dans l'Académie de Toulouse, les « Maisons pour la science » (voir *encadré 2*), afin d'accompagner et former en sciences les enseignants du premier degré et des collèges.
- Céline Léonard (Université Paris-Est Marne-la-Vallée) a décrit le fonctionnement du Réseau Français de Chimie Théorique (voir *encadré 3*), un ensemble d'associations de chercheurs et enseignants-chercheurs répartis en pôles géographiques, permettant la mutualisation d'enseignements associés à de faibles effectifs, ainsi que le soutien à des manifestations liées à la thématique.
- Florence Boulic'h (Aix-Marseille Université) a montré une nouvelle façon d'enseigner pour un public d'étudiants suivant la licence « Sciences & Humanité » à Aix-Marseille Université, caractérisée par une approche transdisciplinaire. C'est ainsi que le thème de l'oxydoréduction en chimie a été abordé à travers l'art de la photographie.
- Corinne Allodi (lycée Pierre de Coubertin, Meaux) a présenté une production académique de ressources permettant d'améliorer la transition lycée-université, sous la forme d'exercices à effectuer en accompagnement personnalisé au lycée et/ou à l'entrée à l'université. À travers l'exemple des mécanismes réactionnels, elle a décrit le retour d'une première expérience de tests sur une classe de terminale S.
- Jérôme Randon (Université Lyon 1) a présenté une expérience réalisée avec des étudiants en « analyse chimique et contrôle » lors d'une école d'été de niveau master. Par une mise en situation face à un client fictif, il a pu mettre en avant les difficultés et intérêts de l'interaction entre l'analyste et son client afin d'affiner la demande et d'offrir la réponse adéquate.

Une plage horaire importante a été laissée aux **deux séances d'ateliers** du mercredi, durant lesquelles les participants ont pu choisir entre les thématiques suivantes :

- Michel Vigneron (IA-IPR, Académie de Paris) a proposé une réflexion suivie de questionnements sur le thème « La résolution de problèmes en chimie : est-ce possible ? ».
- Xavier Bataille (ENCPB, Paris) a animé un atelier sur la « démarche expérimentale, d'investigation, scientifique, en post-bac : mise en place, exploitation et évaluation ».
- Jean-Paul Leroux, Nelly Troisfontaine (INRS) et Philippe Gall (INSA Rennes) ont réalisé une initiation sur machine au logiciel Formalabo 2.

Encadré 2**Les « Maisons pour la science » :
un dispositif innovant au service de l'éducation**

Initié par l'Académie des sciences et piloté au niveau national par la Fondation « La main à la pâte », ce projet innovant est financé grâce aux fonds des Investissements d'avenir, et localement par la COMUE – Université de Toulouse, Université Paul Sabatier, Université du Mirail et Rectorat de l'Académie de Toulouse. La « Maison pour la science en Midi-Pyrénées » [a] appartient au réseau national des « Maisons pour la science » [b]. Elle propose de nouvelles modalités de développement professionnel, centrées sur les sciences de la vie et de la Terre, les sciences physiques et chimiques, sur l'ingénierie, les sciences cognitives et les mathématiques. Elle vise ainsi à fournir aux professeurs les moyens de faire évoluer leurs pratiques d'enseignement des sciences et d'en transmettre le goût à leurs élèves, qui sont les citoyens, et peut-être les scientifiques de demain.

Bénédicte Garreau-de Bonneval¹, Clémentine Transetti² et Cédric Faure²

[a] www.maisons-pour-la-science.org/fr/midi-pyrenees

[b] www.maisons-pour-la-science.org

(1) Laboratoire de Chimie de Coordination (LCC CNRS), 205 route de Narbonne, F-31077 Toulouse Cedex 4. Courriel : bdb@lcc-toulouse.fr

(2) Maison pour la science en Midi-Pyrénées, Halle technologique IUFM, 118 route de Narbonne, F-31078 Toulouse Cedex 4. Courriels : clementine.transetti@univ-toulouse.fr ; cedric.faure@maisons-pour-la-science.org

- Ludivine Héliot (lycée Jean-Baptiste Corot, Savigny-sur-Orge) a animé un atelier intitulé « Nouvelles compétences des lycéens – liaison secondaire-supérieur ».

Des innovations lors des JIREC 2013**Un renforcement des échanges
entre le secondaire et le supérieur**

Pour la première fois cette année, le colloque a été inscrit au Plan national de formation de l'Éducation nationale, ce qui a permis à une quinzaine de professeurs de lycée ou de classes préparatoires et de formateurs d'y assister.

**Une retransmission en direct avec le site de
Toulouse**

Grâce au soutien du Comité Ambition Chimie (CAC) et dans le cadre d'un projet avec l'Union des professeurs de physique et

Encadré 3**Le label de chimie théorique**

Le Réseau Français de Chimie Théorique [a] a été créé en 2006 sous l'impulsion de Gilberte Chambaud, Claude Pouchan et Bernard Levy, en réaction à la fermeture des DEA nationaux de chimie théorique.

Sa première mission est de soutenir la communauté des chimistes théoriciens français qui se rassemble tous les deux ans

depuis presque trente ans lors des Rencontres des Chimistes Théoriciens Francophones.

Sa seconde mission est de promouvoir la discipline par des actions d'enseignement. En particulier, tous les ans, deux semaines de formation gratuite en chimie théorique sont organisées dans chacun des cinq pôles régionaux (schématisés par le logo du réseau) sous la forme de cours et de travaux pratiques [b] pour un équivalent de 6 ECTS [c]. Ces formations sont destinées aux étudiants de master, aux doctorants, aux chercheurs et enseignants-chercheurs. Le label de chimie théorique est décerné pour les étudiants de master qui ont validé les évaluations des deux semaines et qui effectuent également un stage de M2 sur un sujet lié à ce domaine. Cet enseignement est inclus dans la maquette de plusieurs masters de chimie et est reconnu par un nombre croissant d'écoles doctorales.

Céline Léonard*

[a] www.chimie-theorique.cnrs.fr

[b] Cette année, elles ont lieu à Paris du 30 juin au 4 juillet (<http://rcif2014.sciencesconf.org>).

[c] Le Système européen de transfert et d'accumulation de crédits est un système de points développé par l'Union européenne pour la lecture et la comparaison des programmes d'études des différents pays européens. ECTS, abréviation de « European Credits Transfer System », est le terme le plus couramment employé pour des raisons pratiques. La règle de base est 1 an = 60 crédits.

* Laboratoire Modélisation et Simulation Multi-Echelle, UMR 8208 CNRS, Université Paris-Est Marne-la-Vallée, 5 boulevard Descartes, F-77454 Marne-la-Vallée Cedex 2.

Courriel : celine.leonard@univ-paris-est.fr

de chimie (UdPPC), les conférences et deux séances d'ateliers de la journée du mercredi 22 mai ont été filmés et diffusés au Rectorat de Toulouse, ce qui a permis à des enseignants de la région Midi-Pyrénées d'assister à la retransmission en direct et d'interagir avec les conférenciers. Les enregistrements réalisés à cette occasion permettront d'élaborer un DVD qui servira de support à des formations planifiées pour cette année par l'UdPPC dans différentes régions de France.



Les ateliers. Photos : F. Le Quéré et M. Guitou, DR.



Vue du lycée Thibaut de Champagne de Provins depuis la tour César, partages d'expériences et expositions. Photos : F. Le Quéré et M. Guitou, DR.



Remise du prix de la DEF-SCF 2013 à Ludovic Jullien (au centre) par Jean-Charles Mougé (à gauche), président de la DEF-SCF, en présence de Gilberte Chambaud et Patrick Chaquin, anciens présidents de la Division. Photo : F. Le Quéré, DR.

Une journée dans un lycée pour des partages d'expériences

La journée du jeudi 23 mai s'est entièrement déroulée au lycée Thibaut de Champagne de Provins [34]. Grâce à la direction du lycée et à son équipe des professeurs de physique et chimie qui nous ont réservé un très bel accueil, ce déplacement a permis de bénéficier d'un cadre différent et stimulant. Dans l'enceinte de la chapelle du lycée qui achevait tout juste sa rénovation, nous avons mis en place une session de « partages d'expériences », où se côtoyaient des élèves et professeurs de physique et chimie du lycée et des enseignants-chercheurs du supérieur. Sous une forme très vivante de manipulations et d'ateliers de pratique expérimentale, l'objectif commun était



Remise de l'emblème des JIREC à Florence Boulc'h (à gauche) par Marie Guitou. Photo : F. Le Quéré, DR.

d'illustrer différents aspects de nos enseignements par l'intermédiaire de nombreux thèmes – équilibre en chimie, synthèse de polymères dans l'eau, utilisation du bleu de Prusse, « arbres artificiels », radioastronomie, « bleu pastel », « rose de Provins »... – et d'enrichir la communication entre enseignants du supérieur et du secondaire. Parmi ces activités expérimentales, certaines ont fait l'objet dans ce dossier d'articles ou de contributions courtes (voir encadré 1).

La visite guidée et commentée du lycée par Olivier Deforge, archéologue en charge de la rénovation, fut également très instructive et passionnante. L'après-midi, des élèves de terminale S étaient conviés à assister, en compagnie des participants, à la conférence de Philippe Sautet (Université Lyon 1) sur l'apport de la modélisation en chimie, puis aux présentations de Pascal Breuilles (CNRS) [35] et Catherine Beudon (UIC) [36] sur les métiers de la chimie à tous les niveaux, dans le milieu académique et l'industrie. Il s'ensuivit une discussion enrichissante entre enseignants et élèves sur l'attrait de la chimie et les critères de choix d'orientation des élèves.

Après une visite de la Tour César, les participants ont pu achever de façon festive cette journée par un repas de gala à l'ambiance médiévale dans la salle du Caveau du Saint-Esprit.

Prix de la DEF-SCF

Conformément à la tradition, le dernier temps fort des JIREC a été consacré à la remise du **prix de la division Enseignement et Formation de la Société Chimique de France** à Ludovic Jullien, professeur à l'École Normale Supérieure de Paris, pour son implication dans l'enseignement de la chimie. Il nous a présenté l'esprit et les contraintes inhérents à l'élaboration de programmes (les anciens programmes de chimie du lycée), ainsi que son action sur le déroulement du L3 et du M1 de chimie de l'Université Pierre et Marie Curie pour favoriser l'émancipation, l'autonomie et l'ouverture intellectuelle des étudiants, notamment par l'introduction du tutorat et d'enseignements transversaux.

Pour clôturer ces journées, Florence Boulc'h, organisatrice des 30^e JIREC à Carry-le-Rouet du 25 au 28 mars 2014 sur le thème de « **La couleur** » [37], a reçu le témoin des JIREC symbolisé par la maquette du « phare du bout du monde ».

Remerciements

Les organisateurs remercient pour leur soutien l'équipe de chimie théorique du laboratoire de Modélisation et Simulation Multi-Échelle (MSME), l'Institut Francilien des Sciences

Appliquées (IFSA) et la direction de l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée. L'appui de la Société Chimique de France et de sa division Enseignement-Formation, qui œuvre depuis plus de trente ans à la réalisation de ces journées, a été précieux, ainsi que l'initiative du Comité Ambition Chimie, en lien avec l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie, pour mettre en lumière cette manifestation grâce à la retransmission en direct et la réalisation d'un DVD pour de futures journées de formation. Par ailleurs, grâce au soutien de l'Inspection générale de l'Éducation nationale et de la Direction générale de l'Enseignement scolaire, nous avons pu pour la première année inclure les JIREC dans le cadre du Plan national de formation de l'Éducation nationale. Nous souhaitons remercier vivement la Direction du lycée Thibaut de Champagne à Provins et l'équipe des professeurs pour leur participation active à la réussite de la journée de partages d'expériences.

Nous tenons également à remercier pour leur soutien financier : l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée, l'IFSA, le Réseau Français de Chimie Théorique, la CASDEN et les sociétés Bruker, De Boeck, Dunod, Shimadzu, ainsi que l'INRS, la MAIF et la SCF.

Nous remercions tous nos collègues conférenciers et intervenants qui ont permis la réussite de ces JIREC, ainsi que le Comité scientifique et le Comité local d'organisation, chacun ayant apporté sa brique à l'édifice de ces journées dédiées à la pédagogie et à l'enseignement.

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

Notes et références

- (1) Les partages d'expériences correspondent à différentes manipulations simples destinées aux travaux pratiques et/ou aux démonstrations de cours. Leur objectif principal est de montrer des activités expérimentales destinées aux enseignements du secondaire et du supérieur.
 - (2) Un retour d'expériences est une présentation d'une situation pédagogique mise en œuvre avec des élèves ou des étudiants. Cela peut faire référence à une petite manipulation expérimentale, un logiciel, un site web, un projet, un mode d'évaluation, une situation problème, etc. L'objectif est de créer un point de rencontres et d'échanges, pouvant permettre à d'autres de profiter de son expérience.
- [1] « Chimie et développement durable », MIEC-JIREC 2007, *L'Act. Chim.*, **2008**, 325, p. 14-52.
 - [2] « Chimie du nucléaire, énergie et développement durable », JIREC 2010, *L'Act. Chim.*, **2011**, 352, p. 5-35.
 - [3] Numéro spécial « Modéliser et simuler la chimie : le défi de la chimie théorique », *L'Act. Chim.*, **2014**, 382-383.
 - [4] Doctorat Erasmus Mundus « Environmental Technologies for Contaminated Solids, Soils and Sediments », en partenariat avec l'Université Paris-Est (www.internationaldoctorate.unicas.it).
 - [5] Anastas P.T., Warner J.C., *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press, **1998**, p. 30.
 - [6] Lancaster M., *Green chemistry: an introductory text*, 2nd ed., RSC Publishing, **2010**.
 - [7] Collins T.J., Introducing green chemistry in teaching and research, *J. Chem. Educ.*, **1995**, 72, p. 965.
 - [8] Poliakov M., Fitzpatrick J.M., Farren T.R., Anastas P.T., Green chemistry: science and politics of change, *Science*, **2002**, 297, p. 807.
 - [9] Sheldon R.A., Arends I., Hanefeld U., *Green Chemistry and Catalysis*, Wiley-VCH, **2007**.
 - [10] Ramade F., La chimie verte, *Introduction à l'écochimie : les substances chimiques de l'écosphère à l'homme*, Chap. 12, Éditions Tec & Doc, **2011**.
 - [11] Colonna P., *La Chimie Verte*, Lavoisier, **2006**.
 - [12] Bruneau C., Chimie verte et catalyse, *L'Act. Chim.*, **1999**, 11, p. 127.
 - [13] Loupy A., Synthèse organique sous micro-ondes en absence de solvant : un procédé efficace pour la chimie verte, *L'Act. Chim.*, **2004**, 272, p. 18.
 - [14] Astruc D., La métathèse : de Chauvin à la chimie verte, *L'Act. Chim.*, **2004**, 273, p. 3.

- [15] Alonas X. et al., Les photopolymères : de la chimie verte aux hautes technologies, *L'Act. Chim.*, **2008**, 317, p. 16.
- [16] Férey G. et al., A chromium terephthalate-based solid with unusually large pore volumes and surface area, *Science*, **2005**, 309, p. 2040.
- [17] Férey G. et al., Porous metal-organic-framework nanoscale carriers as a potential platform for drug delivery and imaging, *Nature Mater.*, **2010**, 9, p. 172.
- [18] Horcajada P. et al., Metal-organic frameworks in biomedicine, *Chem. Rev.*, **2012**, 112, p. 1232.
- [19] Férey G., De l'alchimie au Lego® virtuel, *La Recherche*, **2002**, 357, p. 38.
- [20] Férey G. et al., Les nouveaux solides poreux ou le miracle des trous, *L'Act. Chim.*, **2007**, 304, p. 1.
- [21] Férey G. et al., Matériaux poreux, stockage et libération de médicaments antitumoraux et antiviraux, *L'Act. Chim.*, **2011**, 348-349, p. 58.
- [22] Artero V., Chavarot-Kerlidou M., Fontecave M., Splitting water with cobalt, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2011**, 50, p. 7238.
- [23] Armand M., Grugeon S., Vezin H., Laruelle S., Ribièrre P., Poizat P., Tarascon J.-M., Conjugated dicarboxylate anodes for Li-ion batteries, *Nature Materials*, **2009**, 8, p. 120.
- [24] Chen H., Armand M., Jiang M., Grey C.P., Dolhem F., Tarascon J.M., Poizat P., Lithium salt of tetrahydroxybenzoquinone: toward the development of a sustainable Li-ion battery, *J. Am. Chem. Soc.*, **2009**, 131, p. 8984.
- [25] Sautet P., Quantum chemistry as a tool for an atomic scale description of heterogeneous catalyst, *Characterization of Solid Materials and Heterogeneous Catalysts: From Structure to Surface Reactivity*, M. Che, J.C. Védrine (eds), Wiley, **2012**.
- [26] Sautet P., La chimie théorique : une méthode clé pour une chimie durable, *L'Act. Chim.*, **2014**, 382-383, p. 78.
- [27] Marquardt R., Héning J., Dehez F., Chipot C., Dynamiques moléculaires quantiques et classiques, *L'Act. Chim.*, **2014**, 382-383, p. 56.
- [28] Assfeld X., Rivail J.L., Theoretical treatment of large molecular systems, *Theochem*, Special issue, **2009**, p. 898.
- [29] Piquemal J.P., Jordan K.D., *Theor. Chem. Acc.*, **2012**, 131, p. 1207.
- [30] *Bulletin officiel* spécial n° 9 du 30 sept. 2010.
- [31] *Bulletin officiel* spécial n° 8 du 13 oct. **2011**.
- [32] www.jirec.fr/index.php/archives/jirec-2013, consulté le 18/03/14.
- [33] Charpentier L., Gall P., Leroux J.-P., Formalabo : un outil pour intégrer la dimension HSE dans la mise en œuvre de TP en chimie de synthèse, *L'Act. Chim.*, **2011**, 358, p. 47.
- [34] Des ateliers ont déjà été délocalisés dans des établissements scolaires, par exemple lors des 15^e JIREC 1998 à Besançon. Montfort B., Rebetez M., Les JIREC : 25 fenêtres sur la recherche et l'innovation dans l'enseignement ou l'éducation en chimie, *L'Act. Chim.*, **2010**, 341, p. 19.
- [35] www.cnrs.fr/inc et www.cnrs.fr/inc/chimissimo/accueil/accueil.html, consultés le 18/03/14.
- [36] www.uic.fr et www.lesmetiersdelachimie.com, consultés le 18/03/14.
- [37] www.jirec.fr, consulté le 18/03/14.



M. Guitou



F. Le Quéré



K. Fajerberg

Marie Guitou et Frédéric Le Quéré sont maîtres de conférences au Laboratoire Modélisation et Simulation Multi-Échelle (MSME, UMR 8208 CNRS), Université Paris-Est Marne-la-Vallée*. Ils ont organisé les JIREC 2013.

Katia Fajerberg est maître de conférences au Laboratoire de Chimie de Coordination (LCC CNRS), Université de Toulouse**. Elle assure la coordination des dossiers MIEC-JIREC publiés dans *L'Actualité Chimique* depuis les JIREC de 2007 et est également chargée de la rubrique « Enseignement-Formation ».

* Laboratoire Modélisation et Simulation Multi-Échelle, UMR 8208 CNRS, Université Paris-Est Marne-la-Vallée, 5 boulevard Descartes, F-77454 Marne-la-Vallée Cedex 2.

Courriel : marie.guitou@univ-mlv.fr ; frederic.lequere@u-pem.fr

** CNRS, LCC, 205 route de Narbonne, BP 44099, Université de Toulouse, UPS, INPT, F-31077 Toulouse Cedex 4.

Courriel : katia.fajerberg@lcc-toulouse.fr

Bien œuvrer à la préparation des esprits ?

Ludovic Jullien

Résumé Tout enseignant est confronté à la conception de ses messages et à leur mise en œuvre. Cet article rapporte quelques réflexions d'un enseignant de chimie qui agit en ce domaine, s'attachant à instruire, émanciper, puis affranchir les jeunes élèves tout autant que les étudiants déjà formés.

Mots-clés Enseignement de la chimie, programmes scolaires, activités pédagogiques, JIREC 2013.

Abstract How to prepare the minds at best?

Each teacher has to conceive and implement her/his course. This article reports on the experience of a professor of chemistry, who significantly has devoted his time and his thoughts to this exercise upon constantly aiming at educating, emancipating, and freeing young pupils as well as confirmed students.

Keywords Chemical education, curricula, pedagogical activities, JIREC 2013.



Le 26 février dernier, j'ai reçu un courriel qui annonçait l'attribution d'un prix de la division Histoire de la chimie de la Société Chimique Américaine au Département de chimie de l'École Normale Supérieure (ENS). Ce prix honorait le jeune Louis Pasteur au titre de l'article fondateur qu'il publia en 1848 [1]. Cette distinction inattendue a ravivé en ma mémoire sa fameuse maxime « *La chance ne sourit qu'aux esprits bien préparés.* » C'est en effet un bel espoir de jeune étudiant que de produire un travail d'intérêt historique au cours de sa thèse. Et c'est précisément parce qu'il y va plus de la Fortune que de la seule chance que je me suis engagé à penser des enseignements de chimie, une activité que j'ai continûment pratiquée depuis les débuts de ma formation universitaire.

Préparer les leçons du concours de l'agrégation de chimie a constitué l'expérience fondatrice. Plus que l'exercice

rhétorique, j'apprécie la lecture linéaire et exhaustive d'ouvrages de référence, l'exercice rigoureux du raisonnement intégralement revisité, la construction d'une leçon mêlant l'imposé au subjectif, ainsi que la confrontation enrichissante de points de vue divergents. C'est évidemment là que j'ai assimilé qu'on ne comprend bien que ce que l'on enseigne.

C'est cependant plus tardivement qu'il m'a été donné l'opportunité de participer à la conception de véritables enseignements. Pour ne retenir que les seules activités réformatrices, j'ai ainsi été (i) membre du Conseil national des programmes (1999-2005), (ii) artisan de l'évolution des enseignements de chimie du PCEM/PAES [2] (2003-2005, 2008-2011) et du parcours physique-chimie de licence (2003) de l'Université Pierre et Marie Curie, (iii) directeur des études du Département de chimie de l'ENS (2005-2006), et (iv) acteur de la conception et de la mise en œuvre du master de chimie Paris-Centre (2009). J'utiliserai ici mes expériences (i) et (iii) pour illustrer mon propos.

Le Conseil national des programmes était une instance indépendante rattachée au Ministère de l'Éducation nationale qui comportait une vingtaine de membres d'origines variées, à la fois professionnelles et disciplinaires. Sa mission consistait à porter un regard global sur l'ensemble des programmes scolaires, de la maternelle jusqu'au lycée. Dans cette instance, j'ai participé au cadrage des programmes de sciences expérimentales – et plus particulièrement des programmes de chimie – des classes scientifiques du lycée d'enseignement général. Ce vaste contexte a rendu l'expérience extrêmement enrichissante. Il impliquait en effet que le questionnement associé dépassât de loin le strict cadre disciplinaire puisque des questions aussi générales et intéressantes que « Que faut-il apprendre au cours de ses études ? » ou bien « Pourquoi enseigner la chimie ? » venaient se poser de façon pertinente. Pour ce qui est de la chimie elle-même, « À quel stade introduire ce champ disciplinaire dans le cadre d'une progression sciences expérimentales/sciences de la matière/chimie ? », « Quel est le discours spécifique de la chimie dans

le cadre du curriculum ? », « Comment introduire ce champ de connaissances ? », « Comment articuler de façon cohérente son discours vis-à-vis de celui des autres champs (au sens d'une formation généraliste pré-baccalauréat) ? » constituaient autant d'interrogations. Ces questionnements ont en particulier déterminé la mise en place d'un séminaire regroupant de multiples experts des sciences expérimentales. Les discussions approfondies ont permis de dégager un cadrage général, qui a par la suite été interprété et mis en œuvre par des groupes disciplinaires spécifiques (groupes d'experts, GE). Il n'y a pas lieu ici de présenter le travail considérable qui a été effectué par le GE de chimie ; ce dernier a fait l'objet de nombreuses publications [3] et il serait illégitime de singulariser une contribution dans ce bel ouvrage collectif. Mentionnons simplement que cette extraordinaire expérience humaine et scientifique m'a permis de mesurer à quel point la conception d'un programme scolaire relève d'un exercice d'optimisation sous contraintes [4].

L'expérience précédente m'a permis d'aborder avec méthode la mise en place de la dernière réforme de la formation prédoctorale de chimie de l'ENS alors que j'y exerçais la fonction de directeur des études du Département de chimie. Quoique concernant un nombre bien plus réduit d'élèves et d'enseignants que lors de la réforme des programmes du lycée, j'en mesurais toute la responsabilité puisque cette formation académique de haut niveau dispensée en trois ans (L3-M2) s'adresse à un public motivé et exigeant d'une petite vingtaine d'étudiants français et étrangers se destinant en particulier aux métiers de la recherche et de l'enseignement supérieur. Offrant le spectre le plus large possible de la chimie en début de formation, les étudiants ont accès très rapidement à tous les outils conceptuels fondamentaux pour poursuivre une formation généraliste ou pour se spécialiser par affinité, de manière performante et constructive. S'appuyant par ailleurs sur des stages en laboratoire, des séminaires et des travaux sur articles, la formation place ses étudiants en situation de « bébés chercheurs », une formule qui plaît beaucoup aux étudiants qui y trouvent matière à agir et à s'émanciper dans un cadre plus riche que celui de la salle de travaux pratiques.

Lors de la création du magistère de chimie en 1985, le choix d'une formation généraliste à forte empreinte conceptuelle dans un cadre pédagogique traditionnel (cours, travaux dirigés [5]) s'était accompagné d'une forte élévation du niveau et de la densité des enseignements dispensés aux niveaux L3 et M1 qui rentraient ainsi dans une logique de classes préparatoires aux grandes écoles. De façon quelque peu schizophrène quoique décalée dans le temps, les étudiants de L3 – majoritairement issus des classes préparatoires – plébiscitaient le nombre important d'heures en classe (26,4 h par semaine en moyenne), alors que ces mêmes étudiants regrettaient en fin de scolarité (M2) la part bien trop faible laissée à l'autonomie et à l'enrichissement personnel au travers du suivi de cours et de séminaires extérieurs, de la lecture individuelle d'ouvrages ou d'articles, de discussions entre camarades, de la visite de laboratoires...

La réforme qui a été mise en place en 2006 à l'ENS a ainsi essentiellement conservé les mêmes enseignements du point de vue du contenu et de l'approche des champs, mais cela dans un cadre pédagogique allégé et responsabilisant [6]. Conservant le principe de l'absence de travaux pratiques au profit de stages en laboratoire, le volume horaire en salle de cours a été considérablement limité. Les enseignements pré-

sentuels en classe entière ont été réduits à une demi-journée par jour ouvrable : matin en M1 et après-midi en L3. Ce format très souple permet aux étudiants qui le souhaitent de suivre des enseignements (i) de chimie à la fois aux niveaux L3 et M1, ce qui facilite en particulier l'intégration d'étudiants à la formation au niveau M1 et (ii) de physique en L3 (classiquement mécanique quantique et physique statistique) qui se déroulent à l'ENS les matins [7]. Dans ce contexte, les cours magistraux ont été invités à se concentrer sur la présentation de l'architecture et des fondamentaux des champs, en réservant les développements techniques, les illustrations et applications à la lecture individuelle d'ouvrages de référence. Ce dispositif a été complété par la mise en place de tutorats d'accompagnement se déroulant dans la demi-journée libre : dans le cadre d'une auto-évaluation, les étudiants – le plus souvent en petits groupes – prennent rendez-vous avec un tuteur (très souvent un étudiant en thèse, moniteur ou agrégé-préparateur) afin d'obtenir des explications complémentaires, des réponses consécutives à leurs lectures... Cette organisation laisse une place considérable au travail personnel – individuel ou en petits groupes. Elle donne par ailleurs une grande souplesse à l'emploi du temps.

Les étudiants apprécient le format bloc par demi-journée. Pour autant, en début de cursus en particulier, ils n'arrivent pas à mettre à profit leur temps libre comme cela avait été conçu. Considérant que ces étudiants sont motivés et ont généralement déjà un projet professionnel affirmé, la cause principale de leur embarras semble bien résider dans la difficulté à identifier comment « travailler » un cours, alors même qu'ils disposent de stages en situation professionnelle illustrant connaissances et compétences à acquérir. Plusieurs raisons peuvent être invoquées. Conséquence d'une valorisation excessive de la notion de programme dans le système français, ces étudiants estiment d'abord trop souvent que le seul cours suffit ; ils identifient en fait plus un cours à la matière enseignée qu'au professeur qui le dispense. Par manque d'habitude mais aussi parce qu'ils ne peuvent souvent même pas imaginer que deux professeurs puissent tenir des discours distincts sur un même sujet, peu s'engagent alors de façon spontanée dans les lectures recommandées [8]. Les étudiants survalorisent par ailleurs l'enseignement présentiel, à la fois par habitude, mais aussi parce qu'ils en apprécient la dimension « sociale ». Peu d'entre eux arrivent en fait à considérer que lire et comprendre en solitaire un article ou un ouvrage puisse constituer une activité formatrice de même valeur que de suivre un cours dispensé par un professeur ; ceux-là choisissent souvent de suivre des cours supplémentaires et ne disposent ainsi plus de temps libre. Un dernier élément émergent me semble devoir enfin être pris en compte : l'accès facile et économique aux ressources infinies de l'Internet bouleverse assurément la relation traditionnelle aux apprentissages. Les étudiants ont intégré ces nouveaux outils, le clavier comme une extension physiologique et le réseau comme une puissante prothèse. Il se peut ainsi qu'ils en retirent d'abord l'impression qu'apprendre perd de son intérêt tant il est facile de combler une lacune grâce à une page de texte, une image ou une séquence filmée. Il se peut par ailleurs qu'à ce stade déjà avancé de leurs études, ils perçoivent un certain caractère arbitraire à l'enseignement qu'ils reçoivent, tant est effectivement vaste le répertoire des clefs d'intelligibilité du monde.

Les quelques éléments de réflexion précédents encouragent à poursuivre l'évolution des formations prédoctorales de chimie. Il est en effet essentiel que les étudiants puissent atteindre la pleine maturité de leur questionnement et de

leur action à un âge moins avancé que celui de leurs prédécesseurs. Reconnaisant que la chimie est une science mûre au discours conceptuel essentiellement convergé et intégrant de fait l'accessibilité universelle aux ressources du Net, les principes suivants me semblent à considérer : (i) un enseignement magistral essentialisé, compact et subjectif, prolongé par des lectures individuelles donnant ultérieurement lieu à restitution et discussion dans le cadre de tutorats obligatoires en binôme ou en trinôme ; (ii) une activité de contextualisation et de mise en situation des concepts et des connaissances et devant contribuer à leur légitimation. On peut comprendre en effet qu'un jeune adulte interroge enfin le curriculum qu'il reçoit. Après tout, est-il si évident qu'il faille apprendre de la mécanique quantique et de la biologie pour résoudre les problèmes qui se posent aux chimistes dans vingt ans ? Est-il suffisant de répondre que le professeur en est passé par là ou bien peut-on le justifier ? Les travaux dirigés tels qu'ils sont traditionnellement mis en œuvre ne répondent pas à ce besoin de contextualisation qui dépasse évidemment la seule préparation d'un examen. Il faut vraisemblablement plutôt considérer la mise en place d'activités dirigées de groupes (élaboration d'un instrument, d'un projet scientifique...) se fondant sur une situation-problème, s'étalant sur au moins un semestre et pouvant donner lieu à des jeux [9] ou des compétitions entre groupes, ou entre établissements nationaux ou internationaux [10] ; (iii) des stages en situation au détriment des travaux pratiques. Tout cela impose en particulier que les professeurs et les tutelles reconsidèrent les objectifs, la mise en œuvre et l'évaluation des enseignements.

Au moment de clore ce texte, je ne peux m'empêcher de rappeler que maîtres et élèves sont liés par un contrat inter-générationnel : les enseignants doivent aider leurs étudiants à motiver leur action future. À l'université, il faut ainsi sans doute évoquer de futures épopées, par exemple en acceptant de professer aussi des leçons d'ignorance, où s'exprime le possible encore inexistant mais désirable ; quoique l'on sache déjà beaucoup, il reste encore à découvrir et les frontières ne sont pas nécessairement des songes. Les générations de chimistes à venir auront à gérer des problèmes essentiels, difficiles mais enthousiasmants, celui de la gestion raisonnée de la matière et de l'énergie par exemple. Louis Pasteur n'aura pas procédé différemment pour déterminer son activité de recherche. Pour autant, énoncer les défis et révéler les barrières à franchir ne devra pas inciter au découragement. Il sera ainsi nécessaire d'accompagner l'évocation de perspectives d'avenir par la vision rétrospective. Introduire un enseignement d'histoire de la chimie ainsi que le récit d'histoires de chimie me semble souhaitable. Nos étudiants mesureront que nos connaissances sont le fruit d'apports constants, infimes et multiples. Je ne doute pas qu'ils seront raffermissés et rassurés, désormais convaincus qu'un engagement de chimiste est significatif et que l'avenir leur réserve une place légitime.

J'ai alors l'espoir que nos étudiants seront mieux instruits, plus ambitieux et enthousiastes que nous l'avons été.

Notes et références

[1] Pasteur L., Mémoire sur la relation qui peut exister entre la forme cristalline de la composition chimique, et sur la cause de la polarisation rotatoire, *C.R. Acad. Sci.*, **1848**, 26, p. 535.

- [2] PAES (ex PCEM 1) : première année des études de santé.
- [3] Davous D., Feore M.-C., Fort L., Levêque T., Mauhourat M.-B., Perchard J.-P., Jullien L., Le nouveau programme de chimie de la classe de seconde : transformation chimique d'un système, le modèle de la réaction chimique, *Le Bup*, **1999**, 93, p. 3 ; Davous D., Feore M.-C., Fort L., Gleize R., Levêque T., Mauhourat M.-B., Zobiri T., Jullien L., Le nouveau programme de chimie de la classe de première scientifique - La mesure en chimie, *Le Bup*, **2000**, 94, p. 1 ; Davous D., Feore M.-C., Fort L., Gleize R., Levêque T., Mauhourat M.-B., Zobiri T., Jullien L., La chimie au lycée : le nouveau programme de la classe de 1^{re} scientifique, *L'Act. Chim.*, oct. **2000**, p. 23 ; Davous D., Dumont M., Feore M.-C., Fort L., Gleize R., Mauhourat M.-B., Zobiri T., Jullien L., Autour des notions d'évolution et d'équilibre : une analogie hydraulique, *Le Bup*, **2003**, 97, p. 61 ; Davous D., Dumont M., Feore M.-C., Fort L., Gleize R., Mauhourat M.-B., Zobiri T., Jullien L., Les nouveaux programmes de chimie au lycée, *L'Act. Chim.*, fév. **2003**, p. 31 ; Jullien L., L'équilibre chimique : une limite inexorable vaincue par la vie, *Revue du Palais de la découverte*, **2006**, 335-336, p. 44.
- [4] Dans le contexte spécifique des programmes scolaires du lycée d'enseignement général, cadrage horaire et modalités d'évaluation sont définis nationalement, les élèves sont nombreux et hétérogènes, la formation continue des enseignants demeure un objectif, les moyens matériels sont contraints, il existe enfin des traditions culturelles nationales telles que le couplage physique-chimie au lycée. Il y a par ailleurs un intérêt évident à examiner les enseignements correspondants dispensés dans les pays étrangers.
- [5] Les travaux pratiques ont été essentiellement retirés de la formation prédoctorale de chimie à l'ENS. Ce manque de formation pratique est compensé par les nombreux stages en laboratoire. Les étudiants issus de la formation ont montré qu'ils s'adaptaient très aisément aux problèmes techniques ou expérimentaux.
- [6] Les paragraphes suivants présentent le cadre de la réflexion pédagogique relative à la formation prédoctorale de chimie de l'ENS. Pour plus d'informations factuelles, se rapporter à la rubrique « Enseignement » du site www.chimie.ens.fr.
- [7] Les enseignements de physique sont optionnels (mais plébiscités). En revanche, le tronc commun obligatoire de L3 inclut un cours de mathématiques (3 ECTS – dans un souci d'harmonisation européenne des diplômes, chaque unité d'enseignement (UE) validée en fin de semestre permet l'attribution de crédits ECTS (« European Credits Transfer System »)) ainsi qu'un cours de biologie (3 ECTS). L'enseignement de mathématiques vient en appui des cours de chimie physique. L'enseignement de biologie – il ne s'agit pas de biochimie – est en particulier conçu pour informer le chimiste de l'état de l'art en matière de compréhension et de manipulation de la matière vivante. Le plus souvent complété par un second module optionnel de 3 ECTS, il permet aux étudiants chimistes de M1 d'être capables de lire de manière instruite les articles scientifiques rédigés par nos collègues biologistes.
- [8] En particulier quand celles-ci sont en anglais. C'est cependant bien plus l'absence d'habitude à confronter le cours à des ouvrages de référence que le manque de pratique de l'anglais qui est responsable de cette situation.
- [9] On pourra lire ici avec intérêt : *Le jeu des perles de verre (Das Glasperlenspiel)*, 1943, de Herman Hesse, Le Livre de Poche, **2002**.
- [10] Ceci pourrait s'effectuer dans l'esprit des compétitions de robots, des Chemistry circus, ou bien de l'iGEM (International Genetically Engineered Machine competition).



Ludovic Jullien

est professeur des universités à l'Université Pierre et Marie Curie (UPMC)*.

Il a reçu le prix 2013 de la division Enseignement-Formation de la SCF.

* École Normale Supérieure, Département de Chimie, UMR CNRS/ENS/UPMC 8640 Pasteur, 24 rue Lhomond, F-75005 Paris.
Courriel : ludovic.jullien@ens.fr

Enseigner la chimie de manière créative

Florence Boulc'h et Jean-Yves Briand

- Résumé** Cet article décrit une nouvelle approche pédagogique fondée sur la transdisciplinarité et expérimentée au sein de la licence « Sciences et Humanités » de l'Université d'Aix-Marseille. La première partie présente les fondements de cette approche et la seconde développe l'articulation réalisée entre art, mathématiques et chimie dans le cadre d'un cours centré sur la photographie.
- Mots-clés** Enseignement, licence Sciences et Humanités, transdisciplinarité, photographie, cyanotypie, réactions d'oxydoréduction, JIREC 2013.
- Abstract** **Teaching chemistry creatively**
This article describes a new pedagogical approach based on transdisciplinarity and developed within Sciences and Humanities diploma in Aix-Marseille University. The first part presents the ideas of this approach, and the second one develops the example of the course focused on photography and based on chemistry, mathematics and arts knowledge.
- Keywords** **Teaching, Sciences and Humanities diploma, transdisciplinary approach, photography, cyanotypes, oxydoreduction reaction, JIREC 2013.**

La XIX^e édition des Journées de l'innovation et de la recherche pour l'enseignement de la chimie (JIREC) a retenu pour thème la question d'un enseignement d'une chimie « économe et créative ». Ce choix résultait du souci de réfléchir, au sein de ces journées, à la promotion d'une vision moderne et positive de la chimie. Nous souhaitons dans ce texte élargir cette question à une réflexion sur l'enseignement des sciences exactes dans le supérieur.

Avec le développement d'Internet, le savoir est désormais disponible partout et à tout instant. La question de l'articulation entre l'élève et le maître se pose dans un tel contexte avec acuité : pourquoi et comment transmettre un savoir alors que celui-ci est d'une part disponible (souvent de manière bien expliquée, documentée et illustrée), d'autre part contesté, critiqué et mis en doute ? Fermement convaincus que l'apprentissage et la compréhension des sciences ne peuvent se faire dans un face-à-face solitaire avec les sources, nous souhaitons relater ici l'approche pédagogique que nous avons choisie pour répondre à cette question et qui nous a conduits à créer, au sein de l'Université d'Aix-Marseille, une nouvelle licence intitulée « Sciences et Humanités », fondée sur une approche transdisciplinaire du savoir. Nous avons pour cela mené une réflexion en tenant compte des changements du monde étudiant, mais aussi en nous interrogeant sur la place et le rôle que nous souhaitons pour l'Université au sein de la société.

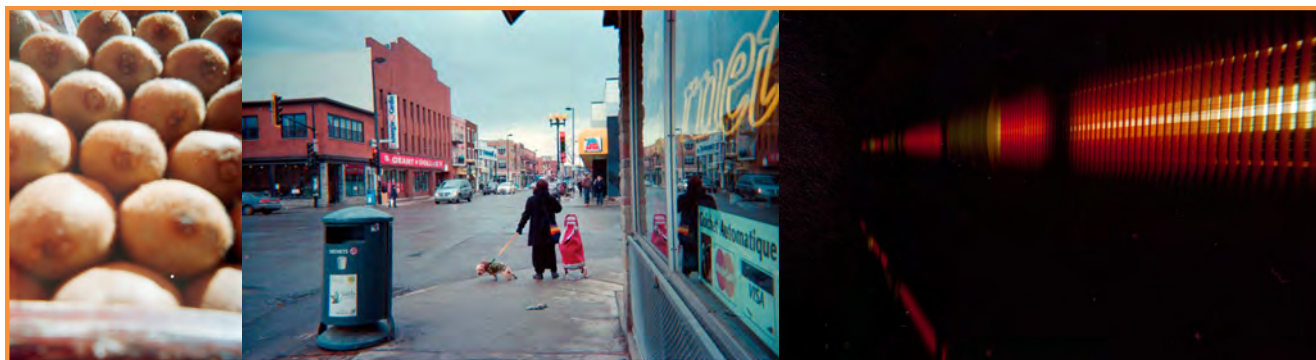
Comment enseigner à l'université ?

L'idée de la licence « Sciences et Humanités » est née au printemps 2009 dans le contexte des manifestations organisées en opposition à la loi relative aux libertés et responsabilités des universités. Ce mouvement reflétait l'interrogation des universitaires sur la place dévolue à leur institution dans la société actuelle. Ainsi de nouvelles formes de cours et de conférences ont-elles été organisées en plein air, dans les rues ou des lieux publics de plusieurs villes

universitaires afin d'interpeller chacun sur le rôle et la place de la connaissance. À l'issue de ce mouvement, quelques universitaires d'Aix-Marseille ont décidé de se réunir afin d'élaborer un nouveau projet de formation universitaire. Partant du constat d'un cloisonnement des disciplines académiques, ayant pour conséquence une perte de pertinence des enseignements dispensés, nous avons décidé de proposer une formation transdisciplinaire qui, par un dialogue permanent entre chercheurs de différents horizons, a pour objectif la compréhension de la complexité du monde passé et moderne [1].

Comme pour toute formation de licence, l'inscription en licence « Sciences et Humanités » est conditionnée par l'obtention du baccalauréat qui peut aussi bien être S (scientifique), ES (économique et social) que L (littéraire). Le parcours transdisciplinaire est maintenu sur trois années avec pour objectif de permettre aux étudiants d'intégrer des formations généralistes comme les écoles de journalisme, les instituts d'études politiques (IEP) ou les écoles supérieures du professorat et de l'éducation (ESPE). En outre, une spécialisation est proposée en troisième année afin de satisfaire aux exigences des insertions dans les masters disciplinaires de sciences humaines (lettres modernes, sciences du langage, philosophie) ou de sciences exactes (physique, chimie, mathématiques).

La maquette de la licence « Sciences et Humanités » ne fut pas acceptée en première lecture. Il nous a fallu convaincre de nombreux universitaires de notre démarche. L'un des reproches que l'on nous a fait – et que l'on nous fait encore – porte sur l'insuffisance des contenus strictement disciplinaires. Or nous souhaitons bien plus ici questionner notre position d'universitaire : préférons-nous que les étudiants accumulent superficiellement des savoirs en nombre important ou prenons-nous le temps de limiter ces derniers afin de les approfondir en recherchant, au travers du dialogue entre les disciplines, des éléments de réponse pertinents à des problèmes complexes ? Nous sommes persuadés que la



Photographies réalisées par Mathilde, Julia et Leila, étudiantes de la licence « Sciences et Humanités », Université d'Aix-Marseille.

transdisciplinarité permet d'apporter du sens à la connaissance et ainsi d'aider à la compréhension des phénomènes étudiés.

Pour atteindre cet objectif, les enseignants des différentes disciplines ont dû travailler ensemble dans un esprit de complémentarité afin de conjuguer leurs habiletés, sans pour autant sacrifier leur expertise ou leur méthodologie de recherche. Ainsi, chacun des enseignants de l'équipe a dû et doit encore se frotter à de nombreuses disciplines autres que la sienne afin de s'accorder sur le vocabulaire, les concepts et les méthodes et de modifier sa perception de sa propre pratique par l'apport de ces regards extérieurs. Notons que cette exigence est doublée de la contrainte de construire un enseignement adapté aux différents bacheliers de la promotion.

Enseigner de manière transdisciplinaire Exemple de la photographie

Nous souhaitons maintenant présenter notre démarche pédagogique transdisciplinaire dans le cadre d'un cours centré sur la photographie, sur lequel nous travaillons actuellement entre artiste, mathématicien et chimiste, et qui est mis en place en deuxième année de la licence « Sciences et Humanités » au sein de l'unité d'enseignement « Optique, vision, couleurs ». En tant que chimiste, nous souhaitons ici introduire les concepts de base des phénomènes d'oxydoréduction.

Nous pensons débiter ce cours par une brève introduction consacrée à la naissance de la photographie et à son contexte, en nous référant à l'ouvrage de Walter Benjamin, *Une petite histoire de la photographie* [2]. L'idée de cette première partie est de questionner les aspects scientifique, historique, artistique et politique, pour mettre en place le canevas complexe de la naissance de la photographie. Nous souhaitons ici non seulement comprendre le procédé chimique mis en place par Daguerre et Niepce pour la réalisation de la photographie, mais aussi poser les questions suivantes : pourquoi la photographie naît-elle au milieu du XIX^e siècle ? Comment se positionne-t-elle par rapport à la peinture ?

En écho à l'introduction, nous nous penchons ensuite plus particulièrement sur la *chambre photographique* et ses liens avec la géométrie projective. Déjà, dans le cadre simple de la *camera obscura*, apparaissent sur l'image des lignes de fuite semblant créer des points de concurrence pour des familles de droites qui, dans le monde réel, sont parallèles. Cela permet d'introduire assez aisément les premiers concepts de la géométrie projective. On passe ensuite à la chambre photographique moderne où le sténopé est remplacé par une lentille. Se pose alors le problème de la recherche de netteté du dispositif. La recherche du plan de

mise au point en photographie aérienne a amené l'Autrichien Theodor Scheimpflug, à la fin du XIX^e siècle, à publier un brevet énonçant la règle qui maintenant porte son nom, pour le trouver. Elle est en fait une conséquence simple des règles de l'optique géométrique et de la géométrie projective sous-jacente, *via* le théorème de Desargues sur les triangles en perspectives [3].

Dans une troisième partie, nous étudions les travaux d'un mouvement photographique. Par exemple, nous travaillons actuellement sur le mouvement surréaliste et, tout particulièrement, autour du photographe André Kertész. Notre idée est de proposer aux étudiants de réaliser une photographie sur un thème choisi et selon le style développé par Kertész. Par ce fil conducteur, nous pouvons étudier quelques œuvres de cet artiste à travers ses contours, ses lignes, ses contrastes vifs et ses ombres tranchées, à travers ses noirs et blancs et à travers ses plongées [4].

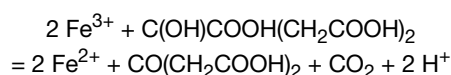
Nous développons la chimie dans la quatrième et dernière partie de ce cours. Dans le cadre de la licence « Sciences et Humanités », nous avons choisi de travailler sur le procédé du tirage sur papier au ferricyanure (ou hexacyanoferrate(III)) de potassium. Ce sont les cyanotypes mis au point par J.F. Herschel en 1842. Cette technique photographique nous permet d'une part, de revenir au bleu de Prusse développé en première année au sein du cours relatif à la synthèse du bleu égyptien, d'autre part de questionner à nouveau l'histoire de la chimie. Notons de plus que cette technique permet de remplacer les coûteux sels d'argent par des composés ioniques à base de fer, bien meilleur marché.

La technique de la cyanotypie est mise en œuvre par les étudiants, de la préparation des réactifs au tirage en passant par l'enduction des supports. Ils réalisent un tirage en bleu de leur photographie en cohérence, par exemple, avec le style et les thèmes de Kertész (*figure 1*). Les photographies sont exposées à l'Université d'Aix-Marseille et accompagnées de textes rédigés par les étudiants, où ils expliquent leur démarche esthétique et technique. Au cours des séances expérimentales, les étudiants peuvent modifier les proportions des réactifs, la nature de l'exposition à la lumière et le temps d'exposition afin de comprendre leurs influences sur la qualité de la photographie obtenue. Il est important de noter que la photosensibilité des composés de fer(III) est améliorée s'ils se trouvent à l'état complexé, donc en présence d'acides organiques – oxalique, tartrique ou citrique [5]. Seul le citrate d'ammonium ferrique est commercialisé⁽¹⁾. L'oxalate et le tartrate ferrique doivent être préparés *in situ* [6]. Afin de préparer la solution photosensible, les étudiants disposent donc de citrate d'ammonium ferrique et de ferricyanure de potassium $K_3[Fe(CN)_6]$. La préparation de la couche photosensible se fait au pinceau à l'abri de la lumière.

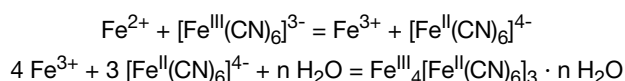


Figure 1 - Photographie et cyanotype de *Chez Mondrian* (1926) d'André Kertész. Afin d'obtenir le cyanotype, nous opérons tout d'abord par contact, c'est-à-dire en juxtaposant le négatif de la photographie d'André Kertész et le papier imprégné de la solution photosensible (citrate d'ammonium ferrique et de ferricyanure de potassium). L'ensemble est ensuite exposé à la lumière solaire ou sous une lampe UV.

L'impression est réalisée en plein soleil ou sous une source UV. Le complexe du fer(III) subit une oxydoréduction interne sous l'action de la lumière : en effet, l'ion Fe(III) est réduit en ion Fe(II), tandis qu'une partie des ions citrate est oxydée en acide 3-oxopentanedioïque [7-9] selon l'équation de réaction suivante :



Enfin, la révélation est réalisée par formation de bleu de Prusse $\{\text{Fe}^{\text{III}}_4[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6]_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}\}$ ($n = 14-17$) selon les équations de réaction suivantes :



Des lavages courts et abondants, afin d'éliminer l'excès de ferricyanure de potassium, suffisent pour développer l'épreuve et la fixer. Il est important de savoir que les ions ferricyanure sont eux-mêmes photosensibles : exposés à la lumière, ils sont réduits à l'état de ferrocyanure – ou hexacyanoferrate(II) – qui, en présence de sel ferrique, forme le bleu de Prusse. Toutefois, cette réaction ne prédomine pas car le citrate d'ammonium ferrique est plus sensible que le ferricyanure : il réagit donc le premier [10]. Cependant, si on prolonge suffisamment longtemps l'exposition à la lumière, on observe une inversion de l'image.

Les connaissances développées ci-dessus sont présentées en cours, puis mises en pratique lors de séances expérimentales. Nous souhaitons ici initier les étudiants à l'activité du chercheur en leur faisant concevoir une démarche scientifique menant à l'obtention d'un cyanotype de leur photographie. Ils sont ainsi amenés à formuler explications et hypothèses scientifiques (que nous complétons) afin de construire un ensemble de connaissances relatives aux réactions d'oxydoréduction englobant la notion de couple oxydoréducteur, la classification de ceux-ci, la notion de potentiel d'électrode et celle de réactions électrochimiques. Par cette démarche, nous souhaitons amener les étudiants à faire preuve d'autonomie et à développer leur esprit d'initiative et leur esprit critique, tout en éveillant leur curiosité et leur créativité.

Conclusion

Comment promouvoir une vision moderne et positive de la chimie ? Malgré l'omniprésence des sciences et des technologies au sein de notre société, il semble que l'intérêt des étudiants pour ces sujets décroît régulièrement depuis dix ans. La chimie souffre en outre d'une image relativement négative. Dans ce contexte, comment motiver des étudiants à débiter des études en chimie ? Comment construire à nouveau un climat de confiance face à la chimie au sein du grand public ? Au sein de la licence « Sciences et Humanités », nous sommes convaincus qu'une réponse possible à ces questions est l'apport d'une nouvelle dimension à l'apprentissage de la chimie en le situant dans son contexte philosophique, historique et artistique. L'attitude des deux premières promotions de la licence « Sciences et Humanités » nous conforte dans cette idée. En effet, dans le cadre de la synthèse du bleu égyptien, comme nous l'avons décrit dans l'article précédent [1], la peinture est l'élément-clé de notre démarche vers l'étude historique de l'utilisation de pigments bleus dans l'art. Il est alors intéressant de noter que les élèves utilisent spontanément leurs pigments synthétisés pour peindre. Et nous avons constaté que cette motivation supplémentaire et personnelle a eu un impact important sur leur implication dans les activités expérimentales, à laquelle ils ont consacré une quantité de temps et d'énergie que nous avons rarement observée jusqu'à maintenant dans les filières classiques, résultant en une attitude très positive envers l'apprentissage et la compréhension de la chimie.

Note et références

- (1) Le citrate d'ammonium ferrique est un sel de structure complexe composé de fer, d'ammonium et d'acide citrique.
- [1] Nous avons précédemment présenté cette nouvelle approche pédagogique dans le cadre de la synthèse des pigments bleus en remplaçant celle-ci dans leur contexte historique dans l'article : Boulc'h F., Andrieux M., Morizot O., Audureau E., Anglade E., Hagel G., La transdisciplinarité ou l'art d'enseigner la chimie du bleu, *L'Act. Chim.*, **2013**, 374, p. 30.
- [2] Walter B., *Une petite Histoire de la Photographie*, Allia, **2012**.
- [3] Lelong-Ferrand J., *Les Fondements de la Géométrie*, Presses Universitaires de France, **1985**.
- [4] Sallenave D., *André Kertész*, Centre national de la photographie, **2007**.
- [5] Dubusc M., Soulie A., Réactions photochimiques et anciens procédés de photographie, *Le Bup*, **1989**, 718, p. 1299.
- [6] Verdager M., Sarrazin J., *L'Oxydoréduction - Concepts et Expériences*, Ellipses, **2009**.
- [7] Abrahamson H.B., Rezvani A.B., Brushmiller J.G., Photochemical and spectroscopic studies of complexes of iron(III) with citric acid and other carboxylic acids, *Inorg. Chim. Acta*, **1994**, 226, p. 117.
- [8] Ware M., Prussian blue: artists' pigment and chemists' sponge, *J. Chem. Educ.*, **2008**, 85, p. 612.
- [9] Abrahamson H.B., The photochemical basis of cyanotype photography, *J. Chem. Educ.*, **2001**, 78, p. 311.
- [10] Glafkides P., *Chimie et Physique photographiques*, Publications Photo-cinéma Paul Montel, **1976**.



F. Boulc'h

Florence Boulc'h est maître de conférences en chimie et Jean-Yves Briend, maître de conférences en mathématiques, Aix-Marseille Université*.



J.-Y. Briend

* Licence « Sciences et Humanités », Campus de Saint Charles, 3 place Victor Hugo, F-13331 Marseille Cedex 3.
Courriels : florence.boulch@univ-amu.fr ; jean-yves.briend@univ-amu.fr

L'actuel défi de la chimie organique : son enseignement

David Lafarge

Résumé

Face aux difficultés récurrentes repérées chez les étudiants et à la perception erronée qu'ils ont de la chimie organique, des explications ont été apportées et beaucoup de propositions d'amélioration de cet enseignement ont été décrites. Cependant, l'enseignement de la chimie organique a peu évolué au cours des dernières décennies. De récents travaux de recherche ont permis d'ouvrir la voie à une refondation de son enseignement. Ainsi la chimie organique pourra réellement montrer ce qu'elle est : une chimie créatrice et respectueuse de l'environnement à travers les problématiques de la synthèse organique, une science qui articule et fait évoluer ses modèles pour résoudre des problèmes de plus en plus complexes. Les premiers effets de ce changement sont visibles dans le nouveau programme de terminale S et ceux de CPGE, mais beaucoup reste à accomplir par la communauté des enseignants de chimie organique.

Mots-clés

Chimie organique, enseignement, apprentissage, didactique des sciences, JIREC 2013.

Abstract

The current challenge in organic chemistry: its teaching

Organic chemistry as it is taught in the first two undergraduate years is reputed to be difficult. Many suggestions have been made for improving its teaching, which has however changed little in last decades. Recent research has paved the way for a reshape of organic chemistry teaching, so that the organic chemistry which students are taught is consistent with the nature of this science. The first effects of this change appear in the new national grade 12 physics and chemistry curriculum, and in the new national curriculum of preparatory classes for selective postgraduate schools, but much remains to be done by the chemistry education community.

Keywords

Organic chemistry, teaching, learning, science education, JIREC 2013.

« J'aime pas la chimie orga ! » Cette sentence semble partagée par de nombreux étudiants de par le monde, car il s'agit d'un cours pénible, nécessitant un énorme effort de mémorisation, sans l'assurance d'une réussite à l'examen. Le malaise est suffisamment profond pour que soient réalisés de nombreux travaux et écrits sur le sujet et que soient tenus des colloques visant à réduire le « traumatisme » causé par cet enseignement⁽¹⁾.

Pourquoi la chimie organique est-elle si difficile à apprendre ?

Le volume important des connaissances et le peu de temps disponible pour les traiter sont souvent cités par les auteurs. En particulier, Scudder dénonce la tyrannie du contenu, la majorité des livres qui ont plus de mille pages, les cours qui deviennent des concours de rapidité d'écriture et les examens des exercices de restitution de ce contenu [1].

Le symbolisme de la chimie organique n'a pas de signification claire pour la plupart des étudiants des premières années universitaires [2-4]. Ourisson dénonçait les non-dits, les ambiguïtés, voire le laxisme dans l'utilisation du symbolisme [5] (figure 1). Les chimistes pensent utiliser des idéogrammes, alors qu'il s'agit en fait de pictogrammes qui n'ont pas de signification en eux-mêmes mais une signification que chacun s'est construite. Ainsi le système symbolique, comme celui des flèches courbes dans les mécanismes, s'apprend à l'occasion de son utilisation par l'enseignant, sans qu'en soient explicitées les règles de fonctionnement [6].

Le savoir de référence en chimie organique est complexe. Dès 1835, Wöhler compare la chimie organique à « une forêt tropicale primitive, un hallier monstrueux et sans limite, sans

voie de sortie, dans lequel on a peur de pénétrer » [7]. À cette époque, les livres traitent la chimie organique selon une approche descriptive qui se focalise sur l'origine biologique et l'usage médical [8]. Gerhardt propose une rationalisation des connaissances de l'époque et classe les espèces chimiques en « séries », en faisant un lien entre leur structure et leurs propriétés. Il propose dès 1845 une classification d'après les « fonctions chimiques ». La chimie organique connaît ensuite deux ruptures épistémologiques fondamentales [9], la première étant la théorie de Lewis au début du XX^e siècle. La prise en compte du milieu vient ensuite compléter l'approche électronique et intègre les phénomènes « sociomoléculaires » dans l'analyse de la réactivité (solvant, agrégats, complexation... et le volet macroscopique qu'est la thermodynamique). La théorie quantique constitue une seconde rupture épistémologique par rapport aux raisonnements découlant de la théorie de Lewis. Actuellement, la résolution de problèmes en chimie organique par les experts nécessite d'articuler différents modèles compétitifs, issus de différents champs : thermodynamique, cinétique, classique (Lewis, électrostatique), quantique [3, 10].

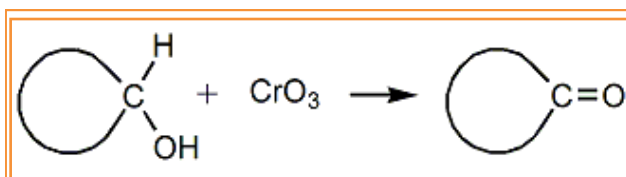
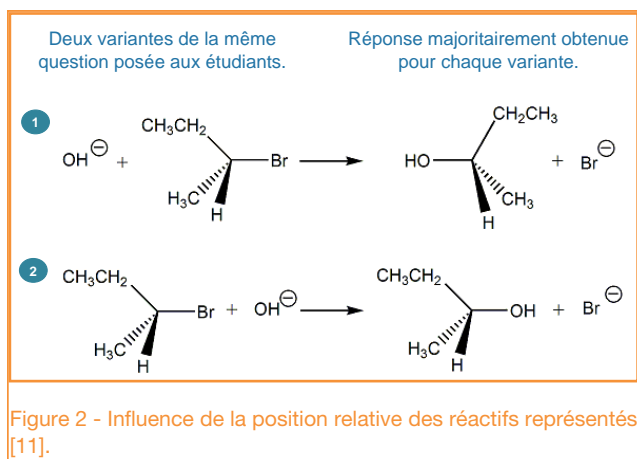


Figure 1 - Sur cet exemple, Guy Ourisson montre comment les chimistes organiciens modifient la convention d'écriture des espèces et des réactions chimiques [5].



Les étudiants peuvent-ils raisonner plutôt que mémoriser ?

De nombreuses publications rapportent les difficultés des étudiants, leur croyance qu'il faut essentiellement mémoriser pour réussir et leur incapacité à raisonner en utilisant les modèles de la réactivité⁽¹⁾. Par exemple, il existe un décalage entre étudiants et enseignants lorsqu'il s'agit de déterminer la nature des capacités cognitives nécessaires pour réussir en chimie organique [9]. Pour les enseignants, il s'agit avant tout de « comprendre », « raisonner » et « structurer », alors que pour les étudiants, il s'agit certes de « comprendre », mais aussi d'« apprendre » et « mémoriser ». En effet, lors de la résolution de problèmes en chimie organique, la plupart des étudiants reprennent des séquences d'étapes mémorisées et reconstituent un puzzle [4]. Les concepts sous-jacents et les modèles ne sont retenus que sous forme de mots vides de sens : les étudiants sont capables de les restituer tels qu'ils ont été formulés par l'enseignant, lorsqu'ils reconnaissent une situation déjà vue en cours, mais ils sont désarmés devant de nouveaux problèmes [3].

Il est remarquable d'observer que face à une question qui leur est posée, les étudiants essaient de s'en sortir en utilisant des stratégies parfois inattendues. Par exemple, quand il est demandé à des étudiants de deuxième année de prévoir le produit obtenu lorsqu'on fait réagir l'ion hydroxyde avec un bromoalcane (figure 2), leur réponse dépend majoritairement de la position initiale des réactifs représentés plutôt que des caractéristiques de la réaction elle-même [11]. La même étude montre que si dans la question les réactifs sont représentés en trois dimensions, les étudiants proposent une substitution ; si les mêmes réactifs sont représentés en deux dimensions, alors ils optent pour une élimination ; si la formule du substrat est compacte, la réaction proposée dépendra de la représentation des réactions que l'étudiant choisira lui-même (figure 3). Ceci serait lié au fait que leurs enseignants [11] et les auteurs de livres [12] auraient tendance à présenter les mécanismes de substitution nucléophile en trois dimensions, alors que les mécanismes d'élimination sont représentés avec des formules planes.

Pourquoi les étudiants utilisent-ils des stratégies alternatives plutôt que celle fondée sur un raisonnement avec les modèles de la chimie organique ? Est-ce parce que l'utilisation des modèles est plus difficile ? Les modèles sont-ils vraiment opérationnels ? Les modèles utiles sont-ils enseignés ? Mais finalement, les questions qui sont posées aux étudiants, les tâches données par l'enseignant peuvent-elles être réellement réalisées à l'aide de raisonnements utilisant les modèles de la réactivité issus des différents champs théoriques ?

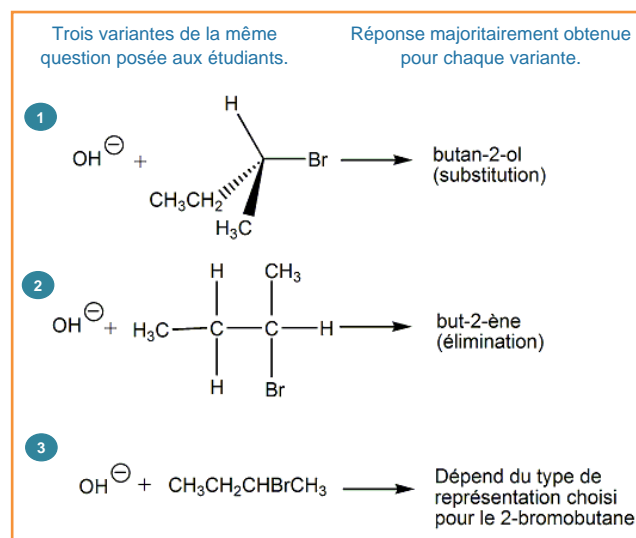


Figure 3 - Influence du mode de représentation d'un réactif [11].

Une réponse négative provient de l'analyse de 375 tâches issues d'énoncés d'examens et de concours, portant sur la réactivité et les réactions en chimie organique [10]. La réussite à l'aide de la seule stratégie de modélisation n'est pas envisageable : les buts des tâches (par exemple prévoir le produit final, établir un mécanisme réactionnel) sont impossibles à atteindre avec les modèles seuls, en ne connaissant que la structure des réactifs ; les conditions nécessaires à la réalisation des tâches ne sont pas réunies (il manque des données indispensables au fonctionnement des modèles telles que des données thermodynamiques ou cinétiques). Il est donc plus efficace pour les étudiants d'utiliser une stratégie de mémorisation-restitution qui consiste à reconnaître la nature des réactifs, puis à restituer une réaction ou un mécanisme réactionnel préalablement mémorisés. L'étude révèle aussi que la structuration historique par groupes fonctionnels, actuellement très répandue [10, 13], focalise l'attention des étudiants sur la structure moléculaire des réactifs et les incite à utiliser une stratégie de mémorisation-restitution plutôt qu'une stratégie de modélisation. Les étudiants sont donc cantonnés dans les faits à utiliser une chimie organique descriptive plus ancienne pour laquelle il faut mémoriser des réactions et leurs caractéristiques.

Pourquoi et comment refonder cet enseignement ?

De nombreuses propositions d'amélioration de cet enseignement ont été décrites⁽¹⁾. Une première approche consiste à améliorer sa mise en œuvre sans modifier fondamentalement la structuration et la nature du contenu disciplinaire : par exemple sont proposés de nouveaux supports, des travaux collaboratifs ou des activités de résolution de problèmes. Une seconde approche vise à redéfinir le contenu disciplinaire lui-même à travers son organisation et ses priorités : il est proposé d'élaguer une partie du contenu, reporter les notions trop complexes et actualiser les applications, introduire la stratégie de synthèse organique plus tôt, réorganiser la structure globale selon une spirale (ou en deux cycles), ou encore autour des mécanismes réactionnels et des modèles. Fondamentalement, ces propositions restent focalisées sur la description des réactions qu'elles organisent et présentent autrement, alors que l'objet principal de la chimie organique actuelle n'est plus la description exhaustive

Encadré 1**Un exemple de progression sur deux ans*****Partie 1 : Comment séparer et identifier des espèces chimiques organiques ? Relations structures-propriétés physiques**

Comment déterminer la structure d'une espèce chimique organique ?
Comment isoler et identifier une espèce chimique organique ?

Partie 2 : Qu'est-ce qu'une stratégie de synthèse organique ?

Comment choisir la meilleure stratégie de synthèse organique ?
Comment élaborer des stratégies de synthèse organique simples ?

Partie 3 : Que se passe-t-il pendant une réaction de chimie organique ?**Notion de mécanisme réactionnel**

Comment évaluer le rôle des réactions acido-basiques en chimie organique ?
Comment expliquer ou prévoir une réaction de chimie organique ?

Partie 4 : Comment concevoir une stratégie de synthèse organique ?**Notions de rétrosynthèse et de chimiosélectivité**

Comment partir de l'espèce chimique organique cible ?
Comment gérer les problèmes de sélectivité des aménagements de fonction ?

Partie 5 : Comment prévoir et modifier l'efficacité d'une transformation d'espèce chimique organique ? Approches thermodynamique et cinétique

Comment prévoir la faisabilité d'une réaction chimique organique ?
Comment la rendre possible ?

Comment prévoir la vitesse d'une réaction chimique organique ? Comment l'accélérer ou la bloquer ?

Comment sélectionner le produit thermodynamique ou le produit cinétique en cas de compétition ?

Partie 6 : Comment contrôler la stéréochimie d'une transformation d'espèce chimique organique ? Notions de stéréosélectivité et stéréospécificité

Comment déterminer la structure tridimensionnelle d'une espèce chimique organique ?

Comment contrôler la stéréochimie lors d'une transformation d'espèce chimique ?

* Pour le détail de cette progression, avec pour chaque question la liste des apprentissages visés et le matériau empirique, on pourra consulter l'annexe de la thèse disponible en ligne [10] ou l'article [16].

et le classement des réactions connues. D'ailleurs, certains auteurs suggèrent de structurer le contenu disciplinaire selon les principes directeurs, les concepts et les modèles de la chimie organique. C'est cette piste qu'il s'agit d'explorer. Or un modèle n'existe pas pour soi, il sert à interpréter un champ expérimental par rapport auquel on pose des questions [14-15]. Il peut donc fournir des éléments de réponse à certaines questions que se pose le chimiste.

C'est donc autour des questions que le chimiste organicien peut se poser que nous proposons de restructurer en profondeur l'enseignement de la chimie organique des premières années post-bac. Il s'agit ensuite de regrouper les questions et leurs réponses autour de quelques pôles, qui sont organisés de manière à enseigner progressivement les modèles, les mécanismes réactionnels et la synthèse organique (encadré 1). La progressivité de cet enseignement n'est plus fondée explicitement sur l'augmentation de la complexité de la structure moléculaire, mais sur l'augmentation de la complexité des questions et des réponses du chimiste.

Les tâches fournies aux étudiants doivent être repensées. Leurs buts sont redéfinis et diversifiés avec davantage d'interprétations de données et de prévisions réellement accessibles. Les conditions de leur réalisation sont fournies : résultats expérimentaux à interpréter et données nécessaires au fonctionnement des modèles (table d'électronégativité, données

Encadré 2**Exemples de questions pouvant être posées dans des exercices d'initiation à la synthèse organique*****Exercice 1**

Un précurseur du patchouliol est synthétisé selon le plan de synthèse fourni. Cependant, il manque la plupart des conditions réactionnelles.

1. Pour chaque étape de la synthèse, dire de quel aménagement il s'agit.
2. À l'aide de la réactionthèque, proposer les conditions réactionnelles les plus adaptées permettant de synthétiser la molécule cible selon le plan de synthèse fourni.

Exercice 2

Nous cherchons à synthétiser l'espèce chimique **A**, utilisée contre la maladie de Parkinson. Deux plans de synthèse ont été proposés par des chercheurs, mais nous ne disposons pour chaque plan que de quelques informations et des étapes réactionnelles dans le désordre.

1. Reconstituer chacun des plans de synthèse en s'aidant de la réactionthèque.
2. En supposant que les rendements des transformations disponibles dans la réactionthèque soient les mêmes que ceux des étapes réactionnelles de ces deux synthèses, estimer leur rendement global. Conclure.

Exercice 3

En utilisant la réactionthèque, proposer une synthèse (en une ou plusieurs étapes) de chaque molécule cible à partir du précurseur associé.

* Les exercices complets sont disponibles dans l'annexe de la thèse disponible en ligne [10].

thermodynamiques, etc.). Ainsi il peut être demandé de décrire ou de compléter un mécanisme réactionnel, choisir parmi plusieurs propositions le mécanisme qui est le plus en accord avec les résultats expérimentaux et les connaissances de contrôle telles que le critère du ΔpK_a ⁽²⁾ [1], prévoir une réaction chimique proche d'une réaction dont le mécanisme a été étudié, vérifier la cohérence d'une prévision ou compléter une prévision. En matière de synthèse organique, tout est à créer à ce niveau là : schématiser une synthèse organique à partir de sa description, choisir la stratégie de synthèse la plus efficace entre deux propositions (coût, rendement, respect de l'environnement, etc.), reconnaître des aménagements de fonction ou de structure sur un schéma de synthèse, utiliser une base de données (la « réactionthèque ») pour estimer des rendements, associer des réactions aux étapes d'un plan de synthèse succinct fourni et concevoir des synthèses simples (figure 4 et encadré 2). Précisons que la réactionthèque n'a pas vocation à être mémorisée, et qu'elle est donc fournie à l'examen, au moins partiellement. Il peut cependant être utile de connaître les principaux aménagements de fonction et de structure.

Ce sont tous ces éléments que nous avons tenté de concrétiser dans le cadre de notre recherche [10, 16], en tâchant de respecter le contenu disciplinaire des programmes d'enseignement alors en vigueur.

Les nouveaux programmes de terminale S et CPGE

La réforme du lycée général et technologique est entrée en vigueur à la rentrée 2010, de « nouveaux » bacheliers se présentent à l'entrée des différentes formations du supérieur à la rentrée 2013. L'enseignement de physique-chimie a pour objectifs de former à la pratique de la démarche scientifique, faire acquérir des connaissances et compétences fondamentales, proposer des contenus motivants et modernes, mieux préparer la transition vers le supérieur [17]. Les programmes de CPGE (classes préparatoires aux grandes écoles) ont été conçus dans la continuité de ceux du lycée [18].

En ce qui concerne spécifiquement la chimie organique, nous observons dans les programmes de terminale scientifique (terminale S) [19] et de CPGE [20] une entrée par les questions contemporaines du chimiste organicien, le passage d'une accumulation de connaissances (familles, réactions) à des connaissances et compétences diversifiées, et la mise en

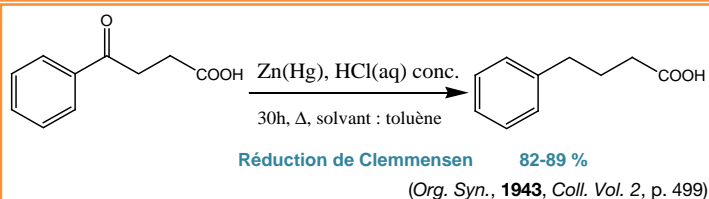


Figure 4 - Exemple de transformation issue d'une « réactionthèque ».

relief de la démarche scientifique et l'approche documentaire. Ainsi ces programmes semblent marquer le début d'une refondation de l'enseignement de la chimie organique. Jusqu'ici, les enseignants avaient peu de marge de manœuvre entre les programmes institutionnels, le manque de ressources alternatives et des habitudes d'enseignement de la chimie organique très ancrées et partagées par la communauté des enseignants de cette discipline [10]. Mais un verrou institutionnel vient d'être levé, et nous devons saisir l'occasion de faire évoluer fondamentalement cet enseignement.

Conclusion

Refonder un enseignement tel que celui de la chimie organique est une tâche colossale et représente un défi pour la communauté des enseignants de cette discipline. Après les deux ruptures épistémologiques que la chimie organique a connues, son histoire entame une nouvelle rupture, mais qui concerne maintenant son enseignement et son apprentissage.

Notes et références

- (1) Dans cet article ne sont mentionnées que quelques-unes des publications les plus représentatives. Pour obtenir une revue bibliographique plus détaillée, se référer au premier chapitre de la thèse de doctorat disponible en ligne [10].
- (2) Critère du ΔpK_a : le pKa du groupe partant (molécule ou anion) produit par la réaction étudiée doit être au maximum à 8 unités au-dessus du pKa du groupe entrant (molécule ou anion), afin que la réaction soit considérée comme envisageable : $pK_a(\text{groupe partant}) \leq pK_a(\text{groupe entrant}) + 8$.
- [1] Scudder P., Database vs. expert system teaching paradigms: using organic reaction mechanisms to teach chemical intuition, *J. Chem. Educ.*, **1997**, *74*, p. 777.
- [2] Anderson T., Bodner G., What can we do about "Parker"? A case study of a good student who didn't "get" organic chemistry, *CERP*, **2008**, *9*, p. 93.
- [3] Bhattacharyya G., Who am I? What am I doing here? Professional identity and the epistemic development of organic chemists, *CERP*, **2008**, *9*, p. 84.
- [4] Bhattacharyya G., Bodner G., "It gets me to the product": how students propose organic mechanisms, *J. Chem. Educ.*, **2005**, *82*, p. 1402.
- [5] Ourisson G., Le langage universel de la chimie : les idéogrammes. Ambiguïtés et laxismes, *L'Act. Chim.*, janv.-fév. **1986**, p. 41.

- [6] Agrebi S., *De la représentation symbolique au langage lors de l'apprentissage des mécanismes en chimie organique dans l'enseignement supérieur*, thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2-Université de Tunis, **2004**.
- [7] Extrait d'une lettre de Wöhler à Berzélius, 1835, cité par Trong Anh N. in *Introduction à la Chimie moléculaire*, Ellipses, **1994**, p. 411.
- [8] Terrien M., *Contribution à l'étude des échanges entre la recherche et l'enseignement supérieur (chimie)*, thèse de doctorat, Université d'Angers, **1998**.
- [9] Loumouamou A., *Contribution à la transposition didactique en chimie organique*, thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, **1998**.
- [10] Lafarge D., *Analyse didactique de l'enseignement-apprentissage de la chimie organique jusqu'à bac + 2 pour envisager sa restructuration*, thèse de doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, **2010** (<http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00578419/fr>).
- [11] Ladhams Zieba M., *Teaching and learning about reaction mechanisms in organic chemistry*, thèse de doctorat, University of Western Australia, Perth, **2004**.
- [12] Bucat R., Pedagogical content knowledge as a way forward: applied research in chemistry education, *CERP*, **2004**, *5*, p. 215.
- [13] Johnson A.W., The year-long first course in organic chemistry, *J. Chem. Educ.*, **1990**, *67*, p. 299.
- [14] Martinand J.-L., Apprendre à modéliser, *Changement conceptuel et apprentissage des sciences*, R.M.J. Toussaint (ed.), Recherches et pratiques, Les Éditions logiques, Québec, **2002**, p. 47-68.
- [15] Lemeignan G., Weil-Barais A., *Construire des concepts en physique*, Hachette, **1993**.
- [16] Lafarge D., Morge L., Méheut M., A new higher education curriculum in organic chemistry: what questions should be asked?, *J. Chem. Educ.*, **2014**, *91*, p. 173.
- [17] Mauhourat M.-B., Vigneron M., Chimie « vivante » et « chimie et vivant » : les nouveaux programmes du lycée, *L'Act. Chim.*, **2012**, *363*, p. 40.
- [18] Mauhourat M.-B., Garreau-de Bonneval B., Fajerweg K., De nouveaux profils étudiants en 2013, *L'Act. Chim.*, **2013**, *374*, p. II.
- [19] Ministère de l'Éducation nationale, Enseignement spécifique et de spécialité de physique-chimie de la série scientifique – classe terminale, *Bulletin officiel spécial n° 8* du 13 oct. **2011**.
- [20] Ministère de l'Éducation nationale, Programmes de la classe préparatoire scientifique Physique, chimie et sciences de l'ingénieur (PCSI) et programme de sciences industrielles de l'ingénieur de la classe Physique et sciences de l'ingénieur (PSI), *Bulletin officiel spécial n° 3* du 30 mai **2013**.



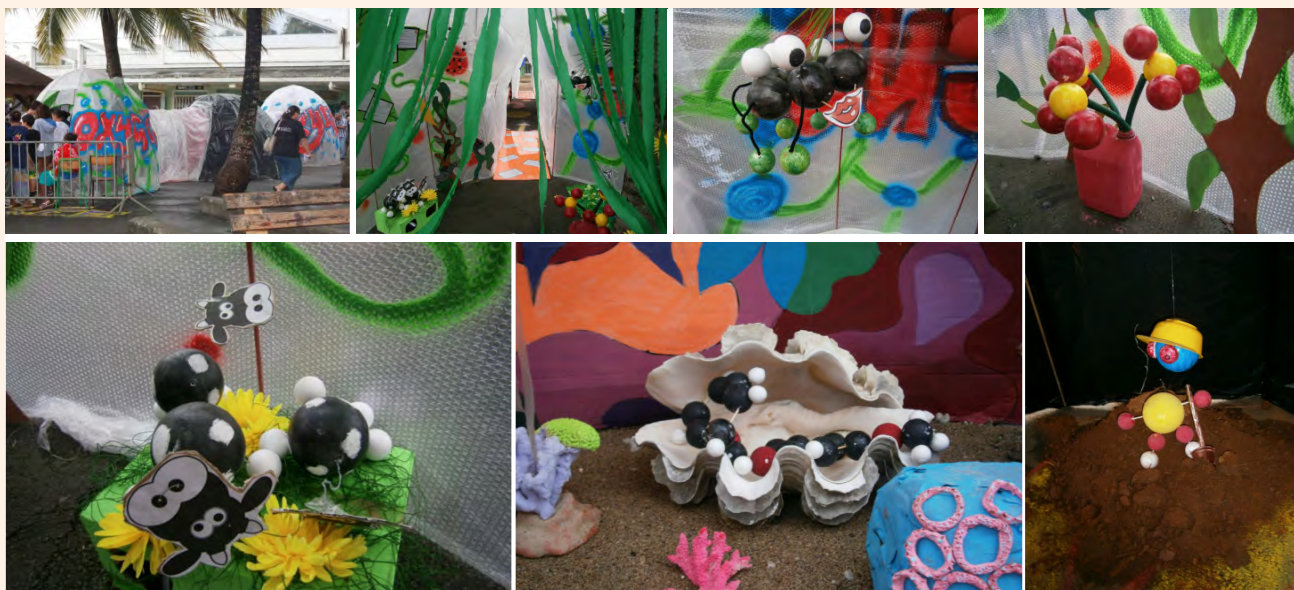
David Lafarge, docteur en didactique de la chimie, est professeur agrégé de chimie à l'IUFM de l'Université de la Nouvelle-Calédonie* et membre associé au laboratoire ACTé (EA 4281) de l'Université Blaise Pascal, Clermont Université.

* IUFM de l'Université de la Nouvelle-Calédonie, 125 avenue James Cook-Nouvelle, BP X4, F-98852 Nouméa Cedex.
Courriel : david.lafarge.ubp@gmail.com

Le « Molegloo »

Fête de la science 2013, Nouvelle Calédonie, collège de Boulari

Les élèves d'un atelier scientifique ont conçu un « Molegloo » pour la Fête de la science 2013 avec leur professeur de physique chimie et leur professeur d'arts plastiques. L'idée de départ était d'étudier les polluants, et plus particulièrement les molécules qui les constituent. Les élèves devaient choisir une molécule de produit polluant et lui donner une forme en rapport avec son impact sur l'environnement ou son origine, sa source. Ils ont eu l'idée de réaliser un chemin de molécules où les gens se promèneraient. Puis ce chemin s'est transformé en une molécule de dioxyde de carbone, les trois atomes prenant la forme d'igloos, avec un thème développé par igloo. Premier igloo : la serre, avec quelques gaz à effet de serre, des molécules d'insecticides, de pesticides, etc. Deuxième igloo : l'usine, avec les polluants des usines calédoniennes. Troisième igloo : l'eau et ses polluants. Les igloos étaient reliés par des tunnels représentant les liaisons entre les atomes et les gens les traversaient en bénéficiant d'explications sur la pollution en Nouvelle-Calédonie. Les élèves ont joué le rôle de guide à l'intérieur de ce fameux « Molegloo ». Ils ont remporté le **premier prix du public de la Fête de la science** (concours organisé par l'Association Symbiose Nouvelle-Calédonie).



La micro-échelle en synthèse organique

Un outil commun chimie/génie chimique

Laurent Prat, Karine Loubière et Odile Dechy-Cabaret

- Résumé** Cet article est une restitution courte de la présentation réalisée au cours des JIREC 2013 sur l'enseignement de la notion de changement d'échelle et de passage d'un mode batch à un mode continu en synthèse organique. L'enjeu est de faire travailler des étudiants issus des départements chimie et génie chimique autour d'un même outil, le microréacteur. Au cours d'une séance de travaux pratiques, les étudiants mettent en œuvre une synthèse organique en continu à micro-échelle et comparent les résultats obtenus à ceux du procédé batch. Ils appréhendent ainsi la notion de synthèse en continu et de suivi cinétique le long du microréacteur et comprennent l'intérêt et les difficultés liés à la petite échelle. L'outil microréacteur mis en place à l'INP-ENSIACET peut être transféré vers d'autres formations de type ingénieurs, mais aussi CPGE, BTS ou IUT, pour accompagner le lien entre les domaines « génie de la réaction » et « synthèse organique ».
- Mots-clés** Enseignement, interdisciplinarité chimie/génie chimique, synthèse en continu, microréacteur, JIREC 2013.
- Abstract** **Microreactors in organic synthesis: a tool for transdisciplinary courses in chemistry and chemical engineering**
This article presents how the microreactor technology in organic synthesis can be introduced in transdisciplinary courses for students from both chemistry and chemical engineering curriculum. Through an experimental approach following a theoretical one, students carry out an organic synthesis in a microreactor in flow conditions and make a comparison with the results obtained in batch conditions. In that way, they can learn how to work in flow conditions and get kinetics information, and they understand the potential and limits of microreactors. This experiment aims at linking competences from chemical engineering or organic chemistry expertise fields and can be easily adapted for various students at each level.
- Keywords** Teaching, interdisciplinarity chemistry/chemical engineering, flow chemistry, microreactor, JIREC 2013.

Dans les industries de la chimie, la collaboration et le transfert de connaissances entre les domaines de la chimie et du génie chimique sont un des fondements du développement des projets industriels. Toutefois, les acteurs de ces deux spécialités ont souvent des objectifs métiers, des outils – voire même un vocabulaire – différents. L'une des clés du modèle de l'INP-ENSIACET [1] est justement de les faire se rencontrer et échanger au cours de la scolarité. Des modules d'enseignement communs aux départements chimie et génie chimique ont ainsi été introduits ; ces enseignements s'appuient notamment sur les fondamentaux du génie de la réaction et de la synthèse organique et les étendent pour proposer des méthodologies théoriques et technologiques innovantes.

Cet article décrit un module de cours et TP permettant l'acquisition de connaissances et de compétences sur les notions de **changement d'échelle** et de **passage d'un mode batch à un mode continu** en synthèse organique. Il s'agit d'une part de comprendre l'influence de l'échelle (plus spécifiquement du rapport surface/volume du réacteur) sur tous les phénomènes mis en jeu lors de la synthèse organique : la réaction chimique dépend du volume mis en jeu, alors que les transferts thermiques et les transferts de matière dépendent de la surface mise en jeu, et que le temps de mélange dépend directement de l'échelle. Et d'autre part, il s'agit de savoir réaliser une synthèse organique en

continu : les notions de temps de séjour, de débit total dans le réacteur et de mise en régime permanent sont présentées théoriquement et expérimentalement pour pouvoir comparer une même synthèse en batch et en continu.

Cours « miniaturisation »

Le cours (**2 fois 1 h 30**), réalisé devant les élèves des départements chimie et génie chimique de l'INP-ENSIACET (M1, 125 étudiants), a pour objectif de leur donner des outils afin de :

- comprendre les enjeux liés au passage d'un mode batch à un mode continu ;
- appréhender l'intérêt et les difficultés liés à la micro-échelle pour la synthèse organique ;
- identifier l'intérêt pour le passage de l'échelle du laboratoire à celle de la production.

La compétence clé est donc d'être capable de choisir l'équipement le mieux adapté à la chimie à mettre en œuvre.

Après un bref rappel des caractéristiques des réacteurs batch classiques et de leurs limitations, le réacteur continu à micro-échelle est présenté au travers de quatre notions majeures [2] :

- la réduction de la taille et les ratios surface/volume élevés réduisent les limitations de mise en œuvre et augmentent la maîtrise des conditions opératoires ;

- l'utilisation de ces systèmes permet de réaliser sur de très petites quantités de produits de nombreuses expériences et de faire ainsi du criblage de conditions opératoires ;
- le passage au continu permet d'accéder aisément aux informations cinétiques (notamment en cinétique initiale) ;
- l'augmentation de la production peut se faire par « numbering-up » (mise en parallèle d'unités identiques) au lieu de « scale-up » (augmentation de la taille des unités).

Sur chacune de ces notions, des exemples tirés de la littérature scientifique [3-8] ou de nos travaux de recherche [9-10] sont présentés et analysés.

Les limitations de la synthèse en continu à micro-échelle sont également identifiées et discutées : quels sont les débits et matériaux compatibles ? Quelles sont les températures accessibles ? Le mélange est-il suffisant dans le microréacteur ? Comment gérer l'introduction ou l'apparition de solides et/ou de gaz dans le microréacteur ? Comment augmenter la productivité ?

Apprentissage par problèmes

Dans un deuxième temps, un échange se met en place autour d'exemples proposés par les étudiants à partir de leur expérience en synthèse (TP, stages...) **(2 fois 1 h 30)**. L'objectif est d'amener les étudiants à répondre à la question « Quel réacteur pour quelle étape de synthèse ? » Chaque exemple est analysé au travers de trois questions : i) Où sont les limitations à la mise en œuvre (mélange, transfert de chaleur, de matière) ? ; ii) Pourquoi passer en continu et/ou à micro-échelle ? ; et iii) Quelles sont les difficultés à prévoir ?

Travaux pratiques

Lors de cette séance courte **(3 h)**, les étudiants sont mis dans la situation suivante : « Vous avez 3 heures pour analyser une synthèse organique et obtenir les éléments clés pour proposer une mise en œuvre de production avec la meilleure productivité et la meilleure sélectivité possibles. »

Étape 1 : description du système mis en jeu

La réaction choisie est la synthèse du 4-diméthylaminoazobenzène (colorant diazoïque) [11], à partir de la N,N-diméthylaniline et du sel de diazonium de l'aniline (figure 1). La réaction se fait en milieu homogène dans un mélange acétone/eau 3:1 (V/V) et l'avancée de la conversion est suivie de manière visuelle en milieu acide (passage du jaune au rouge). La maîtrise de la température est importante dans cette réaction puisqu'à haute température, le diazonium subit une réaction secondaire de dégradation [12], aisément repérable par la libération de N_2 ; en conditions batch, on préconise ainsi une température inférieure à 5 °C pour réaliser cette expérience [13].

Étape 2 : analyse du système et choix des paramètres du réacteur

Le passage en continu à micro-échelle doit permettre de mieux maîtriser la température. Le montage utilisé (schématisé sur la figure 2) est constitué d'un microréacteur R de diamètre interne 500 μm [14a] alimenté par deux seringues via un té mélangeur noté M [14b]. Les débits alimentant le

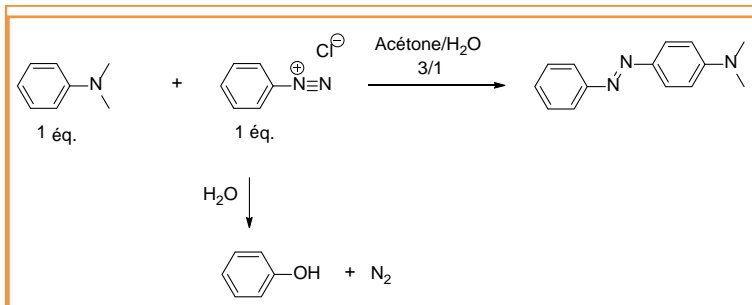


Figure 1 - Synthèse du 4-diméthylaminoazobenzène.

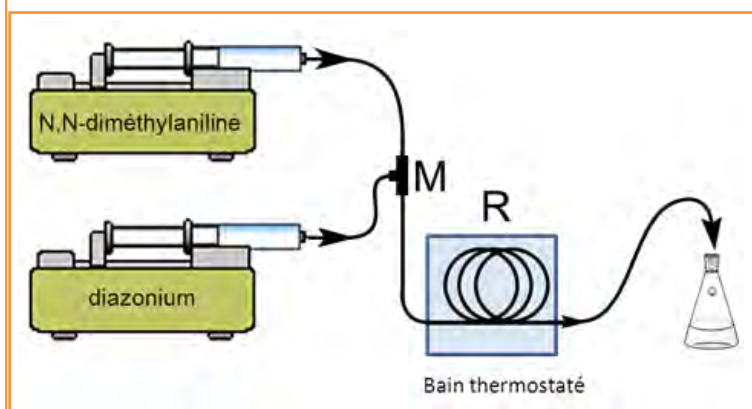


Figure 2 - Schéma du montage utilisé pour la séance de TP.

microréacteur sont contrôlés par un pousse-seringue [14c]. Le microréacteur est enroulé en une passe autour d'un objet cylindrique, immergé dans un bain d'eau maintenue à la température souhaitée. Ce dispositif permet d'assurer un bon échange thermique et doit être positionné de manière à affleurer le liquide du bain pour permettre la visualisation du changement de couleur le long du réacteur. À ce stade, les étudiants doivent avoir choisi des expériences à réaliser (temps de séjour, température, concentrations) et avoir transposé ces conditions en paramètres opératoires (débits, longueur des tubes, solutions initiales).

Étape 3 : mise en œuvre

À l'aide des solutions préparées en amont (voir encadré), les étudiants effectuent la réaction de synthèse du colorant pour différents débits, températures et longueurs de tubes, et en déduisent des informations qualitatives (grâce au capteur « œil ») sur l'avancement de la réaction et l'apparition de la réaction secondaire. Toutes les manipulations sont réalisées sous hotte, les élèves portent des vêtements de protection appropriés et des gants. Les consignes de sécurité et les fiches de toxicité des réactifs et produits sont présentés au début du TP. En dehors des étapes de remplissage et de

Mise en œuvre du TP

Les solutions de réactifs sont préparées juste avant la séance et conservées à 0 °C jusqu'à leur utilisation :

- solution de N,N-diméthylaniline : 1,30 g, soit 0,01 mol dans 80 mL d'acétone ;
- solution de diazonium : 1,0 g, soit 0,01 mol d'aniline et 3,0 mL d'HCl concentré dans 20 mL d'eau distillée + 0,75 g, soit 0,01 mol de nitrite de sodium NaNO_2 dans 20 mL d'eau distillée + 40 mL d'acétone.

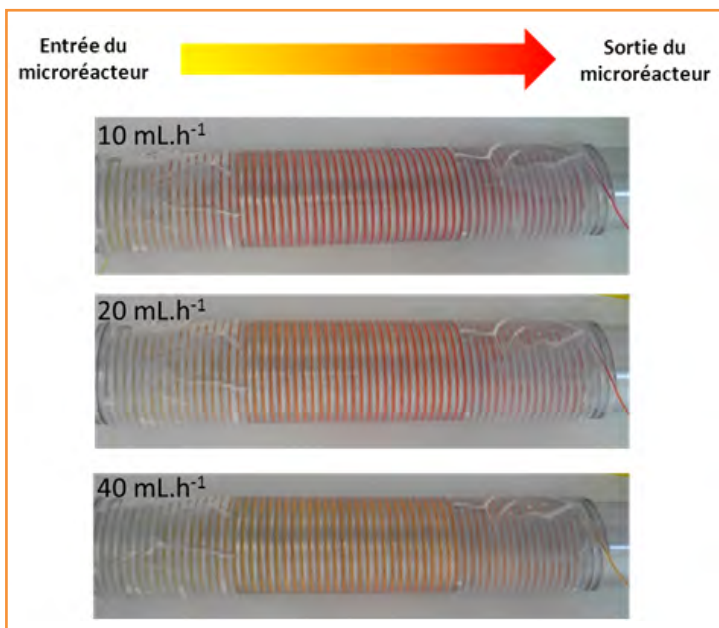


Figure 3 - Variations de débits (de 10 à 40 mL.h⁻¹ à 20 °C).

connexion des seringues aux tubes, les fluides réactionnels ne sont pas en contact avec l'atmosphère de la hotte. Ils restent confinés dans les différents éléments du montage.

Dans les conditions décrites ci-dessus, les étudiants observent que :

- à 0 °C, un temps de séjour de 15 minutes est nécessaire pour observer la couleur rouge intense en fin de réacteur ;
- à 40 °C, les premières bulles de diazote apparaissent dans le microréacteur ;
- l'absence de diazote à des températures allant au-delà de 25 °C témoigne d'une meilleure efficacité du transfert thermique dans ce microréacteur que dans un réacteur batch conventionnel.

Les étudiants sont volontairement peu guidés pour favoriser la prise d'initiative, le questionnement et le travail en groupe [15]. La *figure 3* montre les images obtenues pour des débits croissants à 20 °C dans un réacteur de longueur 8 m : plus le débit est faible, plus la coloration rouge apparaît vers l'entrée du microréacteur. Dans la pratique, à l'aide d'un nuancier de couleurs, les étudiants peuvent repérer la position à laquelle un changement de couleur a lieu et obtenir une information sur la cinétique de la réaction en traduisant l'information de l'échelle de longueur L en échelle de temps

$$\left(t = \frac{L}{\frac{Q_{tot}}{\pi \cdot d^2 / 4}}\right).$$

Conclusion

Les premiers retours des étudiants ont mis en avant un vif intérêt pour une séance de TP non guidée et pour une résolution en groupe de la question posée. L'apprentissage des notions de changement d'échelle et de synthèse en continu semble, à la vue des résultats de l'évaluation écrite, beaucoup plus efficace chez les étudiants qui ont pu mettre en œuvre le microréacteur par eux-mêmes. L'enjeu de ces enseignements est d'habituer les étudiants au décloisonnement de nos disciplines et à l'interdisciplinarité, propice à plus de créativité et reflet de la réalité dans la gestion de projets industriels complexes.

Les auteurs remercient les étudiants de 2ACH et 2AGC de l'ENSIACET qui ont participé à cet enseignement avec enthousiasme, Gabriel Frontigny et Thomas Lebleu qui ont mis au point la manipulation de TP au cours d'un projet de 3^e année, et Laetitia Noger et Alain Pontier pour leur aide dans la réalisation de ce TP.

Notes et références

- [1] Institut National Polytechnique (INP) de Toulouse, École Nationale Supérieure des Ingénieurs en Arts Chimiques et Technologiques (ENSIACET) : www.ensiacet.fr.
- [2] Poux M., Cagnet P., Gourdon C., *Génie des procédés durables - Du concept à la concrétisation industrielle*, Dunod/L'Usine Nouvelle, Collection Technique et Ingénierie, **2010** (lauréat du prix Roberval 2011 dans la catégorie Enseignement supérieur).
- [3] Geyer K., Codee J.D.C., Seeberger P.H., Microreactors as tools for synthetic chemists: The chemists' round-bottomed flask of the 21st century?, *Chem. Eur. J.*, **2006**, *12*, p. 8434.
- [4] Mason B.P., Price K.E., Steinbacher J.L., Bogdan A.R., McQuade D.T., Greener approaches to organic synthesis using microreactor technology, *Chem. Rev.*, **2007**, *107*, p. 2300.
- [5] Watts P., Wiles C., Micro reactors: a new tool for the synthetic chemist, *Org. Biomol. Chem.*, **2007**, *5*, p. 727.
- [6] Usutani H., Tomida Y., Nagaki A., Okamoto H., Nokami T., Yoshida J.-I., Generation and reactions of o-bromophenyllithium without benzyne formation using a microreactor, *J. Am. Chem. Soc.*, **2007**, *129*, p. 3046.
- [7] Ueno M., Hisamoto H., Kitamori T., Kobayashi S., Phase-transfer alkylation reactions using microreactors, *Chem. Commun.*, **2003**, p. 936.
- [8] Bogdan A.R., James K., Efficient access to new chemical space through flow: Construction of druglike macrocycles through copper-surface-catalyzed azide-alkyne cycloaddition reactions, *Chem. Eur. J.*, **2010**, *16*, p. 14506.
- [9] Aillet T., Loubiere K., Dechy-Cabaret O., Prat L., Photochemical synthesis of a "cage" compound in a microreactor: Rigoorous comparison with a batch photoreactor, *Chem. Eng. Process.*, **2013**, *64*, p. 38.
- [10] Leroyer L., Prat L., Cabassud M., Gourdon C., Dechy-Cabaret O., Barthes M., Camus P., Hattou S., Transposition of a triphosgene-based process for pharmaceutical development: from mg.h⁻¹ to kg.h⁻¹ of an unsymmetrical urea, *Green Process. Synth.*, **2013**, *2*, p. 239.
- [11] Fort R., Wootton R.C.R., de Mello A.J., Continuous-flow generation of anhydrous diazonium species: Monolithic microfluidic reactors of the chemistry of unstable intermediates, *Org. Process. Res. Dev.*, **2003**, *2*, p. 5.
- [12] Costas-Costas U., Pazo-Llorente R., González-Romero E., Bravo-Díaz C., Dediazoniations in water: An integrated physical organic chemistry experiment, *J. Chem. Educ.*, **2000**, *77*, p. 374.
- [13] Gung B.W., Taylor R., Parallel combinatorial synthesis of azo dyes, *J. Chem. Educ.*, **2004**, *81*, p. 1630.
- [14] a) Tube PFA 1/16"×0,50 mm, Cluzeau Info Labo ; b) Té haute pression conique 10-32 PEEK pour tube 1/16", P-728, Cluzeau Info Labo ; c) PHD 2000, Harvard Apparatus.
- [15] Bataille X., Beauvieux E., Cheymol N., Mas V., Vigneron M., Investigation et analyse chimique : un TP-défi d'analyse qualitative et quantitative... sans aucune solution préparée !, *L'Act. Chim.*, **2010**, *337*, p. 45.



L. Prat



K. Loubière



O. Dechy-Cabaret

Laurent Prat

est professeur des universités à l'INP-ENSIACET (Université de Toulouse) ; il effectue sa recherche au Laboratoire de Génie Chimique (LGC, UMR 5503 CNRS Toulouse)*.

Karine Loubière

est chargée de recherche CNRS au Laboratoire de Génie Chimique**.

Odile Dechy-Cabaret (auteur correspondant)

est maître de conférences à l'INP-ENSIACET ; elle effectue sa recherche au Laboratoire de Chimie de Coordination (LCC, UPR 8241 CNRS/Univ. Toulouse) dans l'équipe « Catalyse et chimie fine »**.

* Université de Toulouse, INP-ENSIACET, LGC, 4 allée Émile Monso, BP 44362, F-31030 Toulouse Cedex 4.

Courriels : laurent.prat@ensiacet.fr ; karine.loubiere@ensiacet.fr

** Université de Toulouse, INP-ENSIACET, LCC, 4 allée Émile Monso, BP 44362, F-31030 Toulouse Cedex 4.

Courriel : odile.dechycabaret@ensiacet.fr

Que savent et savent faire les élèves à la sortie du secondaire en regard de ce qui est attendu à l'entrée de l'université ?

Valérie Wathelet et Matthieu Dontaine

Résumé Le projet de recherche-action « Passeports pour le bac » a permis de faire le point sur certaines notions de chimie et de physique que les professeurs d'université supposent connues à l'entrée de l'université en Belgique. Les étudiants sont en fait loin de maîtriser totalement les notions attendues. En chimie par exemple, si les étudiants semblent maîtriser le vocabulaire de base attendu, il n'en va pas de même pour les liaisons chimiques et la nomenclature. En physique, des compétences plus transversales ont été ciblées. Les opérations simples sur les vecteurs semblent acquises mais l'« interprétation des graphiques » pose par contre quelques difficultés.

Mots-clés Physique, chimie, maîtrise des prérequis, transition, réussite, Passeports pour le bac, facteurs de réussite, enseignement, transition secondaire/université, JIREC 2013.

Abstract Knowledge and skills of students at the end of Secondary school compared to University-entry level expectations

All requirements (knowledge and skills) that University lecturers expected of entry-level students in the subjects of chemistry and physics have been listed during the project « Passeports pour le bac ». Tests (called « Passeports ») then demonstrated that the level of students' actual knowledge and skills was far lower than that expected. In chemistry for example, students' command of vocabulary was generally adequate, but they did not meet required levels in the naming of compounds and chemical bonds. In physics, text comprehension skills were identified as weak, while basic use of vectors was acceptable; however interpreting graphs was sometimes difficult.

Keywords Requirements, physics, chemistry, success factors, teaching, transition High school/College or University JIREC 2013.

Des difficultés autour de la transition entre l'enseignement secondaire et l'enseignement supérieur existent en Belgique. L'accès aux études supérieures est régi par un système de libre accès⁽¹⁾ et par l'absence d'un examen externe standardisé en fin d'enseignement secondaire (du type baccalauréat en France). Ainsi, à quelques exceptions près, tout étudiant détenteur du certificat d'enseignement secondaire supérieur (CESS) octroyé localement par le conseil de classe de l'école secondaire peut s'inscrire dans la filière d'enseignement supérieur qu'il souhaite. Or la maîtrise des connaissances et des compétences de base influe sur la réussite académique [1]. Bien souvent, les étudiants ignorent si leur niveau de connaissances et de compétences est adéquat à une entrée confortable dans les études qu'ils ont librement choisies.

C'est dans ce contexte que le projet de recherche-action « Passeports pour le bac »⁽²⁾ a été mis en place [2]. Il vise à promouvoir et démocratiser la réussite des étudiants de première année universitaire par une quadruple opération d'identification des prérequis, de mesure de leur maîtrise par les étudiants, d'adaptation des enseignements en regard des résultats globaux et d'actions correctrices en retour. Il s'agit donc d'accompagner les étudiants sans les sanctionner, de leur fournir des signaux et de les aider à prendre des

décisions pour remédier aux éventuelles difficultés mises en évidence. Les enseignants reçoivent quant à eux les résultats globaux de leurs étudiants, ce qui leur permet d'adapter, le cas échéant, le début du cours.

C'est dans ce cadre que nous avons pu examiner ce que savent et savent faire les étudiants à la sortie du secondaire en regard de ce qui est attendu à l'entrée de l'université. Nous présentons brièvement ici la manière dont les questionnaires ont été élaborés et quelques résultats observés en chimie et en physique.

Les Passeports

Les questionnaires nommés « Passeports » visent à tester les prérequis des étudiants entrant à l'université. Ils sont des évaluations formatives et non certificatives. Celles-ci doivent être perçues comme telles par les étudiants. C'est pour cela que le terme « passeport » a été préféré à « test » qui peut avoir une connotation négative auprès des étudiants. Les prérequis correspondent à toute connaissance ou compétence qui s'avère cruciale pour la maîtrise d'un cours, d'une discipline, d'un programme et qui est considérée par les enseignants comme devant être acquise préalablement à l'entrée à l'université.

Tableau - Pour les Passeports de chimie et de physique, moyenne sur 20 pour chaque prérequis.

Chimie (N = 88)		Physique (N = 356)	
Prérequis	Moyenne (20 points)	Prérequis	Moyenne (20 points)
Vocabulaire chimique de base	15,8	Vecteurs et scalaires	13,3
Réactions chimiques simples	13,2	Unités, préfixes et grandeurs	12,1
Structure atomique et tableau périodique	11,8	Problèmes simples	9,5
Calculs stœchiométriques	11,3	Trigonométrie	9,3
Fonctions nomenclature en chimie inorganique	9,9	Dimension et cohérence des unités	9,0
Liaisons chimiques	9,4	Outils mathématiques	8,9
Fonctions nomenclature en chimie organique	8,1	Interprétation de graphiques	8,7

Ces questionnaires sont donc élaborés en collaboration avec les équipes pédagogiques (professeurs, assistants...) et réévalués chaque année. Ils sont rédigés sous forme de questions à choix multiples afin de pouvoir être soumis à un grand nombre d'étudiants. Chaque Passeport teste la maîtrise de plusieurs prérequis et chacun de ceux-ci est sondé via plusieurs questions. Les étudiants reçoivent leurs résultats via une plateforme Internet [2]. Ceux-ci sont présentés par prérequis sous la forme d'un signal : bonne maîtrise, partiellement acquis, non acquis. Les enseignants reçoivent quant à eux les résultats de l'ensemble du groupe [3].

Le Passeport de chimie

Le Passeport de chimie est structuré autour de sept prérequis (voir *tableau*). Les résultats présentés concernent un groupe de 88 étudiants de première année universitaire en sciences pharmaceutiques et biomédicales. Les notes globales sur 20 obtenues par les étudiants se situent entre 3 et 18, avec une moyenne de 11,4. La médiane est du même ordre de grandeur, 11,9/20, et l'écart-type est de 3,0. Au niveau des prérequis, les résultats des étudiants de première année universitaire sont donnés dans le *tableau*. On peut voir que les étudiants maîtrisent le « vocabulaire chimique de base » tel que solution aqueuse, soluté, coefficient stœchiométrique, indice, réactif, produits, et connaissent les symboles représentant l'état de la matière (s, aq, liq, g). Le prérequis « réactions chimiques simples » est globalement bien réussi. La réaction de combustion pose cependant certains problèmes (dégagement de H_2 plutôt que H_2O) ; la charge sur les atomes lors de la dissociation d'un sel est souvent incorrecte. En ce qui concerne la partie « structure atomique et tableau périodique », on observe que la notion du nombre atomique n'est pas claire pour les étudiants, il y a confusion entre nombre de protons et nombre d'électrons. L'évolution de l'électronégativité dans une famille pose également problème. Pour les « calculs stœchiométriques », les étudiants parviennent à modéliser les réactifs pour une réaction donnée, mais pas à modéliser, selon les conditions expérimentales, les réactifs en excès/défaut.

Les trois prérequis les moins bien réussis concernent des notions plus anciennes. La « nomenclature » et les « liaisons chimiques » sont des notions oubliées. Concernant les « fonctions nomenclature en chimie inorganique », des étudiants ne se souviennent plus de certaines familles moléculaires (oxacide, hydracide, hydroxyde), même si le nom

de certains groupements principaux sont connus.

À propos des liaisons chimiques, il est entre autres demandé aux étudiants de retrouver une définition correspondant à une liaison donnée parmi cinq propositions (voir *encadré*). Pour la liaison covalente normale, 49 % des étudiants retrouvent la définition attendue (a), mais près de 20 % choisissent l'item (b), probablement parce que cet item contient le mot « valence ». Dans le cas de la liaison ionique, 47 % des étudiants répondent correctement (b), mais 17 % d'entre eux sélectionnent l'item (e), cette fois peut-être à cause de la présence du mot « ion ». La notion de nombre d'oxydation n'est pas acquise. Ceci peut être expliqué par le fait que cette notion ne fait pas partie de tous les programmes de cours

dans le secondaire. C'est le cas également pour les notions de substitution primaire, secondaire et tertiaire testées dans le prérequis « fonctions nomenclature en chimie organique ».

Exemple de question « liaisons chimiques »

Une liaison covalente normale est une liaison chimique :

- assurée par le partage de deux électrons de valence distribués entre les atomes ;
- où généralement un atome cède un électron de valence à l'autre, les interactions entre ces atomes sont essentiellement de nature électrostatique ;
- formée généralement entre un atome d'hydrogène (déjà lié de façon covalente à un autre atome électronégatif) et un atome d'oxygène d'une autre molécule ;
- formée entre une molécule polaire et une molécule non polaire grâce aux interactions entre les moments dipolaires électriques des deux entités mises en jeu ;
- résultant de l'attraction électrostatique entre des ions métalliques positifs et des électrons libres.

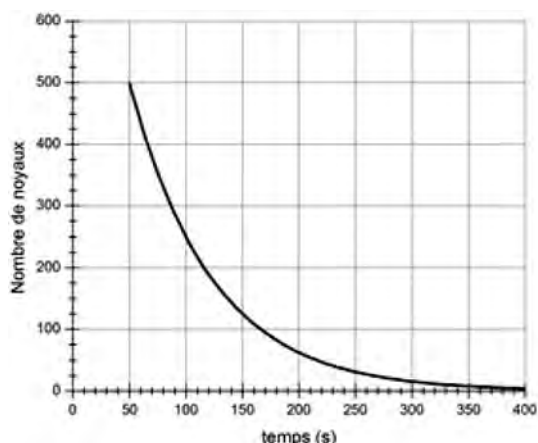
Le Passeport de physique

Le Passeport de physique est structuré autour de sept prérequis (voir *tableau*). Les résultats présentés concernent un groupe de 356 étudiants de première année en faculté des sciences (biologie, chimie, mathématiques, géographie/géologie, physique et médecine vétérinaire). Les notes globales obtenues par les étudiants se situent entre 1 et 19 sur 20, avec une moyenne de 10,0, du même ordre de grandeur que la médiane (9,8/20). L'écart-type est de 3,4. Le *tableau* reprend la moyenne pour chaque prérequis testé dans le Passeport de physique. C'est le thème qui concerne les notions de « vecteurs et de scalaires » qui est le mieux réussi par les étudiants (13,3/20). Les étudiants maîtrisent assez bien les opérations simples sur les vecteurs. Cependant, la distinction entre grandeur scalaire et grandeur vectorielle leur pose des problèmes.

Le thème le moins bien réussi est l'« interprétation des graphiques » (8,7/20). Nous nous proposons d'analyser un exemple de question de cette thématique qui l'évolution du nombre de noyaux radioactifs dans un échantillon (voir *figure*). On demande aux étudiants, à partir du graphique, de trouver le nombre de noyaux radioactifs en $t = 0$ s alors que les données indiquées sur le graphique commencent en $t = 50$ s. N'étant pas considérée comme un prérequis, la

Voici un graphique représentant l'évolution du nombre de noyaux radioactifs dans un échantillon.

Nombre de noyaux radioactifs en fonction du temps



Le temps de demi-vie d'un élément radioactif est défini de la manière suivante : « Le temps de demi-vie est le temps nécessaire pour que le nombre de noyaux radioactifs se trouve réduit de moitié. »

Quel est le nombre de noyaux radioactifs à $t = 0$ s ?

1. $N = 125$ noyaux
2. $N = 500$ noyaux
3. $N = 750$ noyaux
4. $N = 1\ 000$ noyaux
5. Il est impossible de le déterminer avec les informations fournies.

Figure - Exemple de question « interprétation d'un graphique ».

définition du temps de demi-vie d'un radioélément est rappelée aux étudiants. Seuls 22,2 % d'entre eux répondent correctement à cette question (proposition 4). La proposition 5, « il est impossible de le déterminer avec les informations fournies », est celle sélectionnée par la majorité des étudiants (65,7 %). Cette erreur pourrait être attribuée à un problème de conceptualisation entre les cours de mathématiques et de physique. Le début du graphique n'étant pas représenté, il faut s'« imaginer » le début du graphique afin de répondre à la question. Or dans le cours de mathématiques du secondaire, lors de l'étude du domaine des fonctions à partir de graphiques, les étudiants sont habitués au fait qu'une fonction n'existe que si elle est représentée. Ils vont donc se raccrocher à leurs connaissances mathématiques et ne vont pas faire le lien avec la réalité physique du problème. Par exemple, lors des séances de correction en groupe, certains étudiants signalaient qu'il n'y avait rien avant 50 s car le graphique n'y était pas représenté.

En guise de conclusion

Des lacunes sont détectées chez les étudiants par rapport aux attentes de leurs enseignants. Dans le projet « Passeports pour le bac », on ne s'arrête pas à ce constat. Des activités de renforcement des prérequis permettent aux étudiants de remédier à leurs lacunes et de démarrer ainsi leur année académique sur de meilleures bases. Selon les Passeports et les souhaits des équipes pédagogiques, les actions mises en place peuvent prendre différentes formes : des séances de correction du Passeport en petits groupes (par option), des séances thématiques de renforcement, des entretiens individuels, des auto-remédiation *via* le web. Ponctuellement, certains professeurs adaptent le démarrage de leur cours ou des séances d'exercices suite aux résultats observés. Ce projet touche donc à la fois les étudiants et les

enseignants car chacun peut s'informer et agir en conséquence dans le but de promouvoir la réussite académique d'un plus grand nombre d'étudiants. Les premières mesures quantitatives concernant l'impact du projet sur la réussite des étudiants sont encourageantes [4].

Notes et références

- (1) À quelques rares exceptions près, tout étudiant détenteur d'un diplôme de l'enseignement secondaire supérieur de transition a la liberté de s'inscrire dans la filière d'enseignement supérieur de son choix.
- (2) En Belgique, le premier cycle universitaire correspond au grade de bachelier.
- [1] Vieillevoye S., Wathelet V., Romainville M., Maîtrise des prérequis et réussite à l'université, *Réussite, Échec et Abandon dans l'Enseignement supérieur*, M. Romainville, C. Michaut (eds), De Boeck, 2012, p. 221-250.
- [2] www.passeportspourlebac.be
- [3] Wathelet V., Vieillevoye S., Dontaine M., Romainville M., Des Passeports pour franchir la frontière du supérieur sans encombre, *Réseau*, 2013, 80, p. 1 (disponible en ligne : <http://directory.unamur.be/research/publications/8cca3c43-7af8-48c7-a1af-27634d84cbce>).
- [4] Wathelet V., Vieillevoye S., Évaluation formative des compétences prérequis à l'entrée de l'université, *Évaluation et Enseignement supérieur*, M. Romainville, R. Goasdoué, M. Vantourout (eds), De Boeck, 2013, p. 55-72.



V. Wathelet

Valérie Wathelet et Matthieu Dontaine sont coordinateurs de « Passeports pour le bac », Académie universitaire de Louvain*.



M. Dontaine

* Académie universitaire de Louvain, 61 rue de Bruxelles, B-5000 Namur (Belgique).
Courriels : valerie.wathelet@unamur.be ; matthieu.dontaine@unamur.be

Accompagnement personnalisé et transition lycée-université

Corinne Allodi et Marie Guitou

Le continuum bac - 3/bac + 3 fait désormais l'objet d'une attention particulière pour renforcer la réussite dans la poursuite d'études supérieures, notamment celles des étudiants entrant à l'université. Dans le cadre de la réforme du lycée et afin de préparer au mieux les élèves en amont de leur cursus post-bac, un groupe de liaison a été constitué, composé d'enseignants du secondaire de l'Académie de Créteil, d'enseignants et enseignants-chercheurs des Universités Paris-Est (Marne-la-Vallée, Créteil) et Paris-Nord (Villetaneuse). Piloté par un IA-IPR⁽¹⁾ (inspecteur d'académie-inspecteur pédagogique régional), ce groupe a élaboré des ressources pour quelques séances d'accompagnement personnalisé⁽²⁾ de terminale scientifique (terminale S) [1].

Les ressources présentées et disponibles en ligne [2] s'appuient sur les connaissances et les compétences inscrites dans les programmes du lycée [3] et permettent d'aborder d'une manière nouvelle des thématiques traitées dans les premières années universitaires.

Une de ces ressources relative aux mécanismes réactionnels [4] a été présentée lors des JIREC 2013. Elle est exploitable dans deux situations : en accompagnement personnalisé de terminale S, mais également à l'université (à l'entrée de la licence ou en début de module de chimie organique en première ou deuxième année). La ressource s'adresse aux deux niveaux (terminale et université), en s'appuyant sur une série de documents (en français ou en anglais) sous forme d'un questionnaire relatifs aux différentes catégories de réactions chimiques ainsi qu'à un protocole expérimental.

Les objectifs, au niveau lycée, sont un travail de consolidation des acquis, de remédiation pour certains élèves en difficulté et un approfondissement pour les autres. Cette activité, qui met en parallèle sur un même thème un protocole de lycée et un protocole de l'université, projette l'élève dans un niveau post-bac lorsqu'il analyse un protocole expérimental proposé en licence. Il y est amené à prendre conscience de ses réels acquis scientifiques en réinvestissant ses connaissances et ses compétences. Ainsi, les élèves peuvent envisager plus sereinement des études universitaires de physique-chimie.

L'activité a été testée en mars de l'année de terminale sur deux demi-groupes de 15 élèves, qui ont abordé tout ou partie de l'exercice avec confiance. Ils ont apprécié le fait de s'autoévaluer et de confronter leurs compétences vis-à-vis d'un questionnaire « universitaire ». Les documents en anglais ont contribué à la mise en valeur des compétences des élèves dans la langue de communication des scientifiques.

Ce type d'activité répond ainsi à deux objectifs : il peut s'avérer un précieux atout pour engager la réflexion dans le domaine de l'orientation, et ce de manière d'autant plus efficace qu'il est proposé assez tôt dans l'année (en amont des choix d'orientation de terminale). Il permet par ailleurs de réinvestir les notions d'analyse spectrale (première partie du programme) et d'approfondir la notion de mécanisme pour

les élèves qui ne rencontrent pas de difficultés en physique-chimie, ou de consolider les compétences de base pour les autres élèves. Il est de ce fait une opportunité pour mettre en œuvre une pédagogie différenciée au sein des séances d'accompagnement personnalisé, quand bien même le nombre d'élèves en présence est élevé.

La ressource [4] n'a pas encore été testée sur des étudiants à l'université. Les objectifs visés à ce niveau sont d'aider l'étudiant à réinvestir ou à raviver ses acquis grâce au traitement de la partie « secondaire ». L'exploitation de la partie « supérieur » doit lui permettre de vérifier qu'il dispose des outils pour s'engager de façon autonome dans le traitement de problèmes plus vastes rencontrés au fur et à mesure de sa progression universitaire. Pour cela, la ressource a été construite en prenant comme point de départ les compétences acquises au lycée et en proposant un approfondissement et des mises en situation plus complexes, telles qu'on peut en rencontrer usuellement dans le supérieur.

Du point de vue de l'enseignant du supérieur, ce travail a permis d'affiner la formulation et le contenu du questionnaire afin de l'inscrire dans la continuité de ceux rencontrés dans le secondaire. Enfin, le travail lié à l'élaboration de cette ressource a contribué au développement d'échanges et de collaborations entre les enseignants du lycée et de l'université nécessaires pour assurer une véritable continuité des études.

Notes et références

- (1) Bruno Mombelli, IA-IPR de physique-chimie, Rectorat de Créteil.
- (2) L'*accompagnement personnalisé* est un dispositif offrant une réponse diversifiée aux besoins des élèves, prévoyant du soutien, de l'approfondissement et un travail sur l'orientation. Il se déroule sur 72 heures annuelles de la seconde à la terminale, avec des effectifs modulables. En terminale S, il s'agit généralement d'une heure par quinzaine en sciences physiques, en classe entière ou par groupe, selon le choix pédagogique des établissements.
- [1] Texte officiel : Circulaire n° 2010-013 du 29/01/2010.
- [2] <http://spcfa.ac-creteil.fr/spip.php?article795>
- [3] *Bulletin officiel* spécial n° 8 du 13 oct. 2011 pour la classe de terminale scientifique.
- [4] <http://spcfa.ac-creteil.fr/spip.php?article797>



C. Allodi

Corinne Allodi

est professeure certifiée hors classe au lycée Pierre de Coubertin (LGT)*.

Marie Guitou

est maître de conférences, Laboratoire Modélisation et Simulation Multi-Échelle (MSME UMR 8208 CNRS), Université Paris-Est Marne-la-Vallée**.



M. Guitou

* Lycée Pierre de Coubertin (LGT), Chaussée de Paris, F-77100 Meaux. Courriel : Corinne.Allodi@ac-creteil.fr

** Laboratoire Modélisation et Simulation Multi-Échelle (MSME UMR 8208 CNRS), Université Paris-Est Marne-la-Vallée, 5 boulevard Descartes, F-77454 Marne-la-Vallée Cedex 2. Courriel : marie.guitou@univ-mlv.fr

Au-delà de la thématique principale des JIREC 2013, « Enseigner une chimie économe et créatrice », une place importante a été consacrée à d'autres approches pédagogiques innovantes. Les pages qui suivent rendent compte des moments forts de ces journées.

Atelier « Nouvelles compétences : un outil pour faire le lien secondaire-supérieur ? Un exemple en chimie »

À la lecture des nouveaux programmes mis en place au lycée depuis septembre 2010 (2012-2013 pour les classes de terminale), la formation des élèves à la démarche scientifique requiert le développement de compétences disciplinaires, en parallèle de compétences transversales. Le choix des verbes ou des expressions cités dans le programme de terminale S (TS) s'inscrit dans cette optique : *s'approprier des notions, analyser, valider, communiquer, et enfin être autonome et faire preuve d'initiative.*

Lors de cet atelier*, Ludivine Héliot a proposé de comparer les verbes utilisés dans les programmes entre deux niveaux – TS et classe préparatoire physique, chimie et sciences de l'ingénieur (PCSI) – sur le thème de la stéréochimie : il apparaît que ce sont essentiellement des verbes de reconnaissance en TS, il n'en est pas de même dans les programmes de PCSI qui s'appuient sur des verbes d'actions tels qu'*analyser* ou *réaliser*.

Dans un second temps, les enseignants présents lors de cet atelier ont travaillé sur des activités documentaires issues soit d'un livre de TS, soit proposées en PCSI, à travers différentes questions telles que : quelle architecture est choisie

pour l'élaboration d'un exercice ? Quelles compétences transversales sont développées ? Quelle difficulté peut-on attribuer à chaque tâche ? Comment modifier la difficulté d'une tâche ?

Les échanges ont été riches et nombreux à travers l'assemblée composée d'enseignants du secondaire et du supérieur, et deux remarques peuvent être rapportées parmi d'autres : du côté des enseignants, les compétences travaillées sont très étroitement adossées aux verbes d'action choisis lors de l'activité, alors que du côté des élèves/étudiants, la compréhension des consignes ou le manque de méthode sont encore à déplorer. Les élèves doivent donc travailler de manière critique et savoir extraire et exploiter des informations.

* Le diaporama de présentation de cet atelier est téléchargeable librement sur le site www.lactualitechimique.org, page liée à cet article.

Pour plus d'informations, contacter **Ludivine Héliot**, professeur au lycée Jean-Baptiste Corot, Savigny-sur-Orge (ludivine.heliot@ac-versailles.fr).

Atelier « La résolution de problème en chimie, est-ce possible ? »

Dans son atelier, Michel Vigneron a abordé deux axes principaux : expliciter ce que peut être une résolution de problème en chimie, et déterminer ensuite quelles peuvent être les compétences associées à cette démarche.

D'après le *Bulletin officiel*, la démarche de résolution de problème en terminale S peut être déclinée comme suit :

- Analyser, comprendre le sens, construire des étapes de résolution ;
- Mettre en œuvre les étapes de résolution ;
- Porter un regard critique sur le résultat.

Il ne s'agit donc pas de suivre pas à pas une démarche imposée comme dans un exercice classique, le degré d'autonomie de l'élève est important ainsi que le travail en groupe.

Un problème est une situation dans laquelle le but à atteindre (un résultat chiffré par exemple) est clairement indiqué, sans que la voie à suivre pour y arriver soit indiquée, et alors même que des données numériques sont à estimer.

Afin d'illustrer ses propos, Michel Vigneron a pris l'exemple suivant : « Combien faut-il de ballons pour

soulever une maison ? » ou encore une question posée à l'écrit du concours du CAPES 2013 : « Estimer la masse de diazote contenue dans l'atmosphère terrestre ». Dans le second cas, on peut estimer l'épaisseur H de l'atmosphère terrestre, en déduire le volume V de l'atmosphère, appliquer la loi des gaz parfaits en prenant des valeurs raisonnables de température et de pression, et en déduire la quantité de matière de diazote en connaissant la composition de l'air... Il y a évidemment d'autres voies de résolution possibles.

Ce type de résolution de problème peut surprendre les élèves qui se sentent désemparés car ils ne sont pas familiers de cette démarche. Le rôle de l'enseignant est de les accompagner très progressivement, ce qui peut s'avérer chronophage. Le travail en groupe est à privilégier, chaque groupe devant avancer à son rythme. Dans cette démarche, aucune hypothèse n'est fautive *a priori*. En revanche, l'enseignant valide ou invalide l'hypothèse et remplace le simple binaire vrai/faux par un débat scientifique argumenté ; l'interaction élève (groupe)-enseignant est alors

privé. L'enseignant peut recevoir des solutions « originales » et se trouver dans une posture différente de celle qu'il connaissait jusqu'alors, à savoir une autre forme de transmission des connaissances. Il ne détient pas tout le savoir, les groupes eux-mêmes peuvent produire du savoir, ce qui amène un enrichissement mutuel.

Une question qui a émergé de l'atelier concerne l'évaluation. Cette dernière repose sur les six compétences travaillées [1].

De nombreux autres exemples peuvent être trouvés en ligne [2].

[1] Voir le dossier « À propos des nouveaux programmes de chimie au lycée – Ateliers JIREC 2012 », *L'Act. Chim.*, 2013, 374, tableau p. XII.

[2] www.rsc.org/learn-chemistry/resource

Pour plus d'informations, contacter **Michel Vigneron**, Inspecteur d'Académie – Inspecteur Pédagogique Régional (IA-IPR), Académie de Paris (michel.vigneron@ac-paris.fr).

Atelier « Démarche expérimentale en post-bac - Mise en place, exploitation et évaluation »

Lors de cet atelier, Xavier Bataille a exposé plusieurs aspects de la conception d'activités expérimentales ainsi que d'élaboration de progressions et de modes d'évaluation. Le principe fondamental des activités expérimentales est d'éveiller la curiosité des élèves/étudiants afin de les rendre autonomes dans la pratique de la démarche scientifique. À cet effet, les enseignants peuvent alterner les séances de **découverte**, les séances d'**approfondissement**, les séances **défis**, **histoire** et **société**, les **évaluations**. Une des astuces de ce mode d'apprentissage est d'introduire indirectement de nouveaux concepts et/ou techniques dans les séquences d'enseignement.

De nombreux exemples de transformation de séances de TP classiques et de séances soit d'investigation⁽¹⁾, soit d'approfondissement ou de réinvestissement, tant en chimie organique qu'en chimie physique ou en chimie analytique, ont été présentés.

Une discussion a été ensuite engagée sur les modes d'évaluation, comme la mise en place et l'exploitation d'auto et d'inter-évaluations, et évidemment l'utilisation des grilles de compétences et des progressions adaptées à la remédiation⁽²⁾. Celle-ci dépend avant tout des contraintes dans lesquelles se fait l'apprentissage – préparation d'un concours, d'un examen, suivi par CCF (contrôle en cours de formation), etc. La remédiation consiste, dans un premier

temps, à diagnostiquer au cas par cas, étudiant par étudiant, les compétences et connaissances qui posent problème. Ce diagnostic établi, des séances de travail pour l'acquisition de ces compétences sont envisagées. Ce dispositif de remédiation peut s'avérer plus ou moins lourd à mettre en place. Aussi, il pourrait être utilisé des outils tels que des grilles Excel de suivi, site Internet d'autoévaluation, etc., exploitation d'un ENT (espace numérique de travail) pour aider l'étudiant dans cette dernière phase.

(1) La *démarche d'investigation* (DI) est une technique pédagogique consistant à créer « artificiellement » un processus inductif dans un apprentissage. La situation est créée lorsqu'une énigme sert de point de départ. Les élèves, aidés (plus ou moins) par le professeur parviennent à résoudre l'énigme posée. Pour ceci, ils utilisent des compétences et des outils assez variés selon les contextes. Cette DI sert à renouveler la pratique de l'enseignement des sciences ; elle ne peut être utilisée systématiquement car les phases de construction des savoirs passent par d'autres processus plus classiques.

(2) La *remédiation* est une démarche mise en place par l'enseignant dans le but de résoudre les difficultés détectées chez les élèves lors des évaluations. L'approche idéale consiste à adapter sélectivement les outils de remédiation en fonction des difficultés individuelles.

Pour plus d'informations, contacter **Xavier Bataille**, professeur au lycée Pierre-Gilles de Gennes, l'École Nationale de Chimie, Physique et Biologie, Paris 13^e (xavierbataille@free.fr).



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

Partage d'expériences au lycée de Provins



Photo : M. Guitou, DR.

La journée des JIREC 2013 du lycée Thibaut de Champagne de Provins a été accueillie dans la chapelle basse palatine des comtes de Champagne. Différents ateliers de chimie du supérieur ont ainsi pu se mêler à ceux des élèves et des professeurs du lycée.

Atelier « les arbres artificiels »

Une élève de seconde a exposé son travail d'enseignement d'exploration MPS (méthodes et pratiques scientifiques) à travers un diaporama, fruit d'un « mini-TPE » sur les arbres artificiels pour stockage du dioxyde de carbone. Le procédé inventé par le professeur Klaus Lackner de l'Université de Columbia consiste à stocker le dioxyde de carbone par absorption dans une solution de soude contenue dans des feuilles artificielles. Il peut ensuite être

extrait des feuilles, puis emmagasiné en profondeur. Ce projet élégant a cependant un inconvénient majeur : il ne comporte que des dépenses (installation, extraction, stockage) !

Atelier « radioastronomie »

Les élèves de l'option « Sciences et laboratoire » du lycée ont présenté un projet réalisé pendant l'année scolaire 2012-2013. Ils ont exposé une grande antenne parabolique réalisée en papier mâché avec sa tête universelle*. Un capteur de satellite commercial est ensuite utilisé pour convertir le signal hyperfréquence à large bande passante en un signal continu. L'exposé ayant lieu dans la chapelle, une maquette au 1/5 avec un générateur micro-onde a remplacé l'imposant dispositif de détection.

Atelier « rose de Provins »

La rose est une spécialité de Provins depuis le Moyen Âge. Une hydrodistillation de boutons de *Rosa gallica* a permis aux congressistes de sentir le parfum délicat de cette rose qui était utilisée dans de nombreuses préparations médicales (toux, foie et cœur).

Atelier « bleu pastel »

L'une des richesses médiévales de la ville de Provins, la teinture bleue des draps de laine, a été présentée lors de cet atelier. Les participants ont pu découvrir les différentes étapes de la production de cette teinture : broyage des feuilles de guède, fermentation du broyat, puis extraction.

Éric Jouguelet,
professeur au lycée de Provins

* Antenne associée dans un boîtier à un convertisseur de signaux radio.

<http://culturesciences.chimie.ens.fr>

Le site CultureSciences-Chimie est conçu pour assurer une formation scientifique de haut niveau, accessible à tout utilisateur, en particulier aux enseignants.

Ce site constitue un centre de ressources pour enseigner la chimie, en lien direct avec l'avancement des connaissances au sein des laboratoires de recherche.

Alors vite à vos souris !

Introduire l'équilibre chimique dans l'enseignement par une approche visuelle

Jérôme Randon

Une réaction peut s'arrêter parce qu'un réactif a totalement disparu, mais certaines réactions chimiques s'arrêtent aussi alors qu'il reste des quantités appréciables de tous les réactifs dans le système. Pour introduire cette problématique dans l'enseignement des sciences physiques, une approche pédagogique basée sur un passage du modèle de la réaction totale à celui de l'équilibre chimique a été mise en œuvre dans les enseignements du lycée au cours des années précédentes, apportant une continuité dans la complexité des systèmes étudiés. Dans le nouveau programme du lycée [1], le mot équilibre n'apparaît plus qu'une seule fois, associé à la réaction chimique par échange de proton, et sous la terminologie « notion d'équilibre ». Il va donc maintenant revenir à l'université la nécessité d'introduire la notion d'équilibre chimique auprès des étudiants scientifiques.

Si nous regardons les approches que l'on retrouve dans l'enseignement supérieur et dans les ouvrages qui font référence à l'équilibre, son introduction est réalisée par une approche thermodynamique ou cinétique, et bien souvent les exemples choisis font référence à des réactions en phase gazeuse, des réactions entre gaz et solide, avant de traiter le cas des solutions aqueuses. L'exemple utilisé au lycée reste lui associé à la notion de couple acide-base. Le principal reproche que l'on peut faire vis-à-vis de ces approches réside dans le fait qu'elles abordent l'équilibre de façon très conceptuelle. Pour les acides dits faibles, s'il est possible de déterminer la fraction dissociée de l'acide à travers une mesure de pH (échelle logarithmique pas toujours maîtrisée) ou de conductivité (liée à la présence de deux ions différents), il n'en demeure pas moins que l'impact de la modification des conditions expérimentales ne peut être évalué que par des mesures compliquées à appréhender par les lycéens.

Alors pourquoi ne pas changer d'approche : traiter directement des équilibres en solution aqueuse et travailler sur un système qui exploite les propriétés spectrophotométriques des solutions, propriétés largement utilisées par les bacheliers et dont la mesure est basée sur une relation linéaire ?

En solution aqueuse, la réaction entre les ions fer(III) et les ions thiocyanate conduit à la formation d'un complexe thiocyanatofer(III) de couleur rouge avec une constante de

formation voisine de 500 [2]. Un mélange de 40 mL d'une solution de thiocyanate de potassium $2 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et de 60 mL d'une solution de nitrate de fer(III) $2 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ présente à 460 nm une absorbance proche de 0,8. Cette solution aqueuse, que l'on peut diviser en plusieurs béchers, est le point de départ de nombreux échanges avec les étudiants. Que se passera-t-il si on ajoute quelques cristaux de thiocyanate de potassium dans le premier bécher ? *L'intensité de la coloration augmente, il restait donc des ions fer(III) libres en solution.* Que se passera-t-il si on ajoute quelques cristaux de nitrate de fer(III) dans le deuxième bécher ? *L'intensité de la coloration augmente, il restait donc des ions thiocyanate libres en solution. Mais alors, dans cette transformation, il n'y a pas de réactif limitant ! Comment va varier l'absorbance si on dilue la solution du troisième bécher par 2 ? L'absorbance est divisée par plus de 2, c'est donc que la transformation peut se faire dans le sens inverse de tout à l'heure !* Une phase de déstabilisation a été introduite dans les représentations de l'élève, le concept même d'équilibre peut alors être formalisé et accepté par l'élève qui ne pouvait expliquer les phénomènes observés à l'aide du modèle de la réaction totale.

Cette expérience permet à l'étudiant de manipuler, de voir, de mesurer, de remettre en questionnement ses connaissances initialement basées sur la réaction totale. Alors pourquoi ne pas l'utiliser plus largement ?

Références

- [1] www.education.gouv.fr/pid25535/bulletin_officiel.html?cid_bo=57537 (consulté le 27/02/13).
 [2] Mesplède J., Randon J., *100 manipulations de chimie*, Bréal, 2004, p. 176.



Jérôme Randon*

est professeur à l'Université Claude Bernard Lyon 1.

* Université Claude Bernard Lyon 1, TechSep, Institut des Sciences Analytiques, 5 rue de la Doua, F-69100 Villeurbanne Cedex.
 Courriel : randon@univ-lyon1.fr

La synthèse des polymères dans l'eau

Une réponse ancienne pour une nouvelle éco-conception

Thierry Hamaide, Clara Bourdelet, Jean Lager, Hervé Schaal et Jean Baptiste Thibaut

Pourquoi de nouveaux TP ?

Les chimistes se doivent de développer non seulement des produits, mais aussi des procédés respectueux de l'environnement dès leur conception (éco-conception). Dans ce contexte, les polymères souffrent d'une double peine, à savoir l'image des matières plastiques polluant la nature, et celle de la chimie. Il est donc essentiel que leur enseignement établisse clairement à tous les niveaux que, malgré cet impact sociétal *a priori* négatif, les plastiques, qui représentent 50 % du marché de la chimie, contribuent fortement au développement durable [1]. Les TP sont un lieu idéal pour échanger avec les élèves sur ces thématiques.

L'un des problèmes consiste à trouver des manipulations pouvant se faire dans le créneau imparti ou bien pouvant se découper en plusieurs séquences simples. Elles doivent de plus utiliser des appareillages simples, disponibles au lycée et des produits peu coûteux. L'eau est non toxique, disponible à tous les robinets et peu onéreuse. C'est donc un solvant de choix pour les polymérisations en milieu homogène de monomères hydrosolubles. C'est aussi une phase continue appropriée pour mener à bien des polymérisations en milieu dispersé avec des monomères hydrophobes.

L'atelier présenté lors des JIREC 2013 proposait trois TP de chimie macromoléculaire en milieu aqueux : la polymérisation de l'acide acrylique en milieu homogène, la polymérisation en suspension du styrène et celle de l'acétate de vinyle en émulsion. Une part importante de ces TP a été élaborée par des étudiants de l'École Supérieure de Chimie Physique Electronique de Lyon (ESCPe) dans le cadre de leurs projets de seconde année. Une courte description est reprise ici, accompagnée de remarques et suggestions.

Polymérisation de l'acide acrylique en milieu homogène

La polymérisation radicalaire de l'acide acrylique est amorcée à température ambiante par le couple redox persulfate-N,N,N',N' tétraméthyl éthylène diamine qui permet d'avoir une cinétique suffisamment rapide. La réaction de décomposition du persulfate par voie redox avec la TMEDA peut s'écrire globalement selon la *figure 1*. Selon les concentrations et les masses molaires moyennes obtenues, le poly(acide acrylique) conduit à des solutions plus ou moins visqueuses, voire à des gels physiques [2].

Plusieurs prolongements sont envisageables :

- Le poly(acide acrylique) partiellement neutralisé et réticulé est mis en œuvre pour obtenir des polymères super absorbants. Cette réticulation chimique est nécessaire, car les produits seraient autrement totalement hydrosolubles, et non super absorbants.

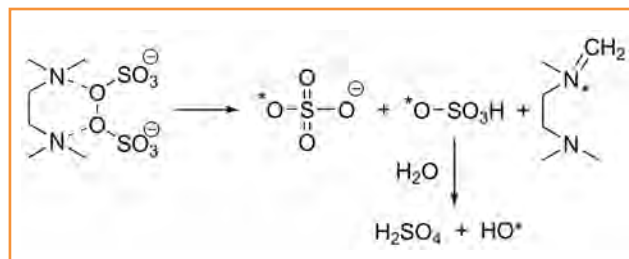


Figure 1 - Décomposition du persulfate par voie redox avec le TMEDA.

La réaction passe d'abord par une complexation de l'anion persulfate avec la TMEDA qui favorise la scission homolytique de la liaison O-O. Le radical HSO₃^{•+} réagit ensuite avec l'eau pour donner H₂SO₄ et HO[•].

- Selon le niveau de l'enseignement considéré, on discutera de la neutralisation des fonctions acide carboxylique portées par le squelette et de la répulsion électrostatique.

Polymérisations en milieu dispersé

Les procédés en milieu dispersé sont connus et utilisés depuis longtemps [3-5]. Ils permettent de contrôler la température par échange de la chaleur de réaction avec la phase continue, de limiter fortement la viscosité globale du milieu réactionnel et de récupérer en fin de réaction des polymères sous une forme « prête à l'emploi » :

- la polymérisation en suspension du styrène [6] conduit à des billes de polystyrène directement utilisables pour les résines échangeuses d'ions [7] et le polystyrène expansé (voir *encadré 1*) ;
- dans l'industrie des peintures et des colles, la polymérisation en émulsion (voir *encadré 2*) de l'acétate de vinyle ou des esters acryliques permet de remplacer les liants organiques par des liants en dispersion aqueuse et limite ainsi le dégagement de composés organiques volatils (COV) lors du séchage.

Bien que la mise en œuvre de ces réactions soit relativement courte (environ 1 h), la fin de la polymérisation demande 6 h ; il faut donc pouvoir travailler sur plusieurs créneaux et trouver un moment (ou quelqu'un) pour arrêter la réaction. L'autre créneau peut alors être mis à profit pour illustrer divers prolongements :

- Alors que le mécanisme de polymérisation relève dans les deux cas des mêmes étapes élémentaires, le changement de taille du lieu de polymérisation (gouttelettes millimétriques ou micelles submicroniques) conduit à des produits totalement différents.
- L'élaboration de résines échangeuses d'ions trouve sa place pour illustrer la chimie sur polymères (sulfonation des billes de polystyrène) et le principe de l'échange de cations

pour adoucir l'eau. Celles-ci sont régénérées par simple addition de sel.

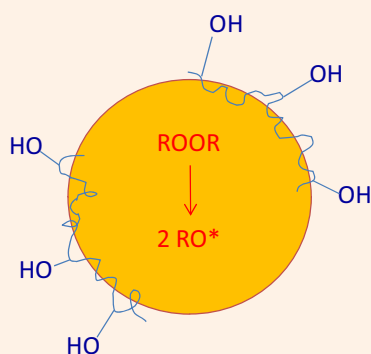
- Dans la formulation des peintures à l'eau, le latex a une double utilité : il contribue d'une part à la stabilisation des pigments minéraux, dont TiO_2 , et apporte d'autre part la

Encadré 1

Polymérisation en suspension

On prépare une phase aqueuse contenant un polymère tensioactif préalablement dissous (alcool polyvinylique par exemple). L'introduction sous agitation d'une phase organique contenant le monomère et un amorceur hydrophobe conduit à des gouttelettes de taille moyenne (0,5-1 mm).

Les molécules d'amorceur se décomposent dans les gouttelettes. Chacune d'entre elles peut donc être considérée individuellement comme un mini-réacteur de polymérisation en masse pour lequel les lois de la cinétique homogène s'appliquent. Les gouttelettes de monomère se transforment peu à peu en billes de polystyrène que l'on récupère aisément par filtration.



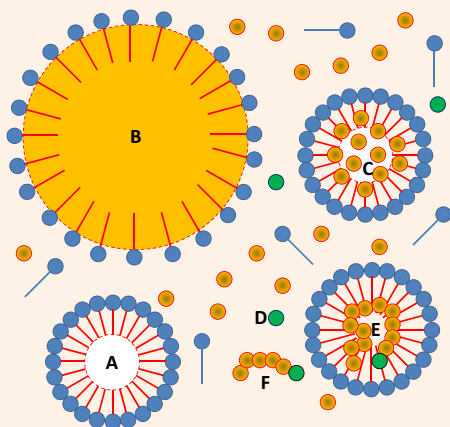
Encadré 2

Polymérisation en émulsion

Les molécules de tensioactif forment des micelles (A : taille moyenne 10 nm). L'introduction du monomère hydrophobe dans la phase aqueuse conduit à des gouttelettes (B : taille moyenne 5 000 nm) stabilisées par les molécules de tensioactif. De par une faible solubilité du monomère dans la phase aqueuse, celui-ci est présent sous forme de monomère libre et peut alors pénétrer dans le cœur hydrophobe des micelles (C).

Les radicaux primaires issus d'un amorceur hydrosoluble (D) sont capturés par les micelles gonflées par le monomère et deviennent le lieu de polymérisation pour conduire à des particules de latex (E). Les radicaux peuvent aussi amorcer une polymérisation en phase aqueuse. Les oligoradicaux (F) ainsi produits sont capturés par les micelles ou précipitent pour donner de nouvelles particules de latex.

D'après [5].



composante polymère nécessaire à la tenue mécanique et la protection recherchée par l'utilisateur de la peinture.

- Selon l'enseignement visé, on discutera de la formation de films par séchage des latex, de l'ajout de polymères rhéofluidifiants, du rôle des tensioactifs dans la reprise en eau des films...

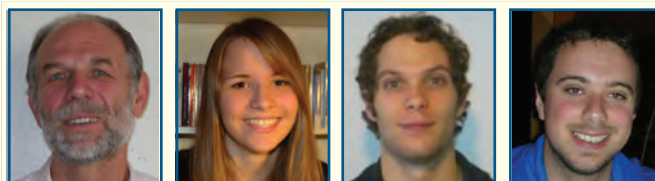
- La réaction d'hydrolyse partielle ou totale du poly(acétate de vinyle) pour l'obtention de polymères tensioactifs sera l'occasion de redécouvrir cette réaction souvent méconnue.

Conclusion

À travers plusieurs exemples, cet atelier a permis de présenter quelques TP consacrés à l'enseignement des polymères revisités à travers l'œil du développement durable et de la chimie verte. Pour rester dans cette optique « chimie verte », on profitera de l'occasion pour élargir le débat en regardant dans quelles mesures ces synthèses répondent aux règles de « bonne conduite » proposées par Anastas sous la forme de douze commandements [8]. Toutefois, il convient d'insister sur le fait que, même si l'enseignant a un rôle essentiel pour promouvoir chimie verte et développement durable, la part de l'éducateur est indispensable.

Notes et références

- [1] Hamaide T., Deterre R., Feller J.F., *L'Impact environnemental des matières plastiques. Solutions et perspectives*, Hermès-Lavoisier (sous presse).
- [2] Il y a souvent ambiguïté entre des gels physiques, non réticulés, dont la viscosité peut atteindre des valeurs très élevées (du fait de la contribution de quelques macromolécules de masse molaire très élevée) et des gels chimiques faiblement réticulés, qui apparaissent donc avoir « globalement » le même comportement qu'un gel physique. Le gel physique peut être réversible, l'autre non.
- [3] Hidalgo M., Introduction aux différentes méthodes de polymérisation, *Initiation à la Science des Polymères. Chimie et Procédés de Polymérisation*, T. Hamaide, M. Bacquet (coord.), GFP Ed., 2010, 18, p. 63-92.
- [4] Lacroix-Desmazes P., Polymérisations en milieux dispersés, *ibid* [3], p. 93-119.
- [5] Pichot C., *Les latex synthétiques*, J.-C. Daniel, C. Pichot (eds), Tec & Doc/Lavoisier, 2006.
- [6] La nouvelle recommandation pour la valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) du styrène est $100 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. La polymérisation en suspension en limite d'autant l'exposition. INRS : Hygiène et sécurité du travail, 2011, ND 2349-225, p. 31 ; Fiche toxicologique du styrène, 2012.
- [7] Zaganarias E., Les résines échangeuses d'ions, *ibid* [3], p. 137-159.
- [8] Anastas P., Warner J., *Green chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press, 1998.



T. Hamaide

C. Bourdelet

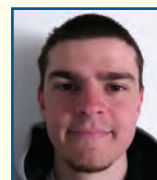
J. Lager

H. Schaal

Thierry Hamaide (auteur correspondant)

est professeur à l'Université Claude Bernard Lyon 1* et préside la Commission Enseignement du Groupe Français d'Études et d'Applications des Polymères (GFP).

Clara Bourdelet, Jean Lager, Hervé Schaal et Jean Baptiste Thibaut sont étudiants à l'ESCE Lyon**.



J.B. Thibaut

* Université Claude Bernard Lyon 1, Ingénierie des matériaux polymères, Polytech Lyon, 15 boulevard Latarjet, F-69622 Villeurbanne Cedex.
Courriel : thierry.hamaide@univ-lyon1.fr

** ESCPE Lyon, 43 boulevard du 11 Novembre 1918, BP 82077, F-69616 Villeurbanne Cedex.

Le choix de la procédure analytique face au besoin du client

Savoir être créatif et économe

Jérôme Randon

Avec le développement des techniques instrumentales permettant d'identifier et de quantifier des espèces chimiques à des niveaux de concentration de plus en plus bas dans des matrices de plus en plus complexes, le choix de la technique analytique devient de plus en plus difficile.

Ce choix est en effet basé sur de nombreux critères, et ces critères doivent être soigneusement définis avec le demandeur d'analyse de façon à lui fournir une réponse parfaitement adaptée à ses attentes. Si à chacun des niveaux de formation, les étudiants disposent d'un niveau de connaissance sur les techniques que l'on peut estimer suffisant, ils ne sont généralement pas formés à la nécessaire relation qui doit s'instituer avec le client afin de définir précisément tous les éléments qui conduiront à la satisfaction de celui-ci ainsi qu'à celle du laboratoire d'analyse. Il apparaît donc indispensable de proposer des situations pédagogiques permettant une prise de conscience par les étudiants de la nécessité de cette interaction.

Nous présentons ici la méthodologie utilisée au cours de l'école d'été du consortium d'universités « Measurement Science in Chemistry » qui regroupe pendant deux semaines quarante étudiants de niveau M1 en provenance de neuf universités européennes. Les étudiants sont mélangés par groupes de quatre, et chaque groupe représente un laboratoire d'analyse qui va être confronté à une demande analytique de la part d'un client.

La première situation à laquelle chaque groupe fait face est une rencontre avec un client, fabricant de sirop, qui exprime sa demande de la façon suivante : « *Je me présente, Monsieur Weissere. Je suis fabricant de sirop de menthe et je viens de mettre en place une nouvelle unité de production. J'ai besoin de connaître les concentrations des colorants bleu et jaune dans le sirop en sortie de chaîne de production. Voici les informations que j'ai récupérées dans notre ancien laboratoire : une note sur l'analyse des mélanges de colorants par spectrophotométrie ; le spectre d'une solution diluée de sirop*

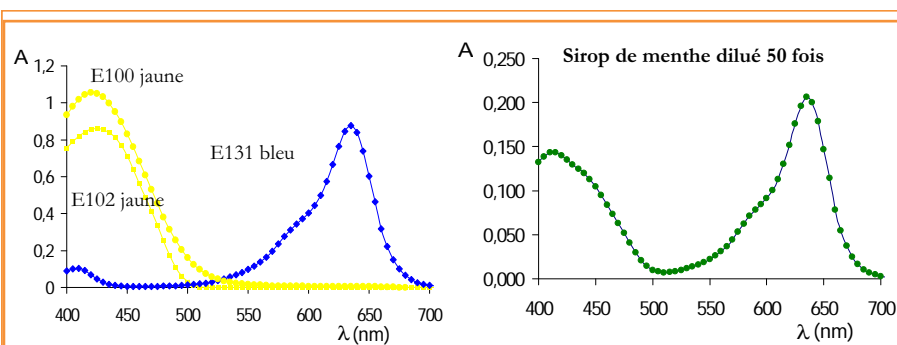
de menthe ; des spectres de colorants. Donnez-moi une méthode d'analyse que je transmettrai à mes techniciens chimistes. Je me tiens à votre disposition pour répondre à vos questions (si j'en connais la réponse bien sûr). »

Les éléments documentaires fournis par le client sont distribués à chacun des groupes et ces derniers entrent dans une phase de rédaction de la réponse à la demande, tandis que le client reste à leur disposition pour répondre à toutes les questions.

Dans les documents fournis, plusieurs spectres de colorants sont donnés : le spectre du bleu patenté (E131), celui de la curcumine (E100) et celui de la tartrazine (E102) (voir figure). Alors que le premier colorant est bleu, les deux derniers sont jaunes et présentent des spectres assez similaires, ce qui rend la problématique analytique assez complexe. L'ensemble de la documentation distribuée induit automatiquement, dans chacun des groupes, une démarche de résolution de problème liée à l'analyse d'un mélange de trois colorants. À ce stade, les étudiants ne peuvent réaliser que la problématique peut se simplifier par une interaction pertinente avec le client.

Si l'on s'attache à observer les interactions au sein d'un groupe et celles avec le client, on constate que dans la totalité des groupes, les premiers échanges sont internes et sont associés à la ré-explicitation de la loi de Beer-Lambert et à son utilisation dans le cas du problème des mélanges. Vient ensuite les aspects liés à la rédaction du protocole demandé et les étudiants sont confrontés à la constitution de gammes d'étalonnage nécessaires à la détermination des neuf coefficients d'absorption molaire. Tout ceci se fait sans aucune interaction avec le client, excepté quelques sollicitations du type « Vous pouvez nous rappeler le principe de la spectroscopie ? Je suis Monsieur Weissere, fabricant de sirop, je ne connais rien à cette technique. » « Peut-on faire de la chromatographie ? Je ne sais pas ce que c'est. » Dés-tabilisés par ces réponses, face à un individu qui ne connaît rien, les étudiants repartent dans un processus d'échange à l'intérieur du groupe et s'engagent ensuite dans la longue et laborieuse démarche de rédaction de procédure pour résoudre leur problème à trois colorants.

Il faudra attendre bien souvent entre une à deux heures, durée nécessaire pour que les étudiants commencent à être écoeürés par le temps investi et par l'aspect répétitif de la démarche dans laquelle ils se sont engagés, pour qu'apparaisse un échange pertinent entre le groupe et le client : « Est ce que vous connaissez les colorants utilisés dans l'entreprise ? Oui. » « Pouvez-vous nous donner leurs noms, leurs codes ? Oui, bleu patenté et tartrazine »,



Spectres des trois colorants et du sirop de menthe ($l = 1 \text{ cm}$).

et la réflexion qui s'ensuit : « S'il n'y a qu'un seul composé jaune, c'est super simple ! » Le client savait des choses, mais n'étant pas analyste, il n'avait pas fourni l'information pertinente pour ce dernier. Ainsi, seul un échange structuré permettait de proposer ensuite une méthode analytique acceptable.

Plusieurs situations du même type sont ensuite proposées et la synthèse de ces activités est finalement réalisée de façon participative, pour créer une carte conceptuelle globale des points clés à aborder lors des échanges entre le client et le laboratoire d'analyse. Au sein de l'école d'été, les étudiants abordent ensuite un projet plus complexe dans

lequel ils auront encore à rencontrer un client. Mais ils sont alors dotés d'un outil, qu'ils ont eux-mêmes élaborés, et ils sont pleinement convaincus de la nécessaire définition analytique du problème *via* l'interaction client-prestataire.



Jérôme Randon*

est professeur à l'Université Claude Bernard Lyon 1.

* Université Claude Bernard Lyon 1, TechSep, Institut des Sciences Analytiques, 5 rue de la Doua, F-69100 Villeurbanne Cedex.
Courriel : randon@univ-lyon1.fr

ChemistryViews

Videos & Blogs

News & Articles

Alerts & Events

Join - register - benefit
with 300.000+ users on the platform!

Easy - fast - exciting
updated every day for you and your work!

Spot your favorite content:
www.ChemistryViews.org

ChemPubSoc Europe
WILEY-VCH

PSB_12_39112_0.jpg

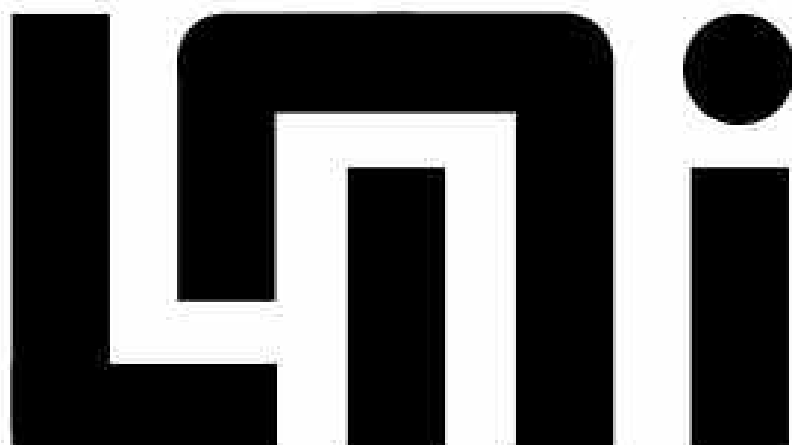
**INNOVATION
MOLÉCULAIRE**

**SEMICONDUCTEURS
EPITAXIE**

ÉNERGIE

**SURFACES
COUCHES MINCES**

**COMPOSITES
MÉTAL / CÉRAMIQUE**



la CHIMIE au Service de vos PROJETS

contact : christian.brylinski@univ-lyon1.fr

**NANOSTRUCTURES
FONCTIONNALISATION**

**BIOMATÉRIAUX
ODONTOLOGIE**

SANTÉ

**MONOCRISTAUX
CRISTALLOGRAPHIE**

**MODELISATION
THERMODYNAMIQUE**

Les chimistes, leurs institutions et leurs sociétés savantes entre les deux guerres

V - L'École de chimie de Mulhouse

Jean Michel Chézeau

Résumé	Après un demi-siècle passé dans une Alsace annexée par l'Allemagne, l'École de chimie de Mulhouse redevient française en 1918. Cet article examine comment cette école s'est adaptée à cette situation nouvelle, faisant preuve de dynamisme en intégrant dans ses programmes d'enseignement les développements récents de la chimie et en ouvrant de nouveaux axes de recherche. Cependant, elle se heurte à de réelles difficultés dans le recrutement des élèves et dans son financement.
Mots-clés	Enseignement de la chimie, ingénieur chimiste, Mulhouse, entre-deux-guerres.
Abstract	The School of chemistry in Mulhouse (Alsace) between the two world wars After the first world war, the school of chemistry of Mulhouse (Alsace) became French again. This article describes how this school could adjust itself to its new condition, showing a great dynamism, enlarging its cursus to the latest developments of chemistry and opening new research laboratories. This was achieved despite great difficulties in recruiting students and in rising funds.
Keywords	Higher education in chemistry, Mulhouse, inter-wars period.

Le premier cours de chimie appliquée aux arts a lieu à Mulhouse le 1^{er} mars 1822, au collège municipal. Il est créé à la demande des industriels locaux, l'activité principale de la ville étant alors l'impression des cotonnades, ce qui demande une certaine maîtrise de quelques produits chimiques : acide sulfurique et tartrique, alun et autres mordants, colorants naturels, etc. L'originalité de cette initiative est que ces industriels, estimant que l'apprentissage de la chimie ne peut se faire uniquement par des cours, dotent le collège d'un laboratoire destiné à la formation pratique de quelques élèves, appelés préparateurs, et pour certains déjà employés dans leurs fabriques. Quelques années plus tard, ce laboratoire servira également à la Société industrielle de Mulhouse (SIM) pour tester les innovations qu'elle publie par ailleurs [1].

En 1914, presque un siècle plus tard, l'École de chimie de Mulhouse (l'École) est mondialement connue comme l'école qui forme les chimistes coloristes [2]. Cette profession s'est développée à partir de la diffusion des colorants de synthèse dans l'industrie textile. L'École était déjà renommée avant l'annexion de l'Alsace par l'Empire allemand, alors qu'elle était dirigée par Paul Schützenberger de 1854 à 1865, puis par Auguste Rosenstiehl de 1865 à 1868. Sa renommée s'est largement accrue pendant les 35 ans où elle a été dirigée par Emilio Noelting de 1880 à 1915. Ce savant réputé et respecté porte la durée des études à trois ans en 1888, puis crée une quatrième année facultative en 1898. Celle-ci est consacrée à une initiation à la recherche plus étendue que le travail de diplôme et conduit le plus souvent à une thèse. La liste des 90 thèses préparées à Mulhouse et soutenues à l'étranger

(Suisse et France principalement), c'est-à-dire ailleurs qu'en Allemagne, qui ne reconnaissait pas à l'École le caractère d'établissement d'enseignement supérieur, a été établie par Noelting en 1922 [3].

Mais il ne faut pas imaginer l'École de chimie de Mulhouse pendant cette période comme une école où l'on vient nécessairement suivre un cursus complet. Le registre de la scolarité, disponible à partir de l'année 1900, montre en effet que de nombreux étudiants ayant déjà une formation de chimiste acquise dans une université viennent à Mulhouse pour une période limitée, parfois un an, parfois quelques mois, pour y acquérir la spécialité de chimiste coloriste ou pour y poursuivre des travaux de recherche. Certains d'ailleurs sont déjà docteurs. Il faut aussi rappeler que des chimistes prestigieux ont secondé Noelting, parmi lesquels Otto Witt et Stanislas von Kostanecki.

Pendant cette période, l'École qui est municipale, et donc gérée par la ville, est placée sous le contrôle d'un comité, appelé conseil de surveillance, dont les membres sont désignés par la SIM à laquelle il rend compte chaque année. Ces rapports annuels, publiés dans le *Bulletin* de la SIM, sont une source d'information précieuse pour suivre l'évolution de l'École, même s'il s'avère en consultant des documents originaux que les difficultés qui ont pu être rencontrées sont omises dans les rapports. Ce comité est chargé entre autres du choix des enseignants et de l'élaboration des programmes. C'est la SIM qui assure les investissements en bâtiments à travers des souscriptions auprès des industriels alors que la ville prend en charge le fonctionnement, dont une part importante provient des droits d'écolage. L'administration

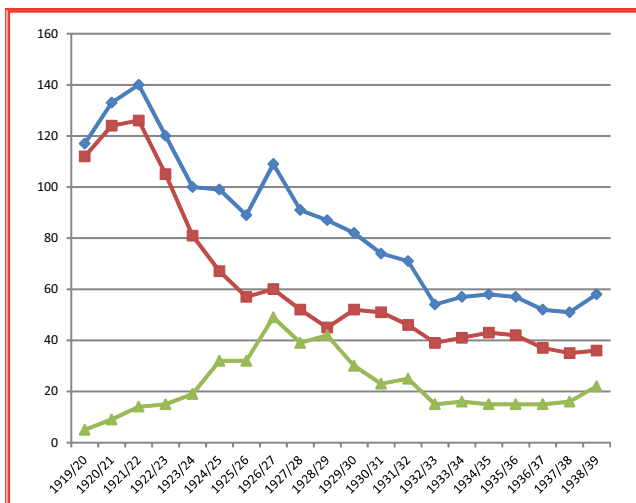


Figure 1 - Effectifs des élèves de 1919 à 1939. En bleu : effectif total, en rouge : Français, en vert : étrangers.

d'Alsace-Lorraine ne commence à contribuer financièrement au fonctionnement de l'École qu'en 1894. La francophilie de la SIM est bien sûr responsable de la méfiance de l'administration allemande. En 1915, Noelting et le directeur adjoint Eugène Wild sont expulsés en tant qu'étrangers [4] vers la Suisse. L'École est fermée mais ne subit aucun dommage. Elle rouvre ses portes le 1^{er} mai 1919.

Après les 47 années où elle était en Allemagne, l'École se retrouve maintenant en France, dans une situation totalement différente de celle d'avant 1870. Elle est en concurrence avec plusieurs écoles qui ont été créées à la fin du XIX^e siècle, parfois sur son modèle [5]. À la différence de celles-ci, elle se trouve isolée dans une ville non universitaire. En outre, étant municipale, elle ne dépend pas de l'Instruction publique. Dans ce qui suit, nous examinons comment l'École de chimie de Mulhouse a dû et su s'adapter à ce contexte radicalement différent de ses situations antérieures, quelles initiatives lui ont permis de poursuivre son développement pendant l'entre-deux-guerres, quels changements elle a dû apporter tant dans son enseignement que dans ses modes de fonctionnement et bien évidemment, les difficultés rencontrées.

Le recrutement des élèves

La figure 1 montre le nombre total d'élèves présents chaque année à l'École de 1919 à 1939, ainsi que la répartition entre Français et étrangers [6]. Alors que pour l'École, redevenue française, s'ouvrait le recrutement sur l'ensemble du territoire national, le recrutement qui était traditionnellement le sien dans les pays d'Europe centrale et de l'est était fortement perturbé : l'Empire austro-hongrois avait été dépecé, la Russie avait connu la révolution, etc. Après un fort recrutement national initial, principalement dû à des rattrapages des classes d'âge qui n'avaient pu, soit terminer, soit entreprendre leurs études pendant la guerre, le recrutement annuel de nationaux diminue et s'établit aux alentours de 25 à 30 jusque vers 1930. Par contre, les étrangers retrouvent progressivement le chemin de Mulhouse, jusqu'à représenter, à la fin des années 20, environ la moitié des effectifs. La présence de plusieurs étudiants afghans vaut à l'École, le 21 février 1928, la visite du souverain d'Afghanistan (voir encadré 1). Mais ce recrutement, qui témoigne de la notoriété de l'École, n'est semble-t-il pas du goût de la SIM [7]. En effet, dans le rapport de 1928, se manifeste l'inquiétude d'un déséquilibre dans l'effectif. Considérant qu'avec 91 élèves,

l'École fonctionne au maximum de ses possibilités, on lit : « Il est à remarquer que ce nombre présente malheureusement un proportion de compatriotes régionaux bien trop petite par rapport aux années d'avant-guerre. » Dans le rapport suivant sur l'année 1928-29, il est écrit plus précisément : « Nous avons mentionné, dans notre dernier rapport, que l'ensemble des élèves présentait, à notre avis, une certaine disproportion de jeunes gens étrangers par rapport aux élèves français. L'administration de notre École s'est préoccupée de ce problème et a pu, avec les modestes moyens dont elle dispose, contribuer à l'évolution favorable qui s'est produite dans cet ordre d'idée. L'exercice scolaire qui a débuté en octobre 1929 annonce en effet une proportion sensiblement plus élevée d'étudiants français sans que pour cela le nombre absolu des étrangers ait diminué de façon appréciable. Nous nous plaisons à relater ce fait avec d'autant plus de satisfaction que nous avons eu à maintes reprises à signaler le manque d'ingénieurs-chimistes français. » À quoi ce passage fait-il allusion ? Une partie de la réponse se trouve dans un relèvement drastique des droits d'inscription pour les étrangers, que montre le tableau I.

Année	Français	Étranger
1920	1 000	1 500
1921	1 500	2 000
1926	1 600	2 500
1929	1 600	3 150

Quoi qu'il en soit, le nombre d'étudiants étrangers décroît rapidement. De 49 en 1926-27, il se stabilise autour de 15 à partir de 1933. Mais il se trouve que, dans cette même période, le nombre d'élèves français décroît également. Cela est particulièrement net lorsqu'on regarde le nombre total d'étudiants de première année représenté sur la figure 2.

De 20 à 30 pendant les années 20, il décroît jusqu'à 5 en 1932, puis remonte lentement pour atteindre 17 en 1938. Il y a au moins deux raisons à cela. La première est le déficit de natalité pendant la guerre de 1914-18. Si on admet que l'âge moyen d'entrée est de 17 ans, il se manifeste effectivement sur les années de 1931 à 1935. Mais une autre raison est liée à la crise économique qui sévit depuis 1929. L'École de chimie de Mulhouse est une école onéreuse en raison de son statut privé et de l'importance donnée à la formation pratique. Des frais de laboratoire s'ajoutent aux droits d'inscription. En outre, la Société industrielle met en avant l'engouement des jeunes Alsaciens pour les grandes écoles généralistes typiquement françaises.

Le diplôme

À l'époque allemande, depuis 1888, l'École délivrait à la fin de la troisième année un diplôme dont l'intitulé en allemand était « technischer Chemiker », que l'on traduisait en français par « certificat d'études chimiques » [8]. Noelting, dans ses nombreux écrits sur l'École, parle de chimistes industriels et n'emploie jamais le mot ingénieur. Cependant, après le retour de l'École en France et probablement pour se conformer à l'usage des autres écoles de chimie, le terme d'ingénieur-chimiste est adopté, y compris pour la traduction en français du diplôme d'avant-guerre.

Mis à part un pic important dans l'immédiat après-guerre, le nombre de diplômes délivrés est extrêmement faible, se

Encadré 1

Une visite royale à l'École de chimie

À la rentrée d'octobre 1925, l'École supérieure de chimie de Mulhouse accueille quatre étudiants afghans en première année. Ils sont boursiers de l'État afghan, ont déjà effectué une scolarité de deux ans en France, et on peut imaginer qu'ils sont à Mulhouse pour y apprendre le métier de chimiste-coloriste en vue de développer l'industrie textile en Afghanistan. Grâce aux archives de l'École, qui conservent le cahier des inscriptions depuis 1900 et les dossiers individuels des élèves, il est possible de suivre leur scolarité. Abdolla quitte l'École dès 1927 suite à des résultats insuffisants alors que Ghulam Hassan ne la quitte qu'en septembre 1932, mais probablement sans diplôme. Nourollah Khan poursuit une scolarité normale et reçoit son diplôme en avril 1929. En 1938, alors qu'il est professeur de chimie à la Faculté des sciences de Kaboul, il reprend contact avec Martin Battégay, le directeur de l'École, pour lui demander s'il lui est possible de préparer une thèse sur place sous sa direction. Nous n'avons pas la réponse de Battégay, mais il est évident que les événements de 1939 n'ont pas permis à ce projet de se réaliser. Enfin, Mohammed Younos Khan a une scolarité chaotique. Après avoir quitté l'École en avril 1928 pour s'orienter vers la géologie, il y revient en 1930. Les rapports font état de son absentéisme fréquent et de problèmes de santé. Lorsqu'il se remet au travail sérieusement, il est trop tard, car il est rappelé en Afghanistan en février 1933, quelques mois avant son diplôme ! En 1950, il est conseiller auprès du ministre de l'Instruction publique. Né en 1892, Aman Ullah Khan accède au pouvoir en 1919. Jouant sur l'affaiblissement de l'Angleterre en Inde suite à la Grande Guerre, il obtient rapidement l'indépendance de l'Afghanistan, ce qui le rend populaire. Très moderniste, s'inspirant des réformes d'Atatürk en Turquie, il crée des écoles, y compris pour les filles, et accueille des lycées étrangers. Il réforme la constitution et développe les échanges avec l'étranger, en particulier en ouvrant des ambassades. Avec son épouse Soraya Tarzi, il œuvre également à l'émancipation des femmes. Ces réformes trop rapides sont mal perçues. Fin 1927, il entreprend une longue visite officielle des principaux pays développés d'Europe. Le 26 janvier 1928, il arrive à Paris où il séjourne jusqu'au 9 février. Il se rend ensuite en Belgique, puis en Suisse. C'est de Bâle, où il dispose d'une journée libre, que le souverain, accompagné de son épouse et de sa suite, se rend à Mulhouse le 21 février. Il arrive en voiture dans la matinée, visite le centre de Mulhouse et déjeune à l'hôtel du Parc, inauguré quelques années auparavant. Il a invité deux des étudiants afghans. L'après-midi, il visite l'École de chimie et regagne Bâle, d'où il se rend de nuit à Berlin par un train spécial. À son retour, une nouvelle série de réformes est rejetée et une

révolte ourdie par les milieux conservateurs l'oblige à abdiquer le 14 janvier 1929, soit moins d'un an après sa visite mulhousienne. Il s'exile en Europe et décède à Zurich en 1960.

Les deux journaux mulhousiens rendent compte de la visite royale dans leur édition du 22 février. Pour *L'Express de Mulhouse*, « Rien de plus imprévu, en effet, que cette visite inofficielle », alors que pour *La France de l'Est*, « Sa majesté, avant de poursuivre son voyage en Allemagne, avait tenu à venir de Bâle, pour témoigner personnellement tout l'intérêt qu'il porte à l'enseignement que reçoivent plusieurs de ses sujets dans notre grande École. » La présence du sous-préfet à l'École nous incite à penser que la visite n'était pas totalement imprévue, même si la décision a été prise tardivement ! S'il est rédigé avec quelque fantaisie, l'article de *L'Express* n'en est que plus savoureux et mériterait d'être reproduit dans sa totalité.

Jean Meybeck, le futur directeur, avait été admis à l'École à la rentrée de 1926. Il a donc côtoyé les étudiants afghans et était présent lors de la visite royale. Dans ses mémoires, dont un exemplaire figure dans les archives de l'École, il se remémore ses camarades afghans : « Hassan avait beaucoup plus d'argent que ses camarades et il le dépensait joyeusement dans les boîtes de nuit... Younos et Nourollah étaient bien plus sérieux... Nourollah repartit en Afghanistan avec une jeune Alsacienne et, quelques quarante ans après, l'archéologue Schlumberger, qui dirigeait les fouilles de l'Oxus en Afghanistan avant la chute de la royauté, nous apprit qu'il connaissait très bien Nourollah, devenu ministre de l'industrie, et sa première femme alsacienne. » Nourollah (1907-1971) est, à ma connaissance, le seul ancien élève de l'École à avoir accédé à cette haute responsabilité. Enfin, c'est dans ce fascicule de mémoires que l'on trouve cette photographie de la visite du roi, dont vous voudrez bien excuser la mauvaise qualité.



6 Visite du Roi d'Afghanistan. A côté du directeur Battégay, le Roi et la Reine, et juste derrière, Nourollah.

situant entre 4 et 10 par an sur toute la période allant de 1925 à 1938 (figure 2). Nous arrivons cependant à un total de 210 diplômés sur l'ensemble de la période.

Le règlement exigeait en effet une note minimale de 3 sur 6 à chaque examen, dans chacune des matières. En cas de deux échecs successifs dans une matière, l'élève devenait stagiaire en attendant qu'une nouvelle présentation (payante !) réussie lui permette de réintégrer le cursus normal. À cela s'ajoutait un examen dit « de diplôme », en fin de cursus, et portant sur l'ensemble des enseignements de toutes les années.

Consciente du faible taux de réussite, l'École essaie d'attirer de meilleurs élèves. L'examen spécial pour les non-bacheliers voit son niveau relevé en 1927, et un concours spécial donnant accès à des bourses d'études financées par la Société des amis de l'École [9] est organisé à partir de septembre 1936 pour attirer de très bons bacheliers. Trois bourses sont offertes chaque année.

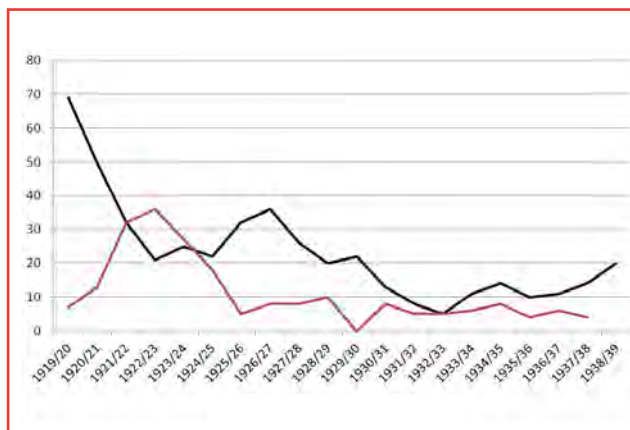


Figure 2 - Comparaison entre les effectifs en 1^{ère} année (courbe noire) et les diplômés (courbe rouge).

Le titre d'ingénieur-chimiste est avalisé sans problème en 1935 par la Commission du titre d'ingénieur [10] créée l'année précédente. En outre, en 1938, l'École figure parmi les cinq instituts de chimie admis à présenter des candidats sans concours au Service des poudres et explosifs de l'Armée.

L'enseignement

Lors de la réouverture, le programme de l'École est celui d'avant-guerre, avec toutefois des difficultés pour trouver des enseignants dans les disciplines autres que la chimie. En première année, les 49 heures de présence hebdomadaires se répartissent entre 16 heures de cours et 33 heures de travaux pratiques, ce qui montre bien l'importance primordiale traditionnellement accordée à la formation pratique. Les travaux au laboratoire atteignent même 37 heures par semaine au troisième semestre. La troisième année est très orientée vers l'industrie textile, avec un cours de chimie spécialisée et un cours de mécanique industrielle. La partie pratique est réservée à un projet de fin d'études en chimie organique. La physique et la chimie physique sont présentes en première et deuxième années et un cours de cristallographie et de minéralogie, typique des cursus de chimie allemands, est maintenu.

Mais dès 1923, le rapport annuel mentionne la nécessité de développer l'enseignement de la chimie physique. La création d'une chaire et le recrutement d'un professeur sont envisagés, mais cela demande à la fois de dégager du temps dans le cursus et des nouveaux locaux pour le laboratoire de recherche du professeur. Il est donc décidé d'ajouter un septième semestre à la scolarité et de construire de nouveaux locaux. Le septième semestre est effectif pour les élèves rentrant en octobre 1927, qui ne recevront leur diplôme qu'au printemps 1931. Comme il se termine à Pâques, c'est presque une quatrième année. Les nouveaux locaux sont inaugurés le 14 janvier 1928. Le professeur de chimie physique recruté, Paul Mondain-Monval, est un élève de Le Chatelier. Le jour de l'inauguration, le maître présente une conférence intitulée

« La formation des élites » [11]. Le nouveau plan des études (voir figure 3) renforce bien sûr la chimie physique, mais il fait aussi apparaître que les élèves doivent présenter trois « travaux de diplôme », un en physique ou chimie physique, un en chimie minérale et un en chimie organique. Ce nouveau plan montre bien l'ouverture de l'enseignement à l'ensemble des domaines de la chimie, et non plus principalement à la chimie tinctoriale.

Une autre initiative qui souligne encore cette évolution de l'École est l'introduction, dès 1934, dans le cours de chimie organique de Jean Lichtenberger, d'un chapitre sur les matières plastiques. L'année 1937 voit la création d'un laboratoire de recherche sur la chimie du caoutchouc, confié à Léon Denivelle [12]. C'est une des toutes premières chaires de chimie des polymères en France. Ce laboratoire est créé grâce à un don de 320 000 francs (soit actuellement environ 170 000 euros) fait par un ancien élève de l'École, Roger N. Wallach, établi aux États-Unis (voir encadré 2).

Les moyens

Emilio Noelting, âgé, ayant refusé d'assurer la direction de l'École à sa réouverture, c'est son plus proche collaborateur, Eugène Wild, qui lui succède. Lorsque celui-ci part à la retraite en 1926, un élève de Noelting, Martin Battégay (figure 4) [13], assume la responsabilité de la direction jusqu'à ce que les lois antisémites de 1941 ne le privent de tous ses droits.

Vu l'affluence des élèves à la rentrée de 1919, il fallut, dans l'urgence, construire un nouvel amphithéâtre, agrandir et rénover certains locaux. La SIM fit appel, comme d'habitude, à la générosité des industriels. Ces travaux, achevés en 1921, se chiffrent à 450 000 francs, dont une subvention exceptionnelle de 137 500 francs de l'administration (Commissariat général) et une contribution de l'Union des producteurs et consommateurs de produits chimiques de 60 000 francs [14]. Mais l'agrandissement mené à bien en 1928 est d'une toute autre ampleur. Les travaux, financés par une nouvelle sous-

cription, se montent à 2 millions de francs. La surface bâtie de l'École passe de 1 450 m² à plus de 2 000 m². Pour cela, la ville a fourni un nouveau terrain joutant celui qui abritait déjà l'École qui, lui, appartenait à la SIM. Le nouveau bâtiment est montré sur la figure 5.

Au vu de telles réalisations, on serait enclin à penser que l'École est financièrement prospère. Or il n'en est rien et le déficit se creuse rapidement pendant cette période. Il cause bien des soucis au directeur de l'École et à la municipalité qui, chaque année, comble ce déficit toujours croissant (tableau II) malgré l'augmentation substantielle de la subvention de l'État qui passe de 7 500 francs en 1922 à 96 000 francs en 1928.

Il faut donc trouver un moyen d'assurer la pérennité du fonctionnement de cette école que la ville ne peut plus assumer quasiment à elle seule. Pour diversifier les sources de financement, un troisième partenaire est sollicité : la Chambre de commerce. Un nouveau statut est envisagé et il est en outre décidé de rechercher la reconnaissance d'utilité publique. Après des négociations menées par la ville, celle-ci, assortie d'une Fondation qui gère désormais l'École, prend effet au 4 décembre 1930 [15]. La Fondation est dotée par la ville et par la Société

PROGRAMME DES COURS DE L'ANNÉE		ET TRAVAUX PRATIQUES SCOLAIRE	
COURS THÉORIQUES	TRAVAUX PRATIQUES	COURS THÉORIQUES	TRAVAUX PRATIQUES
1^{er} semestre.			
Chimie minérale. 4 h.	Analyse qualitative 32 h.	Chimie organique spé- ciale. 6 h.	Laboratoire de Chi- mie organique . . . 30 h.
Chimie analytique. 6 h.		Analyse organique. . . 1 h.	Laboratoire de Physi- que et Chimie phy- sique. 4 h.
Mathématiques. 3 h.		Chimie physique. . . . 4 h.	
<i>Révisions hebdomadaires :</i>			
Chimie minérale. 1 h.		Notions de Filature et Tissage. 1 h.	
Chimie analytique. 1 h.		<i>Révision hebdomadaire :</i>	
Mathématiques. 1 h.		Chimie physique 1 h. 1/2	
2^e semestre.			
Chimie minérale. 6 h.	Analyse qualitative 32 h.	Chimie organique spé- ciale. 6 h.	Laboratoires 36 h.
Chimie analytique. 6 h.		Physique industrielle. . 3 h.	soit :
Mathématiques. 1 h.		Electrochimie Indus- trielle, Technologie. . 1 h. 1/2	Taillage et Impres- sion 1 mois
Physique. 5 h.		Chimie physique spé- ciale. 1 h.	Travail de Diplôme de Physique ou Chi- mie physique . . . 2 mois
<i>Révisions hebdomadaires :</i>			
Chimie minérale et analy- tique 1 h.		Technologie Inorgani- que spéciale 1 h.	
3^e semestre.			
Chimie organique géné- rale. 6 h.	Analyse quantitative 33 h. 1/2	Notions de Filature et Tissage. 1 h.	
Analyse industrielle. . . . 3 h.		7^e semestre.	
Minéralogie. 3 h.		Physique industrielle. . 3 h.	Laboratoires 46 h.
Physique. 5 h.		Dessin industriel . . . 1 h.	Travail de Diplôme de Chimie minérale. . 3 mois
Droit industriel 1 h.		Travail de Diplôme de Chimie organique. 3 mois	
4^e semestre.			
Chimie organique géné- rale. 6 h.	Analyse quantitative 30 h.	<i>Préparation militaire supérieure (facultative).</i>	
Analyse industrielle. . . . 3 h.	Laboratoire de Phy- sique 4 h.	L'année scolaire commence le 1 ^{er} octobre et se termine le 31 juillet.	
Minéralogie 3 h.		Le 1 ^{er} semestre va du 1 ^{er} octobre au 31 mars.	
Chimie physique. 4 h.		Les cours et les travaux pratiques sont interrompus pendant une dizaine de jours à la Noël, pendant 3 semaines à Pâques.	
Finances et Comptabilité. 1 h.			

Figure 3 - Plan des études.

Encadré 2

Un chimiste mulhousien aux États-Unis

Roger Nephtalie Wallach (1882-1941) naît à Mulhouse. Il entre à l'École de chimie de cette ville en 1898 et reçoit son diplôme de chimiste en 1901. En 1905, Il travaille dans une société familiale d'impression textile, S. Wallach et Cie. Mais en 1915, désormais appelé Docteur Wallach, il est vice-président et directeur technique d'une société américaine, Standard Aniline Products, Wappingers Falls, N.Y., qui fabrique des colorants. En 1918, Roger Wallach est vice-président de Grasselli Chemical Company. À partir de 1924, il devient vice-président et trésorier de la branche colorants, Grasselli Dyestuff Corporation, dont la société allemande Bayer possède 50 %, et qui est absorbée par IG Farben en 1928. En 1929, il crée une nouvelle société, Sylvania Industrial Corporation, dont l'usine est à Fredericksburg, VA. Cette société développe un cellophane non sensible à l'humidité et se heurte à DuPont qui avait acquis la licence de la cellophane pour l'Amérique en 1923. Un accord intervient qui permet à Sylvania de prétendre à environ 20 % du marché américain, moyennant une faible redevance à DuPont. Or ce marché est alors en pleine expansion et très rémunérateur. En 1937, Roger Wallach accorde à l'École de chimie de Mulhouse un don de 320 000 francs, payable en plusieurs annuités, pour permettre à l'École de créer une chaire de chimie physique sur le caoutchouc. Léon Denivelle en est le titulaire. Lorsqu'éclate la Seconde Guerre mondiale, l'École quitte Mulhouse et il reste une somme de 120 000 francs non payée, que Wallach fait figurer dans son testament. Selon les clauses de celui-ci, le paiement est différé jusqu'à la fin de la guerre. En outre, l'École devra prouver qu'elle est bien sur le sol français (l'Alsace avait été annexée *de facto* par l'Allemagne). Dans l'éventualité où l'École ne pourrait être localisée, la somme résiduelle serait attribuée à quelque autre école en France qui sera sélectionnée comme ayant une chaire de chimie physique. Après la libération, l'École revint à Mulhouse, mais en l'absence de traité de paix entre les deux pays, ne pouvant prouver que l'Alsace était redevenue française, elle dut attendre 1948 pour récupérer le reliquat.



Portrait de Roger N. Wallach (sans date).

William Haynes Portrait Collection, Chemical Heritage Foundation (www.chemheritage.org).

industrielle des terrains, immeubles et matériels précédemment possédés par ces deux collectivités, mais elle reçoit en outre de celles-ci un capital important dont les revenus s'ajouteront aux subventions. Le président de la SIM préside un Conseil d'administration de treize membres. Le maire de Mulhouse est vice-président et la Chambre de commerce désigne le trésorier. On voit entrer à ce conseil un représentant du Conseil général du Haut-Rhin. L'enseignement

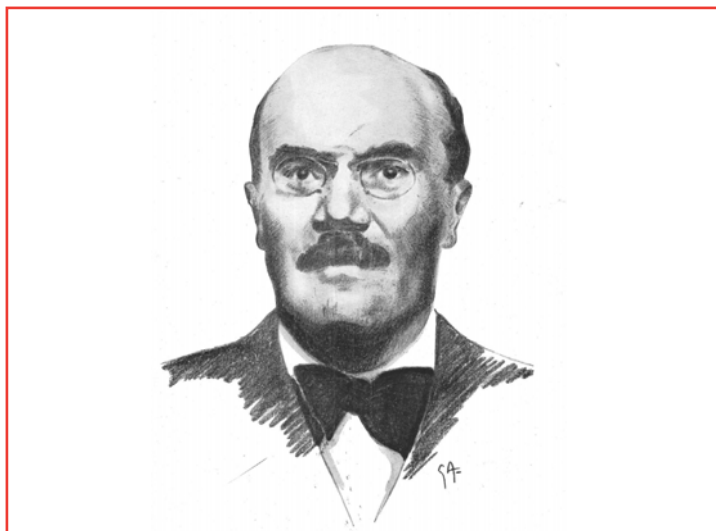


Figure 4 - Martin Battegay (1883-1942).

Portrait exécuté par Geneviève André, d'après une photographie. DR.



Figure 5 - Le bâtiment inauguré en 1928.

Tableau II - L'augmentation du déficit de 1919 à 1930 (en francs).

Année	Dépenses	Déficit
1919	157 644	25 635
1920	267 631	27 857
1922	344 789	69 886
1923	348 976	107 669
1924	384 098	157 501
1926	461 017	133 180
1927	550 789	171 249
1928	704 137	296 256
1929	742 194	282 085
1930	747 785	318 426

supérieur dispose de trois représentants : le directeur de l'enseignement supérieur, le recteur d'académie, ainsi qu'un représentant de la Faculté des sciences de Strasbourg. L'enseignement technique est également présent par son

directeur régional. À côté de ce Conseil d'administration œuvre un comité technique très resserré, de cinq membres : le président du comité de chimie de la SIM, le directeur de l'École, le président de l'Association des anciens élèves et deux anciens élèves industriels de renom, Joseph Frossard [16] et Georges Thesmar [17]. La conséquence de cette évolution est une plus grande autonomie de l'École et de son directeur.

Les soucis financiers de l'École ne sont pas résolus pour autant. Le budget est équilibré jusqu'en 1936, mais comme le montre le *tableau III*, un déficit va rapidement croître ensuite.

Tableau III - Le budget montre un équilibre des comptes jusqu'en 1936, puis une rapide dégradation en 1937 et 1938 (en francs).

Exercice	Excédent des recettes	Excédent des dépenses
1932		24 891,62
1933	4 234,73	
1934		6 802,71
1935	11 443,63	
1936	3 542,45	
1937		39 465,85
1938		100 000,00
Évaluation du déficit estimé à fin 1938		151 939,37

À la fin de 1938, la situation est catastrophique. Un document daté de novembre 1938 débute ainsi [18] : « *La trésorerie de l'École, compte tenu des recettes à effectuer dans les prochaines semaines, ne peut assurer le paiement et dépenses courantes que jusqu'à fin mars 1939. Au-delà de cette limite extrême, toutes les ressources dont l'administration de l'École dispose pour assurer le fonctionnement de l'établissement seront épuisées.* » La cause principale en est la stagnation des subventions, voire une légère diminution, alors que du fait de l'inflation, et malgré une gestion très rigoureuse, les dépenses croissent rapidement. Ces subventions se montent à 341 000 francs en 1938 alors que le budget avoisine les 900 000 francs. Fin 1938, les industriels locaux, sollicités comme habituellement, se trouvant dans une situation de crise, ne peuvent faire face. Finalement, ce sont les parlementaires du Haut-Rhin qui obtiennent une subvention supplémentaire de 150 000 francs, payée en 1939 sur le budget de l'enseignement technique.

Un des problèmes récurrents est celui du salaire des enseignants. Le directeur alerte la ville à plusieurs reprises sur le différentiel entre le salaire perçu par les enseignants et le salaire offert par les facultés (*figure 6*). En outre, les enseignants ne bénéficient pas d'une retraite. Régulièrement, des professeurs quittent l'École pour enseigner à l'université. C'est le cas de Georges Hugel en 1925, puis de Georges Mignonac en 1926, qui partent à Strasbourg. Un geste du Ministère qui allège la charge salariale consiste à prendre en charge Mondain-Monval, en 1932, sur un poste de maître de conférences (équivalent de l'actuel professeur de seconde classe). Malgré ce problème, on peut dire que l'École dispose d'un corps enseignant de très bon niveau et stable. Ceci est probablement dû à ce que ces enseignants trouvent à Mulhouse les moyens de faire de la recherche.

La recherche [19]

La recherche appliquée a été introduite dès la création de la SIM en 1826. On peut suivre l'essentiel des travaux menés à Mulhouse dans les *Bulletins* de la SIM et une compilation plus étendue en a été faite en 1972 [20]. Schützenberger publie de nombreux travaux pendant son séjour mulhousien, mais c'est Noelting qui introduit la recherche dans le cursus des étudiants, estimant qu'une initiation à la recherche est fondamentale. Cette initiation, qui se faisait en troisième année (travail de diplôme), pouvait se poursuivre en quatrième et éventuellement en cinquième année afin de soutenir une thèse. Ces élèves avancés participaient à l'encadrement des travaux pratiques, en échange de quoi ils étaient dispensés des droits d'inscription et des frais de laboratoire. Parallèlement, l'École entretient des liens très forts avec l'industrie chimique et textile, ses professeurs ayant également une activité de conseil.

Cette tradition est reprise après la guerre et nous avons vu que l'École, attentive aux évolutions de la science chimique, a créé successivement dans la période qui nous intéresse une chaire de chimie physique et une chaire sur la chimie du caoutchouc. La recherche sur les colorants reste toutefois très active. Pour la période 1919-1939, 50 thèses sont soutenues, dont 8 doctorats ès sciences. En effet, si les ingénieurs de l'École pouvaient soutenir un doctorat d'université, ils devaient obtenir une licence universitaire pour pouvoir soutenir une thèse de doctorat ès sciences. Seuls ceux d'entre eux qui envisageaient de faire carrière dans l'enseignement supérieur entreprenaient ce cursus supplémentaire.

Sur les 50 thèses soutenues [21], 33 ont été préparées dans le laboratoire de Martin Battegay (ex laboratoire de Noelting), le reste se répartissant entre les autres professeurs. On voit apparaître une diversification des sujets avec de la chimie analytique, minérale et de la chimie physique. Les thèses sont soutenues à Strasbourg en début de période, jusque vers 1930, et ensuite principalement à la Sorbonne. Les raisons de cette évolution ne sont pas connues.

Liens avec l'industrie et les anciens élèves

Les liens avec l'industrie qui étaient traditionnellement forts perdurent durant cette période puisque, nous l'avons vu, les industriels répondent aux sollicitations de la SIM

NOMS	Situation de famille	Traitement à Mulhouse	Traitement correspondant à la Faculté à Strasbourg	DIFFERENCE
MR. BATTEGAY	célibataire	36.000.-	51.480.-	15.480.-
BANDERET	marié - 4 enfants	36.000.-	51.480.-	15.480.-
FLATT	marié	36.000.-	46.720.-	10.720.-
LICHTENBERGER	marié - 2 enfants	36.000.-	51.480.-	15.480.-
MONDAIN-MONVAL	marié - 1 enfant	36.000.-	46.720.-	10.720.-
FERRER	célibataire	54.000.-	46.720.-	12.720.-
Total :				80.600.-

LA somme de Frs. 80.600.- indiquée au Total de la dernière colonne, représente la charge supplémentaire qui incomberait à l'École du fait du nivellement des traitements.

Figure 6 - Comparaison des salaires des enseignants à Mulhouse et Strasbourg en 1928.

pour l'agrandissement des locaux. Mais de nouvelles collaborations apparaissent. Une amicale des anciens élèves est créée après la Première Guerre et commence à publier un annuaire en 1931. Nous avons aussi signalé le financement de bourses pour étudiants par une association des amis de l'École. Les nombreux élèves qui avaient été formés à l'époque Noelting occupent maintenant des postes importants dans l'industrie. Mais une initiative probablement originale à cette époque est la création en 1933 d'une semaine de « Perfectionnements dans les arts textiles », s'adressant à des professionnels, au cours de laquelle de très hauts responsables de l'industrie, souvent anciens élèves, exposent les développements les plus récents illustrés par des travaux pratiques. La première session rencontre, d'après la SIM, un grand succès. En 1934, la session est entièrement consacrée aux matières plastiques et fibres artificielles. Ce thème est encore très présent lors de la troisième session qui a lieu en 1938 : deux conférences sur cinq, contre trois consacrées à la chimie organique, dont une seule relative aux colorants.

Conclusion

Pendant la période considérée, l'École de chimie de Mulhouse fait preuve de continuité : l'importance donnée à la chimie organique et celle accordée à la formation pratique sont traditionnelles dans l'établissement. Mais elle sait également innover en suivant les développements de la chimie physique et de la chimie des polymères. Cependant, l'École rencontre manifestement des difficultés de deux ordres : le recrutement des élèves et son financement. Au début des années 1930, le nombre d'étudiants diminue fortement. Il n'est pas possible de dire si la désaffection des étudiants étrangers est due à des droits d'écolage (frais d'école) élevés ou à d'autres causes. Concernant les étudiants français, pour pouvoir attribuer avec certitude leur faible nombre au creux de natalité lié à la guerre, il faudrait voir si ce phénomène se manifeste de la même manière dans les autres écoles. Le problème du recrutement semble en bonne voie de résolution lorsque débute la Seconde Guerre mondiale, mais le financement de l'École est alors très problématique.

L'École connaît des difficultés matérielles quasi constantes, ce qui n'empêche pas un investissement immobilier important en 1928. On peut y voir la preuve de la confiance de la SIM et de la ville de Mulhouse dans l'avenir de cette école, malgré les difficultés que rencontre déjà l'industrie locale. La recherche reste très active, puisque cinquante thèses sont préparées pendant cette période, et on observe une diversification à d'autres domaines que la chimie tinctoriale. Selon les rapports publiés par la SIM, les élèves n'ont eu aucune difficulté à trouver des emplois durant toute cette période.

L'auteur remercie Mme Leïla Salhi, responsable du service des archives de l'Université de Haute-Alsace pour son aide précieuse et efficace.

Notes et références

- [1] Ott F., Chézeau J.-M., Industrie et science chimique. L'exemple du Comité de chimie de la Société industrielle de Mulhouse, *Chimie et Industrie en Europe*, U. Fell (dir.), Éditions des Archives contemporaines, Paris, 2001, p. 109-126.
- [2] Chézeau J.-M., Des écoles d'ingénieur dans une sous-préfecture ! Les spécificités mulhousiennes, 1820-1950, *Des ingénieurs pour la Lorraine, XIX^e-XX^e siècles*, A. Grelon, F. Birck (dir.), Éditions Serpenoise, Metz, 1998, p. 353-363.
- [3] Noelting E., Note sur les travaux scientifiques exécutés par les élèves de l'École supérieure de chimie de Mulhouse, *Bull. Soc. Ind. Mulhouse*, 1922, 86, p. 49-59.
- [4] Emilio Noelting, né à Puerto Plata en République dominicaine, avait gardé sa nationalité et Eugène Wild était suisse.
- [5] C'est le cas de l'École de physique et chimie industrielles de la ville de Paris fondée en 1882 et de l'École supérieure de chimie industrielle de Lyon créée en 1883.
- [6] Ces renseignements sont issus du registre des inscriptions, archives de l'Université de Haute-Alsace (UHA).
- [7] La proportion, jugée trop importante par certains, d'élèves étrangers dans l'École a suscité de longue date des discussions à la SIM. Voir par exemple : Scheurer A., Jaquet E., *Bull. Soc. Ind. Mulhouse*, 1896, 76, p. 30-31 ; et aussi : *Histoire de l'École de chimie de Mulhouse publiée à l'occasion du 25^e anniversaire d'enseignement de M. le Dr. Emilio Noelting, 1880-1905*, Imprimerie alsacienne, Strasbourg, 1905, p. 36-37.
- [8] L'intitulé du diplôme en allemand est le même que celui délivré par le Polytechnikum de Zürich. La quatrième année facultative instituée en 1898 donnait droit à la délivrance d'un diplôme scientifique de l'École de chimie de Mulhouse (*Zeugnis wissenschaftlicher Befähigung*). Quelques exemplaires de diplômes sont visibles sur le site des archives de l'UHA, école de chimie (www.archives.uha.fr).
- [9] J. Lichtenberger attribue à M. Bategay l'initiative de la création de cette association regroupant des industriels ; voir : Lichtenberger J., *Bull. Soc. Ind. Mulhouse*, 1947, 121, p. 21-30.
- [10] Le rapport de la Commission des titres stipule « *Attendu que la valeur et le niveau de l'enseignement dispensé sont incontestables – Attendu que le personnel enseignant est de tout premier ordre...* » ; voir : Archives de la Fondation, dossier reconnaissance de diplôme, non classé, Archives de l'Université de Haute-Alsace.
- [11] Le Chatelier H., La formation des élites, *Bull. Soc. Ind. Mulhouse*, 1928, 94, p. 214-235.
- [12] Wahl H., Denivelle Léon (1905-1992), professeur de chimie tinctoriale (1941-1974), *Les professeurs du Conservatoire national des arts et métiers*, C. Fontanon, A. Grelon (dir.), INRP, Paris, 1994, t. 1, p. 394-404.
- [13] Sur l'œuvre scientifique et administrative de M. Bategay, voir : Lichtenberger J., *op. cit. in* [9].
- [14] Pour le détail des souscriptions recueillies, voir : *Bull. Soc. Ind. Mulhouse*, 1922, 88, p. 653-663.
- [15] Décret du 4 décembre 1930 paru au *J.O. de la République française* du 1^{er} janvier 1931, p. 3.
- [16] Joly H., Joseph Frossard, *Dictionnaire historique des patrons français*, J.-C. Daumas (dir.), Flammarion, 2010, p. 299-301.
- [17] Langlinay E., Georges Thesmar (1887-1965), *Itinéraires de chimistes, 1857-2007. 150 ans avec les présidents de la SFC*, L. Lestel (coord.), EDP Sciences, 2007, p. 507-511.
- [18] École supérieure de chimie de Mulhouse, situation financière, exposé succinct, novembre 1938, Dossier archives de la Fondation, non classé, Archives de l'Université de Haute-Alsace.
- [19] Une analyse détaillée des thèmes de recherche pendant la période considérée se trouve dans Lichtenberger J., *op. cit. in* [9].
- [20] *Recherches et travaux des professeurs et anciens élèves, 1822-1972*, École supérieure de chimie de Mulhouse, trois fascicules, compilation réalisée à l'occasion du cent cinquantième de l'École, non publié.
- [21] Les titres des thèses sont répertoriés dans la référence donnée en [20], annexe 5, p. 180.



Jean Michel Chézeau*

a été directeur de l'École Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse. Il est membre du Conseil d'administration du club d'Histoire de la chimie de la SCF.

* Courriel : jeanmichel.chezeau@orange.fr

La SCF sur Facebook, vous aimez ?
Parlez-en autour de vous,
et invitez vos amis et collègues à nous rejoindre !
www.facebook.com/SocieteChimiqueDeFrance?ref=profile

Mateu Orfila, chimiste, toxicologue et expert

Éric Sartori

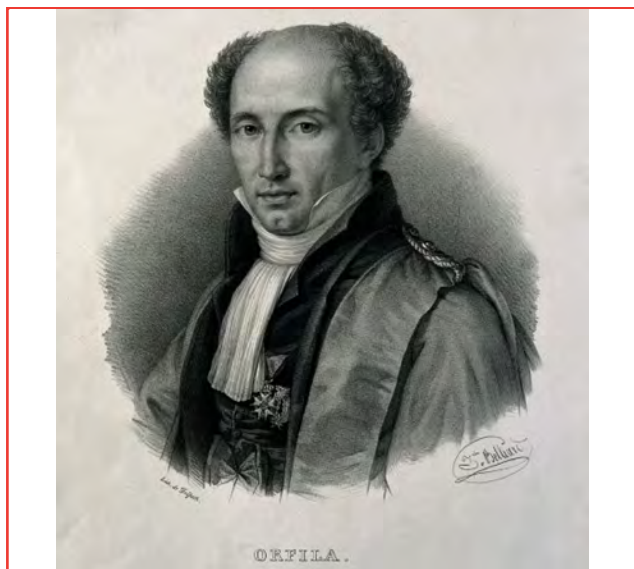
Résumé Grandeur et chute de Mateu Orfila. Il y a deux cents ans commençait la publication du *Traité des Poisons* de Mateu Orfila, qui fit de ce chimiste et médecin franco-espagnol un des fondateurs de la toxicologie scientifique, un universitaire influent et un savant mondialement connu ; mais aussi, pour son malheur, un expert judiciaire contesté.

Mots-clés Mateu Orfila, toxicologie, expertise, poisons, histoire des sciences.

Abstract Mateu Orfila, chemist, toxicologist and expert

Rise and fall of Mateu Orfila. Two hundred years ago began the publication of the *Traité des Poisons* by Mateu Orfila, which made of this Franco-Spanish chemist and physician one of the founders of scientific toxicology, an influential academic and an universally known scientist; but also, for its misfortune, a disputed forensic expert.

Keywords Mateu Orfila, toxicology, expertise, poisons, history.



Mateu Josep Bonaventura Orfila i Rotger (1787-1853).
Lithographie de Z. Belliard.

Il y a deux cents ans, Mateu Orfila commençait la publication d'un ouvrage fondateur de la toxicologie, son monumental *Traité des Poisons ou Toxicologie Générale* [1], en quatre volumes publiés entre 1813 et 1815.

Mateu Orfila (1787-1853) fut l'un de ces Espagnols séduits, non par le régime, mais par la suprématie scientifique de l'Empire napoléonien. Né à Maheu (Minorque) en 1787, il refuse la carrière navale à laquelle le destinait sa famille, et se passionne pour la médecine, surtout la chimie. Déçu par la médiocrité de l'enseignement espagnol, inquiété par l'Inquisition pour un premier travail universitaire sur l'âge de la Terre, il part en 1807 pour Paris. Il peut y suivre les cours des meilleurs professeurs de l'époque : Thenard, Vauquelin et Haüy pour la chimie, Cuvier et Lamarck pour les sciences naturelles. Il se fit suffisamment remarquer pour qu'en 1808, lorsque les Espagnols de Paris furent convoqués à la Préfecture pour prêter serment au nouveau régime de Joseph

Bonaparte et qu'il se retrouva inopinément arrêté, ce fut Vauquelin, en grand uniforme de l'Institut qui vint exiger la libération de son élève et se porta garant de lui. Orfila obtint son doctorat de médecine à Paris en 1811, puis gagna médiocrement sa vie par des cours privés dans diverses disciplines scientifiques – il succéda notamment à Thenard dans ses cours de chimie à l'Athénée. C'est dans ces conditions qu'il prépara l'ouvrage qui lui apportera la reconnaissance universitaire, et également une renommée mondiale incroyable.

« Seule l'analyse chimique convenablement effectuée... »

Ce traité est l'œuvre d'un chimiste éminent, formé dans les plus grands laboratoires, qui applique de manière systématique la science de l'analyse chimique au domaine bien particulier de la médecine légale. La partie dans laquelle Orfila innove le plus concerne les poisons minéraux, objet des deux premiers volumes. Qu'il s'agisse des composés du mercure, de l'arsenic, du cuivre, de l'antimoine, le plan est toujours le même. L'auteur recense d'abord un certain nombre de propriétés et de réactions caractéristiques qui permettent d'identifier ces substances. Il examine ensuite quelles sont les méthodes les plus appropriées de détection dans les aliments et milieux biologiques (lait, café, thé, bouillon, salive, bile, suc gastrique...) et donne la marche à suivre pour les identifier dans des aliments empoisonnés lorsqu'il en reste, dans les vomissements des intoxiqués ou dans le système digestif des personnes décédées.

Ainsi, pour le sublimé corrosif (dichlorure de mercure utilisé pour le traitement de la syphilis), Orfila décrit la réduction d'une solution par une lame de cuivre avec formation d'un dépôt caractéristique et d'une couleur bleue dans la solution, ainsi que la formation d'un précipité blanc floconneux en présence d'albumine, et le chauffage de ce précipité pour obtenir des globules de mercure métallique ; il démontre que ces techniques fonctionnent dans le lait, le bouillon, le thé, le vin, les sirops, les vomissements, les fluides biologiques.

Pour l'acide arsénieux (trioxyde d'arsenic), utilisé abondamment dans la mort aux rats, Orfila préconise la

précipitation par des solutions d'hydrosulfure qui donnent un précipité jaune doré suivie de la réduction de ce précipité en arsenic métallique par chauffage en présence de carbone ou de carbonate de potassium. « Cette méthode, précise-t-il, est très sensible et permet la détection dans des solutions diluées à 1/10 000, et c'est la seule qui fonctionne dans le thé, dans le café, dans la bile, le lait. » Orfila décrit aussi comment l'adapter pour détecter de l'arsenic dans les vomissements d'un empoisonné et le tractus gastro-intestinal d'un individu décédé, après prélèvement des organes et dissolution par l'acide nitrique. L'acide arsénieux peut aussi être récupéré sous forme d'arsénite de chaux par traitement par un carbonate alcalin, lequel, chauffé avec de l'acide borique, redonne de l'arsenic, méthode qu'Orfila recommande « lorsqu'on examine des cadavres restés longtemps sous terre et que l'acide est intimement uni avec la matière animale [...] En suivant ce procédé, l'auteur est parvenu à extraire l'arsenic métallique d'un huitième de grain d'acide qu'il avait mêlé à dessein avec les substances animales » [2].

Pour la détection d'antimoine (poudre aux mouches, tartre émétique, khôl...), trop souvent manié sans précaution par les « empiriques », Orfila recommande la solution alcoolique de noix de galle (précipité blanc jaune, abondant, caillébotté, se transformant en précipité rouge caractéristique par l'addition d'hydrosulfure d'ammoniac), et pour celle du vert de gris (vaisselle de cuivre oxydée), le chauffage en présence de sucre qui donne une « poudre verte » qu'il ne parvient pas à caractériser davantage.

À ces caractérisations chimiques, il joint pour chaque substance une série d'expériences pour mettre en évidence les effets physiologiques de l'empoisonnement chez l'animal et décrit les lésions caractéristiques observées lors des autopsies animales et humaines.

Dans les deux volumes du tome II traitant des poisons végétaux, Orfila constate que « la difficulté qu'il y a à distinguer par l'analyse chimique les diverses substances nous a

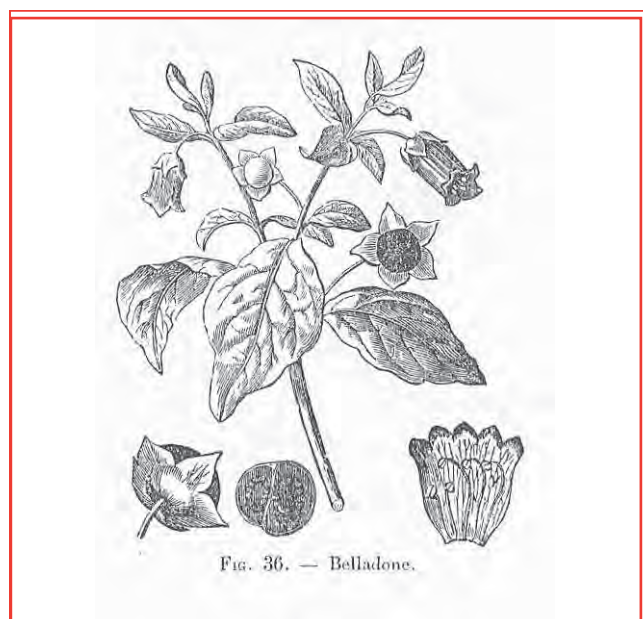
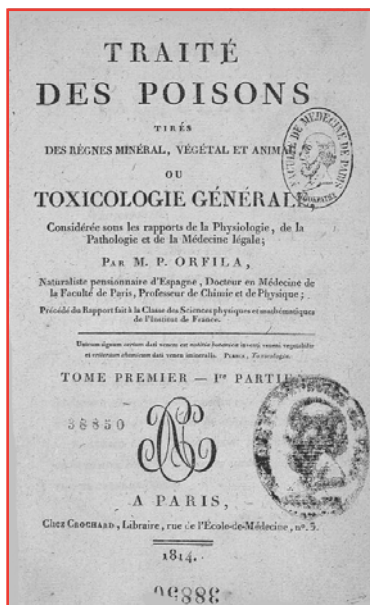
empêché de tracer, comme nous l'avons fait pour les poisons minéraux, la marche que le médecin légiste doit suivre pour les reconnaître. » Néanmoins, les effets des différents poisons (ellébore, euphorbe, opium, jusquiame, laitue vireuse, if, belladone, ciguë, noix vomique, ergot de seigle, datura, noix vomique, camphre, aconit, venins divers...) sont caractérisés soigneusement par plus de huit cent expériences. Orfila prend bien soin d'étudier leur action par voie orale, par injection veineuse et sur différents tissus cellulaires, et s'efforce de

déterminer si le poison est contenu dans les feuilles, les racines ou le suc des plantes et s'il peut en être extrait par l'eau ou par l'alcool. En passant, il mentionne – ce qui lui vaudra quelques inimitiés chez les pharmaciens – que les substances qu'il obtient à partir des plantes fraîches diffèrent par leur couleur et par leur activité de celles du commerce, dont il dit brièvement : « Il en est un très grand nombre qui ne jouissent d'aucune vertu, ce qui devrait attirer particulièrement l'attention des Professeurs chargés d'inspecter les pharmacies. » Lorsqu'il étudie l'action des poisons chez le chien, Orfila pratique la ligature de l'œsophage, de façon à mettre en évidence l'action de substances qui sont vomies immédiatement ; il montre ainsi la toxicité des émétiques à base d'antimoine, alors sous-évaluée.

La recherche d'antidotes constitue un aspect important de son œuvre. Selon la définition qu'il en donne, l'antidote doit : pouvoir être pris à grande dose sans aucun danger ; agir sur le poison à une température égale ou inférieure à celle du corps humain ; former avec celui-ci un composé peu ou moins toxique ; avoir une action prompte ; pouvoir réagir avec le poison au milieu des sucres gastriques, muqueux, bilieux ; et enfin, être un produit courant et disponible.

Sa méthode et ses expériences rigoureuses – étude de la réaction chimique, vérification de l'absence de toxicité de l'antidote et du produit formé, enfin expérience chez l'animal d'empoisonnement suivi d'administration de l'antidote – conduisent à une épuration drastique d'un corpus traditionnel extravagant, pittoresque et mal évalué. Ainsi, pour le sublimé corrosif, Orfila ne retient-il que l'albumine, ou le blanc d'œuf, avalée en quantité suffisante, et il montre également que le sucre permet de sauver des chiens intoxiqués par le vert de gris, ainsi que l'absorption de café concentré pour les opiacés.

Orfila consacre un chapitre à recenser les maladies pouvant donner des symptômes et des lésions similaires à l'action des poisons. Il condamne vigoureusement les médecins qui basent leurs expertises sur un vague rapport des symptômes, sur l'autopsie, ou sur la technique consistant à faire ingérer à un chien le liquide de l'estomac d'un personne morte supposée empoisonnée, dont il souligne qu'elle peut entraîner la mort du chien pour beaucoup de raisons, dont un reflux dans les poumons : « Combien de fois n'avons-nous pas été témoins, encore de nos jours, de procès de ce genre tout-à-fait scandaleux, où l'on voit des hommes portant le titre de docteurs dresser avec le plus grande ineptie des rapports extravagants, dans lesquels ils accusent de sang froid l'innocence la plus pure, et la traînent vers l'échafaud. Il suffit à ces hommes, soi-disant médecins, pour prononcer sur l'existence d'un empoisonnement, et même sur la nature particulière du



Vibert C., Précis de Toxicologie clinique & médico-légale, 2^e éd., Baillière & fils, 1907.

poison, d'apprendre, n'importe par quel vil malveillant, qu'un individu est mort subitement, qu'il a éprouvé des vomissements ou des déjections sanguinolentes, des coliques, etc., et qu'à l'ouverture du cadavre on trouve des lésions dans les différents organes. » [3].

Pour Orfila, nul doute : seule l'analyse chimique convenablement effectuée permettra d'abord d'éviter d'innombrables et horribles erreurs judiciaires ; puis, lorsqu'à partir de 1836, il utilisa l'appareil de Marsh modifié par lui pour permettre la détection d'arsenic sur de petites quantités de tissus [4], il annonce triomphalement : « Désormais le crime sera poursuivi avec succès jusque dans son dernier refuge » [5].

Succès et jalousies

Le traité d'Orfila fut l'objet d'un rapport très favorable de l'Institut signé par Percy, Pinel et Cuvier. Il connut un succès considérable, fut rapidement traduit en anglais, espagnol, italien et allemand, devint pour quarante ans le manuel de toxicologie de référence et fit la fortune de son auteur [6]. Un opuscule tiré du traité – *Traitements à donner aux personnes empoisonnées et asphyxiées* [7] – destiné aux maires, curés, directeurs d'établissements divers et familles afin de leur permettre d'apporter « un secours immédiat aux malheureuses victimes » d'empoisonnement ou d'intoxication connut un succès mondial encore plus considérable, dans tous les pays européens et jusque dans les campagnes américaines. L'horreur, la phobie de l'empoisonnement régnaient dans toute l'Europe, donnant lieu à des procès spectaculaires. L'arsenic, « roi des poisons et poison des rois », difficile à détecter, était souvent en cause, et en France, les ordonnances royales de 1682 prises après l'Affaire des poisons [8] et réservant aux apothicaires la délivrance des poisons n'empêchaient pas que l'on puisse trouver partout et en abondance des produits arséniés utilisés comme insecticides, raticides, pour le traitement des cuirs, etc.

La publication de ses ouvrages apporte à Orfila l'aisance matérielle, la reconnaissance universitaire et la célébrité. En 1818, il est naturalisé français. En 1819, il est nommé professeur de médecine légale à la Faculté de médecine de Paris (après la dissolution de l'ancienne Faculté par le pouvoir royal pour cause d'émeutes étudiantes récurrentes), puis professeur de chimie médicale (1823) et devient doyen en 1831. Il est également élu à l'Académie de médecine en 1820 ; à trente-trois ans, il en est le plus jeune membre. Son mariage avec la fille du célèbre sculpteur Lesueur lui ouvre les portes des salons de l'aristocratie dont il anime les soirées par ses performances musicales – il chante l'opéra italien à perfection, quasiment en professionnel. Ce côté mondain, qui le conduit à fréquenter assidûment les salons de Talleyrand et de la princesse de Vaudémont, Orfila le revendique et s'en sert. À son père, il écrit : « J'ai obtenu davantage de décisions avantageuses pour la Faculté, j'ai mené à bonne fin plus d'entreprises relatives aux études dans les salons que dans les bureaux des administrations. Cet aveu scandalisera peut-être ces hommes qui cherchent dans un maintien austère et l'ennui qu'ils infligent une sorte d'appoint à une réputation d'administrateur ou de savant » [9a]. Ceci dit, ses fréquentations salonniers lui permettent aussi d'obtenir du ministre de l'Intérieur qu'il recommande l'achat du *Traitement* par toutes les communes de France...

Les succès d'Orfila lui suscitent de puissantes jalousies, et pour commencer, des accusations de plagiat de la part de concurrents déçus (Antoine Porta, Hector Chaussier) – la vente d'ouvrages consacrés aux poisons est d'un bon

rapport –, des querelles d'antériorité (Couerbe) à propos de la découverte d'arsenic dans le corps humain à l'état normal, querelles qui cesseront lorsque Orfila invalidera ses propres résultats... Le pharmacien Cadet-Gassicourt critique l'entreprise rentable de vulgarisation d'Orfila, dénonçant les dangers de cette « *soi-disant médecine à la portée de tous, un véritable jeu de hasard où la mise de chacun est la santé* » [10]. Deux médecins toxicologues, Rognetta et Raspail, critiquent plus fondamentalement ses travaux, affirmant qu'« *il est probable que les laboratoires de la nature soient assez différents de celui d'Orfila* » et critiquant ses « *bouillons infernaux* » dans lesquels il dissout les cadavres (Rognetta) [11], ou mettant en cause des « *expériences de cabinet* » radicalement différentes de la médecine légale, où les composés ne sont pas des réactifs purs, mais des « *mélanges complexes organiques et minéraux* », et appelant à se méfier « *d'interprétations théoriques qui ne sont pas des preuves légales destinées à faire la différence entre la vie et la mort d'un accusé* » (Raspail) [9b].

En 1840, Mateu Orfila est au sommet de sa carrière et de la toxicologie mondiale ; il ajoute à ses fonctions scientifiques celle d'expert auprès des tribunaux. C'est alors que beaucoup de ce qu'il avait acquis par un travail acharné va lui être enlevé, et notamment suite à un procès célèbre dans la chronique judiciaire : l'affaire Lafarge.

L'affaire Lafarge – la chute d'Orfila

Orfila intervient en 1839 dans une première affaire judiciaire, l'affaire Mercier, un handicapé mental possiblement empoisonné par son père, et son expertise provoque déjà un vif débat avec Rognetta et Raspail [12]. Mais c'est l'affaire Lafarge, en janvier 1840, qui connaîtra le plus grand retentissement. Marie Lafarge, réputée cousine de Louis-Philippe, est accusée d'avoir empoisonné son mari Charles, propriétaire de tanneries. La presse républicaine accable « *une bâtarde orléaniste devenue empoisonneuse* », tandis qu'une partie de l'opinion, apitoyée par la jeunesse de l'accusée et son mariage malheureux, la défend.

Je ne vais pas entrer ici dans les détails du procès. À la suite d'expertises et de contre-expertises contradictoires, Orfila est appelé en urgence par l'accusation. Après une expertise effectuée en 24 heures, il dépose le 14 septembre devant une salle chauffée à blanc : « *Lafarge est mort empoisonné, je vais le démontrer [...] Je démontrerai qu'il existe de l'arsenic dans le corps de Lafarge, que cet arsenic ne provient pas des réactifs avec lesquels nous avons opéré, ni de la terre qui entourait le cercueil [...] enfin je ferai voir qu'il n'est pas impossible d'expliquer la diversité des résultats et des opinions dans les expertises [antérieures]* » [13]. En digérant la partie solide des organes négligée par les experts de Limoges par une solution de nitrate de potassium, Orfila affirme avoir caractérisé sans doute aucune quantité importante du poison. Répondant à une objection déjà élevée par Raspail lors de précédents procès, il vérifie par l'analyse du linceul et de la terre entourant le cercueil que le cadavre n'a pu être contaminé après l'enterrement. Marie Lafarge est condamnée aux travaux forcés à perpétuité.

Raspail, appelé par la défense, est arrivé trop tard, mais, dans la foulée, il publie un *Mémoire* [13] soutenant le pourvoi en cassation de Mme Lafarge, qui fait partie de l'histoire de la médecine légale et endommagea gravement la réputation d'Orfila. Il critique d'abord les conditions de conservation des pièces du procès : absence de scellés, de surveillance, d'étiquetage – elles n'auraient jamais dû être utilisées. Surtout, la



Le procès de Marie Lafarge, *McClure's Magazine*, nov. 1911-avril 1912, 38.

seule expérience qui a permis de détecter de l'arsenic en quantité a été faite avec du nitrate de potassium apporté de Paris par Orfila, et c'est aussi le seul réactif pour lequel une éventuelle contamination par l'arsenic n'a pas été vérifiée (« *le seul garant de la pureté de ce réactif est Orfila lui-même* »). Raspail rappelle qu'Orfila avait détecté de l'arsenic dans deux cent bouillons issus des restaurants parisiens avant, devant le scepticisme de ses collègues, de se rétracter : l'arsenic provenait d'un acide sulfurique impur utilisé pour générer l'hydrogène dans l'appareil de Marsh.

Enfin, Raspail attaque Orfila en tant qu'autorité scientifique officielle, et pour sa désinvolture. Orfila arrive à Tulle avec deux assistants qui n'étaient pas ceux mandés par le tribunal, qui ne participent à aucune manipulation, n'émettent aucune critique. Son expertise détruit tous les prélèvements disponibles. Les experts de province qui ne voient pas les mêmes taches d'arsenic qu'Orfila sont « *intimidés par une autorité toute-puissante de la capitale.* » Raspail affirme qu'après sa déposition, « *Orfila se reprochait assez haut d'avoir été trop affirmatif.* » De fait, dans son rapport écrit le lendemain, « *Lafarge est mort empoisonné, je vais le démontrer* » est devenu « *Il existe de l'arsenic dans le corps de Lafarge.* »

Raspail et la défense perdent sur le terrain judiciaire, mais l'emportent dans l'opinion publique. En 1843, Orfila décide de ne plus exercer de fonction d'expert judiciaire. En 1848, trop lié à la Restauration, ses cours font l'objet de violents chahuts et il est destitué par le gouvernement provisoire, où Raspail est influent... Révoqué de ses fonctions de doyen, objet d'une enquête pour détournement de fonds, puis innocenté, Orfila meurt, assez isolé, en 1853.

Doyen pendant dix-sept ans de la Faculté de médecine de Paris, il a introduit des réformes qui marquent encore notre enseignement : le baccalauréat à l'entrée, des cours de chimie sanctionnés par un examen en première année, la présence des étudiants aux consultations hospitalières. Il a sans conteste été un grand chimiste et un grand doyen, mais il s'est déconsidéré comme expert. L'affaire Lafarge et la polémique entre Orfila et Raspail ne peuvent qu'inciter à une réflexion sur l'expertise, le rôle de l'autorité scientifique, de la contradiction et du débat. L'expert doit posséder une certaine humilité et une extrême prudence, difficiles à accorder avec une autorité scientifique bien établie et reconnue ; il doit savoir faire face à une demande de certitude exprimée par la société à partir de la connaissance scientifique, et doit souvent savoir résister à cette demande, ne pouvant parfois que renvoyer à une incertitude plus argumentée, laissant au final à la société ou à ses institutions la décision mieux étayée d'un choix qui leur appartient.

Alors oui, s'il est un nom que les nombreux fans des séries télévisées de médecine légale devraient connaître, c'est celui de Mateu Orfila.

Notes et références

- [1] Orfila M., *Traité des poisons tirés des règnes minéral, végétal et animal, ou toxicologie générale, considérée sous les rapports de la physiologie, de la pathologie et de la médecine légale*, Crochard, Paris, 1814 (www.bium.univ-paris5.fr/histmed/medica/cote?38850x01x01).
- [2] Orfila M., *Traité des poisons*, Crochard, 1814, Vol. 1, 1^{ère} partie, p. 165.
- [3] Orfila M., *Traité des poisons*, Crochard, 1815, Vol. 2, 2^e partie, p. 267.
- [4] L'appareil de Marsh détecte l'acide arsénieux par la réduction par l'hydrogène en trihydrure volatil, lui-même décomposé par chauffage en arsenic métallique recueilli sur des soucoupes de porcelaine.
- [5] Orfila M., *Traité de Médecine Légale*, Béchet, Paris, 1836 (3^e éd.), t. 3, p. 774.
- [6] L'ensemble des ouvrages d'Orfila et leurs traductions ont été recensés par Bertomeu Sánchez J.R., *Livres et brochures de Mateu Orfila i Rotger* (medic@www.bium.univ-paris5.fr/histmed/medica/orfila.htm).
- [7] Orfila M., *Secours à donner aux personnes empoisonnées et asphyxiées*, Béchet, Paris, 1821.
- [8] Affaires Brinvilliers, puis Voisin, entre 1679 et 1682, qui mirent en cause de hautes personnalités de la Cour de Louis XIV.
- [9] Bertomeu Sánchez J.R., Popularizing Controversial Science: A Popular Treatise on Poisons by Mateu Orfila, *Med. Hist.*, 2009, 53, a) p. 356 ; b) p. 368.
- [10] Cadet-Gassicourt F., *Premiers secours avant l'arrivée du médecin*, Labé, Paris, 1845, p. 8.
- [11] Rognetta F., *Nouvelle méthode de traitement de l'empoisonnement par l'arsenic, et documents médico-légaux sur cet empoisonnement*, Gardenbas, Paris, 1840, p. 26.
- [12] L'affaire Mercier est largement traitée dans l'ouvrage de Rognetta cité en réf. [11]. Véritable pamphlet contre Orfila, il commence par la dédicace suivante : « *À M. Orfila, témoignage de l'invariabilité de mes sentiments* »...
- [13] Raspail F.X., *Mémoire à consulter à l'appui du pouvoir en cassation de Marie Cappelle*, Bureau de la Gazette des hôpitaux, Paris, 1840, p. 31.

Bibliographie

- La bibliothèque en ligne [medic@](mailto:medic@www.bium.univ-paris5.fr/histmed/medica/orfila.htm) a consacré un site à Orfila (Chimiste, médecin et criminologue : le Doyen Orfila (1787-1853), www.bium.univ-paris5.fr/histmed/medica/orfila.htm), où l'on trouve notamment, établis par José Ramón Bertomeu Sánchez, les précieux *Cent travaux autour de la vie et de l'œuvre d'Orfila ; bibliographie sur Mateu Orfila i Rotger, Livres et brochures de Mateu Orfila i Rotger ; Mateu Orfila i Rotger : repères chronologiques*. Les ouvrages suivants, dans les éditions indiquées, sont notamment téléchargeables soit sur medic@, soit sur gallica.
- Orfila M., *Traité des poisons tirés des règnes minéral, végétal et animal ou toxicologie générale*, Crochard, Paris, Vol. I, 1814 ; Vol. II, 1815.
- Orfila M., *Traité de Médecine Légale Troisième édition, revue, corrigée, et augmentée suivie du Traité des exhumations juridiques*, Béchet jeune, Paris, 1836.
- Orfila M., *Secours à donner aux personnes empoisonnées et asphyxiées; suivis des moyens propres à reconnaître les poisons et les vins frelatés, et à distinguer la mort réelle de la mort apparente. 2nd édition revue, corrigée et augmentée*, Béchet jeune, Paris, 1821.
- Orfila M., *Éléments de chimie, appliquée à la médecine et aux arts*, J.-B. Baillière, Paris, 1828, Vol. I.

Autres publications consultées :

- Bertomeu Sánchez J.R., Popularizing Controversial Science: A Popular Treatise on Poisons by Mateu Orfila, *Med. Hist.*, **2009**, 53, p. 351.
- Bertomeu Sánchez J.R., *Mateu Orfila i Rotger (1787-1853) : repères chronologiques* (www.bium.univ-paris5.fr/histmed/medica/orfila/orfila02.htm).
- Bertomeu Sánchez J.R., *Livres et brochures de Mateu Orfila i Rotger* (www.bium.univ-paris5.fr/histmed/medica/orfila/orfila03.htm).
- Camorel F., *Traquer l'invisible, Orfila et le teste de Marsh*, Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris, **2006**.
- Guitard E.-H., La controverse Orfila-Raspail, *Bull. Soc. Hist. Pharm.*, **1927**, 15, p. 435.
- Plantadis J., Les pharmaciens de Tulle et l'affaire Lafarge, *Bull. Soc. Hist. Pharm.*, 9^e année, **1921**, 31, p. 1.
- Raspail F.X., *Mémoire à consulter à l'appui du pouvoir en cassation de Marie Cappelle*, Bureau de la Gazette des hôpitaux, Paris, **1840**.
- Rognetta, F., *Nouvelle méthode de traitement de l'empoisonnement par l'arsenic, et documents médico-légaux sur cet empoisonnement*, Gardenbas, Paris, **1840**.



Éric Sartori

est chercheur en chimie thérapeutique (Galapagos). Il est l'auteur d'ouvrages d'histoire des sciences : *Histoire des grands scientifiques français* (Plon, 1999/Tempus, 2012) ; *L'Empire des Sciences, Napoléon et ses savants* (Ellipse, 2003) ; *Histoire des femmes scientifiques de l'Antiquité au XX^e siècle* (Plon, 2006) ; *Le socialisme d'Auguste Comte, aimer, penser, agir au XXI^e siècle* (L'Harmattan, 2012).

Courriel : sartori.eric@wanadoo.fr

Collection L'Actualité Chimique-Livres



Janvier 2014 - 272 p. - 24 €



Sept. 2013 - 274 p. - 24 €



Octobre 2012 - 300 p. - 24 €



Octobre 2011 - 292 p. - 24 €



Janvier 2011 - 264 p. - 24 €



Octobre 2010 - 292 p. - 24 €



Juin 2010 - 244 p. - 24 €



Janvier 2010 - 182 p. - 19 €



Août 2009 - 208 p. - 24 €

Commandez-les sur edition-sciences.com

Les Médailles 2014 du CNRS

Médailles d'argent



• **Jean-François Carpentier**, un des chimistes français reconnus internationalement dans le domaine de la catalyse organométallique. Durant

toute sa carrière, commencée à Lille comme chargé de recherche au CNRS puis poursuivie à Rennes comme professeur des universités, il a œuvré pour la mise au point et la compréhension d'un large spectre de systèmes catalytiques. Avec son équipe, il a développé pour son domaine de prédilection, la catalyse de polymérisation, des systèmes originaux et très efficaces parmi lesquels des catalyseurs à base de terres rares parfaitement stéréosélectifs (iso ou syndio)sélectifs vis-à-vis des styréniques, une famille de catalyseurs parmi les plus efficaces à ce jour pour la ROP hétérosélective des lactides, les premiers catalyseurs neutres et cationiques à base d'alcalino-terreux lourds. Ces recherches s'inscrivent dans de grandes problématiques sociétales comme celle du développement de matériaux biosourcés, tout en apportant des contributions reconnues et innovantes sur le plan fondamental en proposant, par exemple, la prise en compte d'interactions électroniques pour expliquer les mécanismes de contrôle de certaines stéréosélectivités.

Son expertise est reconnue dans le monde industriel auprès duquel il est consultant. Avec une carrière d'enseignant très complète, conciliant recherche, enseignement et management de la recherche, Jean-François Carpentier affiche un beau parcours.



• **David Quéré**, directeur de recherche (équipe Compagnie des interfaces, PMMH ESPCI et Ladhyx Polytechnique), pour ses travaux sur la capillarité et le mouillage.

Les mots-clés caractérisant le mieux ses activités sont « hydrodynamique et interfaces », mais ils ne rendent cependant pas totalement compte de la diversité, de l'originalité, de l'élégance de ses recherches et leur impact dans la communauté scientifique internationale. En France comme à l'étranger, ses travaux et sa démarche ont donné lieu à une véritable « école de pensée » (un grand nombre de ses anciens étudiants

sont aujourd'hui de brillants chercheurs) dont le bref aperçu qui suit rendra sans doute mieux compte.

Ses recherches se sont portées sur l'étude du dépôt de films liquides (un enjeu industriel majeur), sur la super hydrophobicité ou mouillage nul (effet « lotus ») pour des applications dans les surfaces autonettoyantes et anti-adhésives, les traitements anti-fouling, les vêtements déperlants, etc. David Quéré s'est également intéressé à de nombreux autres aspects de la science des interfaces qui vont du flambage de filaments visqueux au séchage de colloïdes, en passant par les gouttes filantes ou auto-propulsées. Ses travaux récents portent sur le transport de gouttes sur des surfaces asymétriques ou dans des capillaires coniques, pour des applications potentielles dans les domaines du transport de réactifs ou de la microfluidique.

Ses nombreuses collaborations avec les plus grands noms de l'industrie (Saint-Gobain, L'Oréal, BASF, Essilor, Tefal, Procter & Gamble, Nikon, Rhône-Poulenc/Rhodia et Lafarge) témoignent de la diversité, de l'attractivité et du caractère novateur et concret de ses travaux.

Médailles de bronze



• **Géraldine Dantelle**, chargée de recherche dans le groupe Chimie du solide du Laboratoire de Physique de la Matière Condensée (LPMC, UMR 7643

CNRS, École Polytechnique, Palaiseau), pour ses travaux sur l'élaboration de nanoparticules et de films luminescents par voie « chimie douce », ainsi que pour ses études sur la relation entre la microstructure des matériaux et leurs propriétés optiques. Elle a ainsi participé au développement de voies de synthèses originales, modifiant la structure des nanoparticules afin d'en améliorer les propriétés optiques, et à la mise au point de techniques permettant de rendre des films plus brillants. Le champ d'applications des particules ou des couches luminescentes couvre la possibilité d'imager des systèmes biologiques (cellule), l'utilisation pour les sources lumineuses blanches à base de LED, des éléments pour le photovoltaïque ou l'éclairage. L'équilibre avec l'aspect fondamental de son activité de recherche est assuré par l'étude des phénomènes de dopage et de la propagation de la lumière dans des milieux diélectriques.



• **Jalal Ghilane**, chargé de recherche à l'ITODYS (Unité Interfaces, traitements, organisation et dynamique des systèmes, Université Paris

Diderot), pour ses multiples recherches autour de l'électrochimie et la nano-électrochimie comme outil de modification de surfaces et de modulations de grandeurs physico-chimiques. Il a ainsi obtenu des résultats significatifs dans le greffage de molécules organiques sur différentes surfaces par électrochimie, dans l'électrochimie des liquides ioniques redox, la fabrication et la commutation de contacts atomiques et de jonctions moléculaires par microscopie électrochimique à balayage SECM. Ses recherches, essentiellement fondamentales, ouvrent des perspectives dans les domaines de la catalyse, du stockage de l'énergie, de l'électronique plastique. Ses travaux sur les contacts atomiques dans lesquels il a mis en évidence une conductance à un seul atome s'inscrivent dans un contexte international où ces systèmes sont proposés comme briques de base d'une nouvelle génération de mémoires électroniques.

Il a reçu le prix de la division Chimie physique commune à la SCF et à la SFP en 2006*.

* Ghilane J., Simonet J., Hapiot P., D'un platine métallique vers un platine négatif : suivi par microscopie à champ proche de la transformation cathodique du platine, *L'Act. Chim.*, 2009, 332, p. 24.



• **Renaud Nicolaÿ**, maître de conférences au Laboratoire Matière Molle et Chimie de l'ESPCI-ParisTech, où il développe et met à profit sa parfaite maîtrise

des outils de la polymérisation radicalaire contrôlée et de la chimie supramoléculaire pour développer de nouveaux matériaux « intelligents » (systèmes thermo-épaississants, vitrimères, hybrides, auto-cicatrisants). Il poursuit en parallèle ses travaux sur le développement de nouvelles méthodologies de synthèse pour l'ingénierie macromoléculaire, et participe à plusieurs projets collaboratifs avec des partenaires académiques et industriels (projet européen Sassypol avec l'Université de Cambridge par ex.).

Ce jeune chercheur très prometteur, qui assure depuis 2013 le cours de chimie des polymères aux élèves de 3^e année de l'ESPCI-ParisTech, désire dans l'avenir développer des matériaux hybrides pour la purification et la synthèse

supportée, des polymères fonctionnels de type polythiol et étendre le concept de vitrimères à de nouvelles matrices polymères.



• **Yann Pellegrin**, chargé de recherche au CEISAM (Nantes, Unité « Chimie et interdisciplinarité : synthèse, analyse, modélisation »), pour ses travaux sur la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique (photosynthèse artificielle) et en énergie électrique (photovoltaïque). Ses thématiques de recherche se situent au meilleur niveau international, avec des résultats très originaux en particulier dans les domaines de la photosynthèse artificielle – synthèse de colorants originaux à base de complexes de Cu(I) et de systèmes moléculaires en vue de reproduire pour la première fois la fonction du schéma en Z de l'appareil photosynthétique naturel –, des colorants innovants et des nouveaux semi-conducteurs de type p pour cellules photovoltaïques à colorants de types n et p.

Ses travaux, qui incluent la synthèse, la caractérisation (spectroscopique, électrochimique...) et la fabrication des dispositifs photovoltaïques, démontrent son large spectre de compétences dans deux axes de recherche où il y a une très forte compétition internationale tant d'un point de vue académique qu'industriel du fait de l'impact socio-économique dans ce domaine.



• **Fabrice Pointillart**, chargé de recherche à l'Institut des Sciences Chimiques de Rennes, pour ses travaux sur l'élaboration de matériaux moléculaires multifonctionnels combinant la propriété de magnétisme à d'autres propriétés physico-chimiques telles que la conductivité électrique et la luminescence. Il étudie ainsi des systèmes uniques présentant des propriétés magnétiques intéressantes (relaxation lente de l'aimantation), des propriétés de luminescences et des systèmes dans lesquels une corrélation magnéto-structurale peut être réalisée à partir de la coexistence des propriétés magnétiques et luminescentes. La structure et les niveaux d'énergie de ces matériaux sont rigoureusement déterminés et modélisés par une multitude de techniques de laboratoire ou sur des grands instruments (source de neutrons, synchrotron). Ces résultats lui ont permis en outre d'établir un bon

réseau de collaborations aux niveaux national (ENS et Université de Lyon) et international (Japon, Ukraine, Brésil, Italie) à travers différents programmes bilatéraux.



• **David Touboul**, chargé de recherche à l'Institut de Chimie des Substances Naturelles (ICSN, Gif-sur-Yvette), pour son activité de recherche dans le

domaine de la spectrométrie de masse avec deux axes majeurs : pour l'imagerie, le développement de nouvelles techniques de préparation d'échantillons afin d'augmenter la sensibilité de détection de composés biologiques, et en chimie structurale, le développement de nouvelles techniques de séparation (chromatographie en phase supercritique SFC) couplées à des méthodes d'ionisation originales (photoionisation à pression atmosphérique APPI) afin d'étudier la structure et quantifier des molécules d'intérêt biologique. Son travail, qui s'intéresse à tous les aspects de la spectrométrie de masse, des développements méthodologiques jusqu'à des applications d'intérêt biologique pertinentes, ont donné lieu à des contrats de partenariat avec les sociétés Applied Biosystems et Agilent Technologies.

Distinctions

Clément Sanchez, lauréat du premier Prix François Sommer 2014



Clément Sanchez, professeur à l'Université Pierre et Marie Curie (Paris), au Collège de France, membre de l'Institut, membre du Conseil d'administration de la Société Chimique de France, s'est vu remettre le 13 mars dernier le prix François Sommer Homme et Nature* dans les locaux de l'hôtel de Guénégaud. Ce prix biennal** récompense une œuvre novatrice et pluridisciplinaire dans les domaines des sciences physiques, des sciences de la vie et des sciences humaines, et de la création artistique, qui contribue au développement durable, à réconcilier l'Homme avec la Nature. Initié en 2012 et doté de 50 000 €, il était remis pour la première fois cette année. Clément Sanchez est récompensé pour son œuvre dont un des défis est

l'élaboration bio-inspirée de matériaux hybrides à structures hiérarchiques. Dans le monde vivant, la nature est souvent amenée à combiner des composantes organiques et minérales pour créer des nanocomposites très performants.

* www.fondationfrancoissommer.org/IMG/pdf/cp_clement_sanchez_laureat-2.pdf

** www.fondationfrancoissommer.org/IMG/pdf/cp_prix_francois_sommer_homme_et_nature-3.pdf

Recherche et développement

Rapport 2013 de l'EuChEMS

Le premier rapport annuel de l'European Association for Chemical and Molecular Sciences est en ligne. En plus de dresser le bilan des actions de l'association au cours de l'année passée et des projets en cours, il dresse la liste des contacts parmi les différents organismes qui le composent.

• www.euchems.eu/fileadmin/user_upload/Publications/EUCHEMS_Yearbook_2014_low_endgueltig.pdf

Industrie

Chimie française : léger rebond pour 2013, prudence pour 2014

D'après les données du Conseil européen de l'industrie chimique (CEFIC), l'activité de la chimie française en 2012 représentait 2,6 % des ventes de l'industrie chimie mondiale et la plaçait ainsi au sixième rang mondial, bien loin derrière la Chine (30,5 %) et les États-Unis (14,6 %). La chimie française se hisse toutefois au second rang en Europe, après l'Allemagne (5,2 %).

Lors de sa conférence de presse annuelle le 20 mars dernier, l'Union des Industries Chimiques (UIC), qui s'attendait en janvier à une hausse de 0,5 % des volumes pour 2013, a revu son estimation à la hausse et annoncé une croissance de 1,3 % (après un recul de 1,6 % en 2012), soutenue par les exportations vers l'Europe et l'innovation, alors que le reste de l'industrie manufacturière, hors énergie, reculait de 1 % dans le même temps.

Cette évolution est cependant contrastée suivant les secteurs : la chimie minérale s'est plutôt bien comportée (+ 3,9 %) grâce à une reprise de la production en cours d'année dans ses principales composantes (gaz industriels, produits inorganiques...), mais la chimie organique s'est repliée de 2,3 %, du fait notamment d'une baisse de ses marchés en aval (automobile,

bâtiment...). Les spécialités chimiques (peinture, vernis, adhésifs, explosifs, huiles essentielles, produits phytopharmaceutiques...) ont enregistré une légère hausse (+ 0,8 %) et le secteur des savons, parfums et produits d'entretien a repris sa dynamique de croissance (+ 4,3 %) après une légère baisse en 2012.

Dans un contexte de faible croissance économique, la part des investissements de croissance (développement de nouveaux produits, augmentation de la capacité de production) a diminué devant les dépenses pour la maintenance, la maîtrise des risques et la protection de l'environnement. Cependant, l'effort de R & D continue de se maintenir à un haut niveau (effort moyen de 9 % de la valeur ajoutée sur dix ans) pour que l'industrie chimique française reste un secteur d'innovation.

Pour 2014, l'UIC fait preuve de prudence en tablant sur une croissance identique à celle de 2013 (+ 1,3 %). « *En se fondant sur le début d'amélioration constatée fin 2013, on peut estimer une stabilisation, avec une meilleure répartition entre les différents secteurs* » a annoncé Philippe Goebel, le président de l'UIC. Mais selon lui, cette reprise repose sur un certain nombre de décisions concernant l'énergie, la fiscalité et la réglementation, afin de restaurer la compétitivité de l'industrie chimique en France. En effet, pour ce secteur qui emploie près de 158 000 personnes (emplois « directs ») et est le premier consommateur industriel d'électricité (20 % du total de l'industrie) et de gaz (38 %) dans l'Hexagone, la crainte est forte face à la concurrence de pays disposant d'un accès à l'énergie plus avantageux (gaz de schiste pour les États-Unis, allègements sur les électro-intensifs en Allemagne...). Pour Philippe Goebel, « *la question de l'accès compétitif à l'énergie est essentiel pour retrouver une croissance.* » Il demande donc au gouvernement de mettre en place un certain nombre de mesures :

- pour que la loi sur la transition énergétique garantisse l'accès à une énergie compétitive pour les industriels énergie-intensifs (et que les industriels du sud de la France ne paient pas leur gaz significativement plus cher que ceux du nord) ;
- pour ramener la fiscalité sur les facteurs de production à la moyenne européenne ;
- pour simplifier la réglementation (le nombre de textes ayant quadruplé en douze ans), et se retrouver au moins à égalité avec les concurrents européens.

* Pour en savoir plus : www.uic.fr/Actualites-et-publications/Actualites/Economie-statistiques/2013-leger-rebond-de-l-industrie-chimique-en-France

S. Bléneau-Serdel

Air Liquide accélère l'innovation

Le groupe a annoncé trois investissements en France (environ 100 millions d'euros) pour contribuer à accélérer l'innovation et explorer de nouveaux marchés. Le premier est la modernisation et l'agrandissement de son centre de R & D de Paris-Saclay (son principal centre de recherche dans le monde). Un bâtiment unique rassemblera les 350 chercheurs et les 46 laboratoires actuels et disposera de plateformes pilotes comprenant des équipements permettant de concevoir et de tester des technologies en grandeur nature. Il permettra à Air Liquide de renforcer sa stratégie d'« innovation ouverte » en s'appuyant sur les partenariats de recherche académiques et industriels avec des acteurs du pôle innovation de Paris-Saclay. Le groupe affirme ainsi sa présence au sein de cet écosystème qui comprend aujourd'hui 10 500 chercheurs et 48 000 étudiants et qui figurera d'ici 2020 parmi les dix principaux pôles d'innovation du monde. Par ailleurs, il va créer sur ce même site un centre de développement des packagings des gaz pour l'industrie et la santé – sécurité optimale, simplicité d'utilisation, traçabilité, nouveaux matériaux...

Enfin, dans la continuité des investissements réalisés par le groupe depuis plus d'un siècle dans la cryogénie, Air Liquide va créer son centre technique d'excellence pour les technologies de production cryogénique à Vitry-sur-Seine près de Paris. Placé au sein de l'activité Ingénierie & Construction, ce centre sera chargé de développer et d'industrialiser des technologies innovantes à forte valeur ajoutée pour la production d'oxygène.

• Source : Air Liquide, 14/03/14.

Sanofi s'allie à neuf laboratoires contre le diabète et Alzheimer

Dix grands laboratoires – dont les Américains Merck, Johnson & Johnson et Pfizer, le Français Sanofi, le Japonais Takeda et le Britannique GlaxoSmithKline – et l'Institut américain de la santé (NIH), première source de financement pour la recherche biomédicale dans le monde, ont annoncé qu'ils uniront leurs forces pour développer de nouveaux traitements contre le diabète, la maladie d'Alzheimer ou l'arthrite. Cette alliance inédite permettra la

mise en commun de leurs données, de leurs chercheurs et un investissement de près de 230 millions de dollars sur cinq ans, partagé à parts égales entre le NIH et les industriels, pour identifier des biomarqueurs importants afin de développer de nouvelles thérapies.

• Source : NIH, 04/02/14.

Pour en savoir plus :

www.nih.gov/science/amp/index.htm

Enseignement et formation

30^e Olympiades nationales de la chimie



30^e cérémonie de remise des prix.

© F. Guyomard/Ideé Fix photographie.

Voilà déjà trente ans qu'existe ce concours toujours innovant créé en 1984 afin de contrer la réduction de la part de la chimie dans les programmes d'enseignement et la désaffection des jeunes vers l'industrie chimique, de promouvoir la science et les formations scientifiques auprès des lycéens ! Élèves, professeurs, sponsors et industriels, représentants des institutions*... et aussi quelques anciens lauréats s'étaient réunis le 11 avril dernier à la Maison de la Chimie pour célébrer l'évènement dans la bonne humeur lors de la cérémonie de remise des prix. C'est Antoine Bergeot, lauréat 2013, qui a ouvert la cérémonie en venant témoigner : aujourd'hui en classe préparatoire PCSI au lycée Lakanal de Sceaux, les ONC lui ont permis de faire de belles rencontres et de préciser ses choix. En octobre dernier, il a été reçu avec Appoline Louvet (qui avait fini 2^e) sous la Coupole de l'Académie des sciences lors d'une séance solennelle, moment que vivront également les deux lauréats 2014.



Appoline Louvet et Antoine Bergeot, lauréats 2013, avec Bernard Meunier, vice-président de l'Académie des sciences, lors de la séance solennelle en octobre 2013.

Christophe Pellet-Laudamiel, lauréat de la deuxième édition en 1986 et médaillé de bronze des Olympiades internationales, est venu présenter son parcours. Ce sont les ONC qui ont donné envie de poursuivre en chimie, et de devenir « chimiste-parfumeur ». Cet artiste passionné vit désormais à New York où il dirige sa propre entreprise, Dreamair, spécialisée dans le « design olfactif ». « Grâce à la chimie, on a la possibilité de recréer des odeurs naturelles que l'on ne peut pas extraire comme celles du lilas, du muguet ou de... la mer. » Il se préoccupe aussi beaucoup de pédagogie. Un beau parcours qui pourrait susciter des vocations...

La cérémonie a été agrémentée de plusieurs films, illustrant le travail et les ressentis des candidats lors des différentes épreuves⁽¹⁾, ou montrant les applications de la chimie dans notre vie quotidienne, en particulier sur le thème de cette année, « La chimie et le sport ». Notons l'exercice de style de BASF : un vélocypède conçu avec des matériaux innovants⁽²⁾, ou comment les inventeurs se seraient servi des connaissances actuelles.



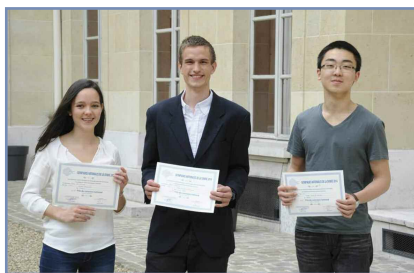
Les lauréats de « Parlons chimie » : Quentin Baumard et Jules Cachat.

© F. Guyomard/Ideé Fix photographie.



L'iChimie : un outil pour présenter la chimie et les entreprises régionales. © SCF.

L'épreuve « Parlons chimie », pilotée par André Gilles (UdPPC), a récompensé des projets ayant bien compris l'objectif du concours : une communication en chimie adaptée à un public ciblé. Le premier prix a été attribué à **Quentin Baumard et Jules Cachat** du lycée Gustave Flaubert (La Marsa, Tunisie) pour « **Les algues : une des solutions pour les besoins futurs de l'humanité ? Exemples en Tunisie** », projet basé sur une ressource locale.



Le podium 2014 : Célia Escribe (3^e), Paul Fraux (1^{er}) et Hugo Cui (2^e).

© F. Guyomard/Ideé Fix photographie.

Le second prix a été attribué à **Maxence Colin et Alexandre Bodet** pour le projet réalisé avec leur camarade Tommy Sper « **Manger ou rouler, faut-il choisir ?** »⁽³⁾ : ils ont réussi à mobiliser les élèves de leur lycée pour organiser un tri sélectif à la cantine afin de fabriquer du biodiesel et à mener une campagne de communication très active. Une mention spéciale du jury a été donnée à l'« **iChimie (iPhone de la chimie)** »⁽⁴⁾, projet du lycée professionnel Blériot de Marignan, présenté par Émeline Durand et Benjamin Ducros.

Pour le **concours scientifique**, 2 048 élèves issus de 150 centres de préparation s'étaient lancés dans l'aventure... 43 candidats étaient sélectionnés pour les épreuves finales à Paris, tous ravis d'être déjà arrivés là. Le lauréat 2014 est **Paul Fraux** (lycée Pierre Paul Riquet, Saint-Orens, Acad. Toulouse), arrivé également premier à l'épreuve « manipulation ». Une famille de futurs chimistes ? Son frère Guillaume avait remporté le concours 2010... Paul est déjà motivé pour faire aussi bien que son frère aux Olympiades internationales et a invité tous les finalistes à participer à l'épreuve ! **Hugo Cui** (lycée Louis le Grand, Paris) arrive second (premier à l'épreuve de l'entretien collectif), suivi par **Célia Escribe** (lycée Stanislas, Paris).

Rendez-vous en 2015 sur le thème « Chimie, recyclage et valorisation » !

Séverine Bléneau-Serdel
et **Roselyne Messal**

* Académie des sciences, Arkema, BASF, Bayer, Belin/Pour la Science, Chimie ParisTech, CNRS, Dow, ENCPB, ExxonMobil, Fédération Gay-Lussac, Fondation de la Maison de la Chimie, Librairie du Cèdre, Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, PlasticsEurope, SCF, UdPPC, UIPP, UIC, Universciences, UPMC, Vuibert, et bien sûr *L'Actualité Chimique* qui a offert des abonnements aux lauréats et aux équipes pédagogiques comme chaque année !

(1) Palmarès complet, photos et films retraçant les deux jours d'épreuve : www.olympiades-chimie.fr

(2) www.youtube.com/watch?v=iDRqlwJIAI

(3) <http://manger-ou-rouler.e-monsite.com>

(4) <https://www.facebook.com/pages/Ichimie/485626318209078>

Science et société

L'expo cristaló !

Parmi toutes les animations proposées pour l'Année internationale de la cristallographie, le CNRS a conçu une exposition* qui vous propose de découvrir la cristallographie à travers de nombreux éléments de recherche issus des laboratoires français et provenant des thématiques liées à la physique, la chimie, la biologie, les sciences de la Terre et les mathématiques.

L'exposition itinérante composée de quatorze panneaux aborde trois thèmes : explorer l'organisation de la matière, élaborer des cristaux sur mesure, dompter les propriétés des cristaux. À découvrir et à faire partager aux plus jeunes en attendant le numéro spécial que consacrera *L'Actualité Chimique* à ce domaine cet été !

* visible en ligne sur :

www.cnrs.fr/cristallo/spip.php?article123

L'exposition et sa version imprimable sont disponibles sur demande (cristallo2014@cnrs.fr).

Génération C



Dans le cadre de sa campagne « Venez refaire le monde » lancée en 2013, les Métiers de la chimie lancent une vidéo d'animation* pour faire connaître aux jeunes chimistes et chimistes en devenir les applications au quotidien de cette industrie qui recrute. L'objectif est de leur montrer que la chimie a la particularité d'être à la fois une science et une industrie, qu'elle est au cœur de la plupart des grandes innovations du monde moderne et joue un rôle essentiel dans notre qualité de vie. En fournissant ses substances aux autres industries, l'industrie chimique nous habille, nous transporte, nous soigne, nous nourrit, nous loge, nous aide à communiquer... Comme l'air que nous respirons, ses produits sont ancrés dans notre vie... à tel point que, souvent, nous n'avons plus conscience de leur présence. Imaginez un monde sans chimie... et presque tout disparaît autour de vous !

* www.lesmetiersdelachimie.com/Generation-C

Livres



Dictionnaire de chimie Une approche étymologique et historique

P. de Menten
400 p., 34 €
De Boeck, 2013

Ce livre est un incomparable recueil d'informations, en même temps qu'un réel plaisir de lecture pour les chimistes et pour tous ceux qui s'intéressent à la chimie ou à son histoire. C'est aussi un ouvrage original du point de vue lexicographique, qui intéressera plus particulièrement les enseignants en chimie et leurs étudiants.

Ce dictionnaire thématique comporte un peu plus de 1 500 entrées portant sur l'ensemble du vocabulaire de la chimie : surtout des noms de produits chimiques, mais aussi des noms d'appareillages, de concepts comme *oxydation* ou *saponification*, et même de visions plus globales, jusqu'à des entrées aussi larges que *alchimie*, *chimie* ou *industrie chimique*. Or, si les dictionnaires généralistes sont maintenant concurrencés par les informations disponibles en un clic sur Internet, un ouvrage comme celui-ci, bien construit autour d'un thème, s'avère en revanche extrêmement utile, voire indispensable, à consulter et à feuilleter, pour le public concerné.

En effet, ce dictionnaire est aussi étymologique et historique, c'est-à-dire qu'il ne donne pas seulement des définitions, mais, lorsque c'est pertinent, des descriptions, nécessairement succinctes, du contexte passé et présent de la notion ou du produit considéré. Les éléments étymologiques, comme les dates d'attestation des mots par exemple, renvoient à des références bibliographiques rassemblées dans un complément (de 208 pages) disponible en ligne sur le site de l'éditeur : un moyen astucieux de limiter le volume du livre. C'est donc un dictionnaire encyclopédique, qui comporte d'ailleurs de précieux tableaux synoptiques relatifs aux chimistes et à la chimie au cours des âges.

Avec en outre la traduction du mot en anglais et en allemand à la fin de chaque rubrique, l'ouvrage présente tout un éclairage linguistique, historique

et scientifique du vocabulaire de la chimie.

Une autre originalité : un certain nombre d'entrées sont réservées au vocabulaire ancien de l'alchimie, de *alambic* à *vif-argent* ou *vitriol* par exemple. Cela accentue le caractère historique du livre, illustré principalement par des images d'appareillages anciens qui lui donnent un peu un air de cabinet de curiosités. Enfin, c'est peut-être aussi une sorte de « dictionnaire amoureux » de la chimie que nous propose l'auteur, qui retient quelques entrées inattendues comme *loi*, *publication*, *théorie* et même *zéro*, dont la portée dépasse très largement le domaine de la chimie.

Pierre Avenas



De l'électron à la réaction Entre forme et déformation

J. Joubert
152 p., 29 €
De Boeck, 2013

Je ne saurais trop recommander ce livre de Jérôme Joubert, et ce pour deux raisons. D'abord il traite des thèmes classiques (la liaison chimique et la réactivité) sous une approche nouvelle, très pédagogique, non mathématisée, dans une langue claire et simple. Tout (ou presque) y est dit efficacement en sept chapitres : Les postulats de la physique quantique ; Forme et probabilité ; Les électrons dans l'atome ; Les électrons dans les molécules ; Les électrons dans les interactions à distance ; Les électrons et la lumière ; Les électrons dans les réactions. L'ouvrage est de plus riche de nombreuses illustrations esthétiques et parlantes. Ces schémas montrent à quel point l'outil informatique peut aider à la compréhension, à l'interprétation et à l'enseignement tant des bases de l'approche quantique de la liaison chimique que dans l'aide à la compréhension, à l'interprétation, voire à la prévision des étapes d'un mécanisme réactionnel.

Un manque à signaler toutefois : simplement quelques pages où l'auteur, visiblement expert dans l'art du maniement des logiciels de modélisation moléculaire, nous expliquerait comment les calculs ont été faits et les images générées. Il y a en effet, pour obtenir ces données, à choisir le modèle en

fonction de ce que l'on veut montrer (choix quelquefois délicat), sans oublier les méthodes de minimisation d'énergie et d'optimisation.

Bref, si vous pensez tout savoir sur le sujet, ou si au contraire vous ignorez tout de l'électron en chimie, n'hésitez pas, achetez ce beau livre.

Xavier Bataille



Alerte aux micropolluants Pesticides, biocides, détergents, médicaments et autres substances chimiques dans l'environnement

N. Chèvre, S. Erkma
142 p., 12,80 €
Presses polytechniques et
universitaires romandes, 2011

Volontairement ou non, nos activités quotidiennes entraînent la diffusion de multiples substances chimiques d'origine humaine qui se retrouvent dans notre environnement. Elles sont issues des produits qui nous paraissent aujourd'hui indispensables pour notre santé (médicaments), notre hygiène (cosmétiques, produits nettoyants et détergents), notre confort (revêtements décoratifs ou protecteurs) ou même notre alimentation, largement associée à l'utilisation de pesticides, herbicides et engrais divers. Plusieurs millions de substances chimiques d'origine industrielle seraient ainsi disséminées dans la nature où, malgré leur très faible concentration (de l'ordre du $\mu\text{g/L}$ ou du ng/L), elles peuvent entraîner des effets nocifs sur les êtres vivants.

Ce petit ouvrage écrit par une toxicologue et un écologiste de l'Université de Lausanne rassemble l'état de nos connaissances sur ce problème en insistant sur les difficultés rencontrées pour l'évaluation du risque environnemental de ces produits, en particulier sur le long terme. Les problèmes spécifiques que posent les diverses catégories de micropolluants sont présentés et analysés en détail, ainsi que les risques qui leur sont associés vis-à-vis de l'environnement, la faune et la santé humaine.

Des réglementations se mettent en place progressivement dans divers pays, mais on reste freiné par le manque d'outils rapides et fiables pour évaluer les risques de façon certaine. Par ailleurs, des situations variables selon les pays

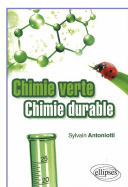
au plan de la réglementation posent aussi questions.

Une telle situation amène les auteurs à lancer un appel pressant aux milieux politiques, au grand public et même à la communauté scientifique qui, selon eux, n'ont pas encore pris conscience de la « véritable bombe à retardement à l'échelle planétaire » que constitue aujourd'hui l'empoisonnement de la biosphère par les micropolluants.

Nous ne saurions que recommander la lecture de cet ouvrage bien documenté qui nous a paru exposer très clairement toutes les problématiques engendrées par les contaminations par micropolluants et bien analyser leurs répercussions réelles ou potentielles sur notre vie. De nombreux exemples très concrets illustrent les divers points évoqués et participent à la sensibilisation du lecteur, en absence de toute polémique. Nous soulignerons également la qualité du style et une écriture où les termes techniques réservés aux initiés sont soigneusement évités ou explicités dans un glossaire accessible à la fin de l'ouvrage. La lecture est ainsi facilitée et ouverte à un large public, concerné de près ou de loin par ce sujet très actuel.

Jean-Claude Daniel

Le lecteur est invité à lire l'analyse plus développée de cet ouvrage sur notre site Internet (page liée au sommaire de ce numéro).



Chimie verte, chimie durable

S. Antonioti
190 p., 21 €
Ellipses, 2013

Cet ouvrage s'inscrit dans l'évolution actuelle de la chimie qui s'appuie sur le concept de développement durable et la « green chemistry », comme l'auteur le précise d'ailleurs dans son introduction. Il complète aussi ces propos par une description de la vraie « chimie verte », qui n'est pas la simple utilisation des ressources végétales mais fait appel aux douze principes définis par John Warner et Paul Anastas.

Ces douze principes vont servir de base, et de plan, pour la rédaction du livre, après qu'un certain nombre de concepts et définitions aient été rappelés dans un premier chapitre où l'on trouve aussi une courte histoire de la chimie, les domaines d'application de cette science, et la justification de la

démarche « durable » par l'examen des problématiques liées à l'environnement. C'est dans ce chapitre que les douze principes sont présentés avec, pour chacun d'entre eux, une courte explication très pédagogique. Enfin, pour compléter la démarche, les industriels sont invités à suivre les douze principes de l'ingénierie chimique qui se révèlent mieux adaptés aux problèmes industriels.

La déclinaison de tous ces principes fait l'objet de la suite de l'ouvrage. L'auteur fait, à ce propos, une très large place à tous les aspects de la catalyse : catalyse métallique et organométallique, biocatalyse et technologies propres. On trouve ainsi près de 50 % des pages consacrés à ces disciplines ! Il est vrai qu'elles sont primordiales, surtout pour l'industrie, et que cette partie est excellente tant par sa présentation des problèmes et des solutions que par le grand nombre d'exemples avec lesquels le Docteur Antonioti a illustré ces chapitres. Cette façon de rédiger et d'illustrer sera d'un grand secours aux enseignants et devrait les aider à présenter agréablement et efficacement la chimie verte auprès des étudiants. Ceux-ci pourront disposer ainsi des meilleurs éléments pour accepter la démarche nouvelle des chimistes.

On comprend les choix de l'auteur quand on sait que celui-ci est un bon spécialiste de la catalyse et de la biocatalyse ! On comprend moins bien que, lorsqu'il évoque la réaction de métathèse, on ne trouve le nom d'Yves Chauvin qu'accolé à ceux de ses deux co-lauréats du Nobel de chimie 2005 (et non 2004 comme il est indiqué). On comprend encore moins que l'on ne retrouve aucune citation de ses travaux dans les références bibliographiques ! Pire, le mécanisme de la réaction, dont on sait qu'il est dû, pour sa partie principale, aux travaux et à la volonté de convaincre d'Yves Chauvin, semble être attribué à Banks et Bailey. Enfin, il aurait été bon de parler ici des deux applications industrielles dont notre 8^e prix Nobel a été à l'origine : les procédés Alkylol et Dimersol, procédés qui illustrent très bien l'intérêt appliqué de la métathèse.

Pardonnez à l'auteur de ces lignes cette critique un peu vive, mais elle correspond, malheureusement, à une attitude bien française, où tout ce qui vient d'ailleurs est certainement meilleur, et qui nous a fait perdre d'autres prix Nobel ! Revenons à l'analyse proprement dite de l'ouvrage. Un autre reproche concerne la place de la photochimie

dans le chapitre « Biocatalyse et technologies propres » : la photochimie, en général, n'est pas un exemple de catalyse ! La photocatalyse est une spécialité qui aurait mérité d'être précisée. Si l'auteur voulait illustrer d'autres procédés que ceux liés à l'activation thermique, il aurait alors fallu y ajouter au moins l'électrochimie.

Les milieux réactionnels (non usuels) sont ensuite évoqués. Là encore, ils auraient mérité un développement plus important, rétablissant un équilibre par rapport à la catalyse. Un seul exemple : alors que les réactions en milieu colloïdal ont été récompensées, il y a deux ou trois ans, par le prestigieux « Presidential Green Chemistry Award » de l'ACS, et que souvent on parle de « catalyse micellaire », seulement une page et demi leur sont dédiées.

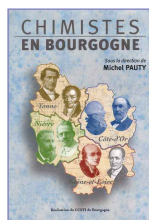
Un autre principe de la green chemistry, l'usage des matières premières renouvelables, fait l'objet du chapitre suivant ; bien présenté, il n'insiste cependant pas assez sur le rôle des sucres dans cette stratégie.

Enfin, un dernier chapitre rassemble tout ce qui reste comme principes ou concepts... ; il ne pouvait être question, bien sûr, de reprendre en quelques pages la totalité des compléments, les choix de l'auteur sont bons et, là encore, utiles aux enseignants.

L'ouvrage se termine par une conclusion et l'ouverture vers des perspectives pour une chimie du futur. Il aurait été préférable de reprendre l'analyse qu'Anastas a publiée au moment du 20^e anniversaire de la green chemistry où un bilan complet était présenté, ainsi que des « conseils » dont le plus important, d'après moi, est l'espoir de voir enseignés ces principes très largement et le plus tôt possible dans le cursus universitaire.

Au final, malgré les quelques critiques exprimées, le bilan est largement positif : on ne pouvait, dans un ouvrage simple et de petite taille, traiter de façon exhaustive des problèmes si complexes. L'auteur a fait des choix qui lui sont très personnels, mais qui se révèlent intéressants. Je recommande cet ouvrage aux enseignants désireux de suivre les conseils d'Anastas en introduisant la chimie verte dans leurs enseignements. Les étudiants, quant à eux, trouveront là, non seulement une illustration moderne des cours qu'ils reçoivent, mais encore une source de réflexions sur l'avenir d'une discipline que la prise en compte des problèmes environnementaux devrait rendre plus facilement acceptée par le grand public.

Isabelle Rico-Lattes



Chimistes en Bourgogne

M. Pauty (coord.)

154 p., 20 €

CCSIT de Bourgogne, 2011

Cet ouvrage, publié en 2011, Année internationale de la chimie, fait suite à celui réalisé en 2005 pour l'Année mondiale de la physique. Michel Pauty a dirigé la réalisation de ce livre dont les articles, regroupés en trois parties, ont été écrits par une quinzaine d'auteurs.

La première et la plus longue partie (122 p.), intitulée « Les chimistes en Bourgogne », est une biographie de divers chimistes, de Philippe Barbier à Edmond Voisenet, certains bien connus de tous comme Guyton de Morveau, d'autres plus connus des Bourguignons. Les auteurs n'ont pas uniquement cité les natifs de Bourgogne, mais aussi ceux qui, nés ailleurs, ont fait leurs études ou tout ou partie de leur carrière dans cette région. De même, l'ouvrage ne s'interdit pas de parler de pharmaciens, physiciens, biologistes. La biographie de chacun est suivie d'une liste des principales publications. Un index alphabétique ainsi qu'une liste par département permettent de retrouver aisément chaque biographie. Celles-ci comportent, après le nom de l'auteur, quelques mots définissant sa carrière : Philippe Barbier, 1848-1922, pionnier des organo-magnésiens ; Pierre Batilliat, 1788-1851, l'huile de pépins de raisin ; Louis-Jacques Thénard, 1777-1857, le bleu Thénard et l'eau oxygénée ; Paul Thénard (tiens, j'ignorais qu'il y en eut deux !), 1819-1884, étude chimique des sols, la lutte contre le phylloxéra avec le sulfure de carbone, etc., ce qui est très agréable. Pour que le nombre de pages demeure raisonnable, chaque biographie reste courte (1-3 p.), ce qui permet d'en avoir 70. La description s'arrête en 1957. La référence de physiciens célèbres cités uniquement dans l'ouvrage précédent, *Physiciens en Bourgogne*, explique l'absence de Madame du Chatelet ou de Floris Osmond par exemple.

Concernant la deuxième partie, bien plus courte (18 p.), « Les chimistes de l'Université de Bourgogne d'hier à

edp sciences

Pour tous les curieux
de la chimie
et de la mode !

Textiles,
parfums,
bijoux et Cie

La petite chimie
de la mode
de
Marie Curieuse

edp sciences

Écrit par Muriel Chiron-Charrier
12 €
978-2-7598-1068-0
176 pages

Marie Curieuse est de retour !!!
Depuis le temps qu'elle était en pyjama, elle s'habille (enfin !)
Oui, mais que choisir ? laine, coton, nylon, lin ? Pourquoi ne
sent-on pas notre parfum ? Diamant et charbon, quelle
différence ?
À la fois drôle et sérieux, historique et scientifique, ce livre
vous fera découvrir un nouveau monde fait de chimie, de
hasard, de génie...

Achetez-le dès maintenant sur
www.edition-sciences.com

aujourd'hui », je ne pourrais mieux en décrire l'objectif que M. Pauty lui-même dans son introduction : « *Nous avons voulu montrer que ce qui se passe aujourd'hui dans les laboratoires dijonnais de chimie était dans la continuité des recherches anciennes [.../.../] pour la période depuis la création de la Faculté des Sciences [de Dijon] rue Monge jusqu'à son départ sur le campus.* »

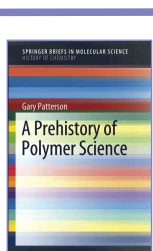
La troisième partie traite en seulement 7 pages des industries chimiques en Bourgogne.

Je ferais deux reproches mineurs à ce livre. Le premier, c'est qu'il est frustrant de ne pas pouvoir le lire de façon chronologique, mais de passer d'un savant né en 1832 à un autre de 1796 pour revenir à 1855, puis reculer jusqu'en 1744. Il serait plus logique d'avoir une approche historique, ce qui n'empêcherait pas de retrouver les noms dans un index alphabétique. Le second est que le lecteur sent un

peu trop que les articles ont été écrits par divers auteurs et la différence des styles est parfois gênante. Certes, il était difficile de bien homogénéiser les styles, mais il n'est pas toujours plaisant de passer d'un article dont la langue est fluide à un autre écrit de façon plus heurtée, de phrases longues à des phrases très brèves, chaque style ayant par ailleurs ses mérites propres.

On pourrait penser que cet ouvrage n'intéresse que les chimistes bourguignons ; mais en fait, il raconte de si intéressantes histoires de chimistes que sa lecture est passionnante et pourrait être recommandée aux professeurs de chimie des établissements secondaires de la région qui pourraient en user pour intéresser leurs élèves à la chimie, dans le droit fil de ce que furent les objectifs de l'Année internationale de la chimie.

Nicole Moreau



A prehistory of polymer science

G. Patterson

49 p., 52,70 €

Springer, 2012

Ce livre est le huitième de la série « Springer briefs in molecular science – History of chemistry », consacrée à l'histoire de la chimie*. L'auteur, professeur de chimie physique et de science des polymères à Carnegie Mellon University (Pittsburg) est très actif dans la division Histoire de la Société chimique américaine.

La science des polymères est une science jeune ; sa « préhistoire » commence dans la seconde partie du XVIII^e siècle et son histoire débute entre les années 1920-1935. Ainsi que le rappelle l'auteur dans son introduction, le domaine des polymères ne peut être couvert que par l'association de nombreuses communautés scientifiques, et cet ouvrage montre bien quelles furent les avancées scientifiques qui, au cours des années, ont permis de rentrer dans « l'ère des polymères », matériaux dont la croissance est maintenant supérieure à celle de leurs concurrents inorganiques.

Après une brève introduction, le chapitre 2 traite de ce que l'auteur nomme « *materia polymerica* », c'est-à-dire des matériaux d'origine naturelle dont les scientifiques disposaient aux XVIII^e et XIX^e siècles.

Le caoutchouc, qui fut présenté à l'Académie des sciences française par Charles Marie de la Condamine, de retour d'Amérique du Sud en 1736, est sans doute à l'origine des travaux sur les polymères. Très rapidement, on a cherché à le purifier, puis on a constaté qu'un film s'échauffait lorsqu'on l'étirait et, chose étonnante, que le produit étiré

maintenu sous contrainte tentait de reprendre sa forme initiale par chauffage. Faraday observa que le matériau au repos est isotrope, mais étiré, devient biréfringent. Joule étudia les propriétés mécaniques, et le lecteur voit la fiche technique du caoutchouc se préciser au fil des ans avec la cristallisation, les réticulations et, bien entendu, le développement d'applications : l'imperméabilisation des textiles par Mackintosh, les pneumatiques par Hayward et Goodyear. La saga se poursuit jusque dans les années 1920-1930, période durant laquelle Staudinger expérimentant sur le caoutchouc naturel et son produit d'hydrogénation conclut que le matériau n'était pas un colloïde mais une macromolécule, ce qui sera confirmé par les travaux de diffraction X sur le caoutchouc étiré.

Un autre extrait d'une sève, le storax, traité par distillation à la vapeur, libère un liquide baptisé styrol en 1839 par Simon, qui observe que ce liquide abandonné se transforme en un gel présentant la même composition C,H. Le même styrol chauffé dans des conditions contrôlées conduit à un bloc transparent. Berthelot, qui avait réussi une synthèse du styrène à partir du benzène et de l'éthylène, a étudié l'exothermicité de sa transformation en matériau solide. Il avait découvert le polystyrène, mais les connaissances de l'époque ne permettaient pas son identification.

Le phénol a été isolé en 1834 des goudrons de houille et Bayer a obtenu des condensats liquides avec le formol. C'est après des travaux fondamentaux sur les condensations en milieux acides et basiques que Baekeland a développé son procédé industriel de la bakélite ; cependant, les mécanismes de cette polycondensation ne commencèrent à être publiés qu'en 1926 et 1935.

La dernière partie de ce chapitre traite des polysaccharides et illustre les contributions françaises dans cette « préhistoire ». En 1811, Gay-Lussac et Thenard montraient que le sucre et l'amidon avaient la même composition en carbone, hydrogène et oxygène et les considéraient comme des hydrates de carbone.



Les produits chimiques au quotidien

Académie des technologies

94 p., 15 €

EDP Sciences, 2014

Alors que les produits chimiques font l'objet de débats passionnés, l'ambition de cette communication de l'Académie des technologies est d'aider le lecteur à se forger une opinion raisonnée sur ce thème. Ce petit livre décrit ce que nous devons aux produits chimiques, sans occulter les problèmes générés par certains d'entre eux en raison de leurs effets secondaires ou de leur persistance dans l'environnement.

En 1838, Payen isolait une substance du bois qu'il nomma cellulose et Frémy, en 1859, montra que la cellulose faisait partie du groupe des hydrates de carbone. Cependant, ce n'est qu'avec les travaux de Haworth, Meyer et Mark à la fin de la décennie 1920 que la nature polymère de ces structures a été reconnue. Le chapitre suivant est consacré au rôle joué par la Faraday Society dans la structuration des communautés de physiciens, chimistes et physico-chimistes vers une communauté de polyméristes. C'est en fait un compte rendu de sept colloques organisés par la société : en 1907 sur la pression osmotique, en 1913 sur les colloïdes et leur viscosité, en 1920 sur les colloïdes, en 1930 aussi sur les colloïdes, en 1932 sur les aspects colloïdaux des matériaux textiles, en 1934 sur les électrolytes colloïdes, et enfin en 1935, le « Cambridge meeting » sur la polymérisation et la polycondensation.

La lecture de ces pages montre bien l'évolution des techniques de caractérisation qui ont permis le passage de la notion de colloïde vers celle de macromolécule. En ce qui concerne le colloque de 1935, la liste des intervenants et les thèmes de leurs interventions sont impressionnants, et le lecteur peut considérer qu'il s'agit d'une réunion fondatrice de la science des polymères.

En conclusion, ce petit ouvrage, par cette double approche de l'histoire des polymères, l'une à partir des matériaux naturels, « objets non identifiés », et des longs efforts pour expliquer leurs propriétés, et l'autre basée sur l'évolution des disciplines permettant de faire naître la notion de macromolécule et de polymère, est un excellent outil que l'on peut proposer aux enseignants et aux étudiants de fin de maîtrise.

Bernard Sillion

*www.springer.com/series/10127

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

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



N° 963 (avril 2014)

- Ressources humaines, par V. Parbelle.
- Ces obscurs objets du ciel profond, par D. Laloum.
- Synthèse d'un complexe macrocyclique de nickel(II), par C. Mendes et F. Cisnetti.
- Histoire de la symétrie : le XX^e siècle, par J. Sivardière.
- Fiches « Un point sur » 15 et 16 (co-publication avec L'Act. Chim.).

Sommaires complets, résumés des articles et modalités d'achat sur www.udppc.asso.fr

Avez-vous renouvelé votre adhésion à la SCF ?

Dans le cadre de la mission « Augmenter le nombre d'adhérents à la SCF » confiée collectivement aux responsables des entités opérationnelles et coordonnée par Michel Che, chargé de mission, ce dernier a présenté en Conseil d'administration le 31 mars dernier les dispositions prises en alternance avec les relances électroniques bimensuelles. Après la création d'une affiche déclinée sous quatre versions – disponibles en ligne pour les adhérents (rubrique « Mon compte ») –, diffusée au sein des laboratoires, écoles doctorales, grandes écoles, etc., un message a été adressé à tous les responsables d'entités opérationnelles et aux membres des bureaux correspondants afin d'accentuer leur action sur le terrain. Cette action sera complétée par des contacts personnalisés visant à encourager l'extension de notre « Réseau des chimistes » par l'accroissement des adhésions des professionnels senior et junior, académiques comme industriels, des doctorants et des étudiants.

Membres distingués

Le Conseil d'administration (CA) du 31 mars dernier a confirmé le renouvellement de l'expérience entreprise en 2013 qui a conduit à l'établissement d'une première promotion de « Membres distingués » senior (26) et junior (19).

Rappelons qu'à la suite des discussions lors des séminaires SCF 2 et 3, il a été proposé que le CA attribue le titre de « Membre distingué senior » à une personne qui a fait preuve d'excellence dans le domaine de la chimie et a contribué à son expansion dans les domaines de la recherche, de l'enseignement, de l'industrie. Ce titre, qui est attribué après nomination par les entités opérationnelles, examen par le Bureau de la SCF et validation par le CA, concerne des adhérents âgés de plus de 45 ans. Le titre de « Membre distingué junior » sera également décerné, mais pour une durée de cinq ans, à des candidats de moins de 45 ans, qui doivent prouver avoir été le leader d'une entité de recherche indépendante pendant au moins trois ans et auteur d'un fait scientifique remarquable. Dans les deux cas, une participation notable aux activités de la SCF sera également considérée.

Assemblée générale ordinaire de la SCF

Rappelons que tout adhérent de la SCF, à jour de sa cotisation, est invité à participer à l'Assemblée générale qui se tiendra au siège social de la SCF (250 rue Saint-Jacques, Paris 5^e), le **lundi 23 juin (11-12 h)**.

Tous les documents – rapports statutaires et budget prévisionnel, fiche réponse et pouvoir avec enveloppe-réponse – vous parviendront au début du mois de juin.

5^e Congrès EuCheMS de chimie : bourses de voyage pour les jeunes sociétaires

Comme pour les éditions précédentes de cette manifestation biennale de la chimie européenne, la SCF propose aux jeunes adhérents – doctorants, post-doctorants et professionnels âgés de moins de 35 ans – des bourses de voyage d'un montant de 400 €. Un bonus de 50 € sera attribué à tout participant sélectionné sur dossier pour concourir à l'European Young Chemist Award dans les catégories jeune professionnel ou doctorant⁽¹⁾. Les modalités d'attribution des bourses et le formulaire de demande sont disponibles sur le site de la SCF⁽²⁾ et auprès des sections régionales. Le formulaire doit impérativement être transmis au président de la section régionale de rattachement **avant le 15 mai 2014**.

(1) www.eyca2014.org

(2) www.societechimiquedefrance.fr/fr/a-propos-de-l-euchems.html

Le Bureau de la SCF

Prix des divisions 2014

Enseignement-Formation

• Jacques Livage

Académicien, ancien président de la division Chimie du solide de la SCF, Jacques Livage a été professeur à l'Université Pierre et Marie Curie et professeur invité de

très nombreuses universités (Oxford, Trento, Mexico, Lausanne, Tokyo, Buenos Aires, Bangalore, Santiago, Uppsala, Tunis...).

Pionnier dans le domaine de la chimie douce, il a notamment développé des procédés sol-gel permettant d'obtenir des matériaux originaux inaccessibles par les voies classiques de la chimie inorganique. Ses travaux ont notamment pour but de copier les procédés de biominéralisation qui sont des processus naturels permettant d'obtenir des matériaux de type verre dans des conditions particulièrement douces par

rapport aux procédés classiques. Les applications industrielles d'une telle chimie sont considérables. À noter que pour le terme « chimie douce », créé en 1977, il a reçu en 2012 le « Mot d'or de la créativité terminologique et des chercheurs ».

Ses contributions à l'enseignement sont également importantes. À la fin des années 1970, il fonde avec Jean Rouxel l'École d'été « Galerne » consacrée à la chimie douce, puis monte la filière matériaux à Jussieu. En 2001, nommé professeur au Collège de France, chaire de la matière condensée, Jacques Livage présente de nombreuses conférences dont une série sur le thème de la couleur. Il continue toujours à s'investir dans de nombreuses conférences pour promouvoir la chimie, notamment dans les lycées et collèges.

Jacques Livage a publié plusieurs ouvrages, dont *Chimie théorique : concepts et problèmes* (Hermann, 1972), *Les gels* (Elsevier, 1995), et contribué à *Chimie de la matière condensée* (Fayard, 2003).

6 septembre 2014

4^e Colloque

« De la recherche à l'enseignement »

Paris

Au programme 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, les conférences de Pierre Deprez (Romainville), Sylvain Deville (Cavaillon, Médaille de bronze 2012 du CNRS), Michael Holzinger (Grenoble, Prix jeune chercheur 2013 de la division Chimie analytique de la SCF), Ivan Huc (Bordeaux, Médaille d'argent 2012 du CNRS), Annie Jutand (Paris, Prix J.-A. Le Bel 2013 de la SCF), Danielle Laurencin (Montpellier, Médaille de bronze 2013 du CNRS)... Un évènement à ne pas manquer à la rentrée !

• De 9 h 30 à 17 h 30, à l'École Nationale Supérieure de Chimie Paris (Chimie-ParisTech).
colloqueER@societechimiquedefrance.fr

La structure chimique des bitumes pétroliers

Le bitume routier est un produit d'origine pétrolière qu'il convient de qualifier de « complexe ». Il est composé de nombreuses familles moléculaires dont la distribution des masses molaires est extrêmement étendue (entre 300 et 100 000 g/mol). La composition de ce continuum moléculaire et la structure physico-chimique de ce matériau dépendent de l'origine des pétroles bruts utilisés, de leur mode de fabrication ainsi que de l'ajout éventuel d'additif (polymère, acide, etc.). Les caractéristiques mécaniques (thermo-susceptibilité, rigidité, résistance à la fissuration) sont fonction de ces différents paramètres. Ces structures physico-chimiques évoluent avec le temps selon un processus de vieillissement, principalement par oxydation (lors de son enrobage et de son utilisation sur route). Le mécanisme de vieillissement a bien sûr un impact sur les performances mécaniques.

Le bitume

Selon la spécification européenne EN 12597 [1], le bitume est défini comme un matériau pratiquement non volatil, adhésif et hydrophobe, dérivé du pétrole brut ou présent dans l'asphalte naturel, qui est entièrement soluble dans le toluène ou presque ($\geq 99\%$ pour un bitume routier (EN 12591 [2])), et très visqueux ou presque solide à température ambiante.

Diverses natures de pétroles bruts existent mais ils ne sont pas tous nécessairement propres à produire du bitume – des bruts trop légers peuvent avoir un rendement insuffisant en bitume. Les deux étapes obligatoires pour la fabrication d'un bitume sont la distillation atmosphérique et la distillation sous vide.

La distillation atmosphérique permet de séparer le pétrole brut en coupes d'hydrocarbures. En effet, celui-ci est composé de différents hydrocarbures conduisant à diverses utilisations (kérosène, bitume...). La séparation des différents constituants s'effectue selon leur volatilité grâce à l'utilisation d'un gradient thermique. En fond de colonne, la température est élevée (350-380 °C) et diminue graduellement jusqu'à atteindre 110-150 °C en tête de colonne. Les différentes fractions sont soutirées à des points précis de la colonne. La phase vapeur est éliminée et condensée. La fraction lourde, restant au fond de colonne, constitue le résidu de distillation atmosphérique (fioul lourd). Elle doit être recueillie, réchauffée et traitée pour acquérir les propriétés requises pour un bitume.

La distillation sous vide consiste à utiliser une pression réduite (4 à 5 kPa en tête, 13 kPa en fond) à l'intérieur de la tour de distillation, afin de poursuivre la séparation des constituants du pétrole sans les dégrader thermiquement. L'opération est menée jusqu'à obtention des caractéristiques désirées. Lors de ce processus de distillation, les composés volatils sont éliminés sans que des modifications importantes des structures chimiques n'aient lieu ; les bitumes ainsi préparés sont dits « de distillation directe ».

Caractérisation physico-chimique

Composition chimique

Selon leur origine et leur mode de fabrication, les bitumes sont des mélanges complexes de composés hydrocarbonés de structures chimiques et de masses molaires très diverses. Ils

contiennent en moyenne 80 à 85 % de carbone, 10 à 15 % d'hydrogène, 2 à 3 % d'oxygène, jusqu'à 6 % de soufre et 1 % d'azote. Divers métaux sont également présents à l'état de traces, comme le nickel, le vanadium, le fer et le silicium. La présence de ces différents éléments est liée à l'origine du pétrole brut.

Les premiers travaux sur la composition chimique du bitume, au XIX^e siècle, ont permis de séparer les constituants en fonction de leur solubilité dans le n-heptane. En 1837, Boussingault a défini les asphaltènes comme étant les composés insolubles dans le n-heptane et les pétrolènes (aujourd'hui appelés les maltènes), les espèces solubles [3].

Actuellement, le bitume est donc analysé en termes de fractions SARA (saturés, aromatiques, résines et asphaltènes). Le pourcentage des différentes fractions SARA peut être obtenu par précipitation dans le n-heptane selon la norme NF T 60-115 (asphaltènes), puis par un couplage entre la chromatographie sur baguette de silice et la détection à ionisation de flamme (latroscan) [4] qui permet de séparer les différents types de maltènes (saturés, aromatiques, résines) au moyen d'éluants successifs.

Les saturés représentent 5 à 20 % des fractions SARA du bitume [5]. Elles contiennent quelques alcanes linéaires cristallisables (10 à 15 %) [PLA 97]. Leur masse molaire est faible (300 à 2 000 g/mol). Ces fractions sont essentiellement constituées d'hydrocarbures aliphatiques linéaires, ramifiés et naphthéniques.

Les aromatiques représentent entre 40 et 60 % des fractions SARA – cette famille est en général la plus importante [5]. Elles sont composées de molécules où les noyaux aromatiques condensés sont associés à des cycles naphthéniques et à des chaînes aliphatiques. La masse molaire de ces composés est semblable à celle des aromatiques (300 à 2 000 g/mol).

Les résines représentent 13 à 25 % des fractions SARA [5]. Elles sont composées par des cycles aromatiques, naphthéniques et hétérocycliques. Leur composition chimique est proche de celle des asphaltènes [6], mais avec des masses molaires plus faibles (500 à 50 000 g/mol [7]).

Les asphaltènes représentent de 5 à 25 % des fractions SARA [5]. Cette teneur se rapporte à la définition des asphaltènes comme insolubles dans le n-heptane (NF T 60-115). La présence d'hétéroatomes (N, O, S) leur confère un caractère polaire fort. Généralement, des métaux de transition (de quelques ppm à quelques dixièmes de % de Ni, Va, Fe...) sont intégrés aux asphaltènes sous forme de métalloporphyrines (macrocycles hétérocycliques). Leur masse molaire est la plus élevée des différentes familles de bitumes (1 000 à 100 000 g/mol).

Les saturés, aromatiques et résines constituent la fraction maltène du bitume, soluble dans le n-heptane, par opposition à la fraction asphaltène, insoluble dans le n-heptane.

Structure

Le bitume est un mélange de molécules chimiquement complexes. Un même pétrole brut peut produire des bitumes de grades différents selon la norme NF EN 12591 [2]. Un bitume « dur » est généralement très asphalténique, alors qu'un bitume « mou » possède généralement plus de saturés [8-9]. La compréhension de la structure des bitumes est importante car elle va influencer sur les propriétés mécaniques du matériau.

Association des asphaltènes au sein des bitumes

Les asphaltènes étant constitués de plages aromatiques polycondensées (6 à 8 noyaux), leur « microstructure » décrite par le modèle de Yen [YEN 91] est représentée par un empilement de feuilletés élémentaires dont la cohésion est assurée par des interactions entre les électrons π des plages aromatiques polynucléiques et des interactions intramoléculaires par repliements d'enchaînements hydrocarbonés formant ainsi des structures organisées. En effet, les feuilletés unitaires s'associent en créant des structures de type graphitique appelées empilements ou micelles en présence de solvant (figure 1). Cette structure en type de feuilletés, dont l'organisation est de type cristalline, serait constituée de 4 à 6 plages aromatiques avec une taille de cristaux de l'ordre de 2 à 5 nm.

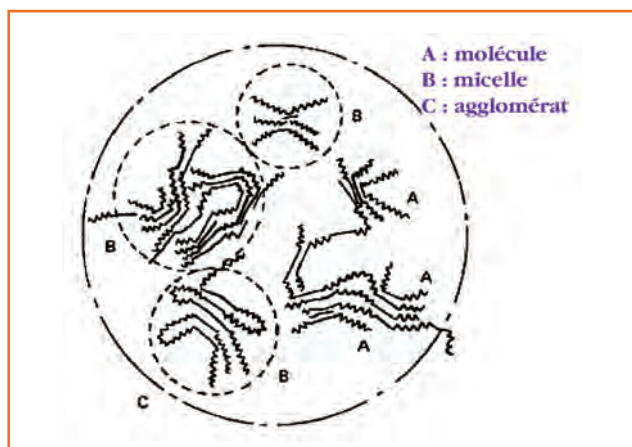


Figure 1 - Macrostructure des asphaltènes [YEN 72].

Le degré d'agrégation des asphaltènes dépend de paramètres tels que la température, la concentration ou la nature chimique du solvant. Lors d'une élévation de température, la diminution de la masse molaire des asphaltènes résulte de la dissociation progressive des agrégats asphalténiques. L'attraction entre asphaltènes a été attribuée à des interactions de van der Waals.

Modélisation de la structure

Nellensteyn a proposé pour le bitume une structure colloïdale pour laquelle les asphaltènes absorbent la fraction la plus lourde des maltènes, c'est-à-dire les résines, et forment des micelles, tandis que les huiles aromatiques et saturées représentent la phase intermicellaire [10]. Actuellement, le modèle colloïdal est le seul qui permet d'expliquer au mieux les propriétés particulières du bitume [11].

Dans le cas contraire, si les résines ne sont pas en quantité suffisante ou n'ont pas le caractère d'un solvant adéquat pour « peptiser » les micelles, les asphaltènes sont plus ou moins floclés. Cela conduit à une structure irrégulièrement ouverte de micelles liées ensemble où les vides internes sont remplis d'un fluide intermicellaire de constitution mixte. Ce système est qualifié de gel et possède les caractéristiques des liquides non newtoniens (figure 2). Les bitumes dits « soufflés » ou oxydés

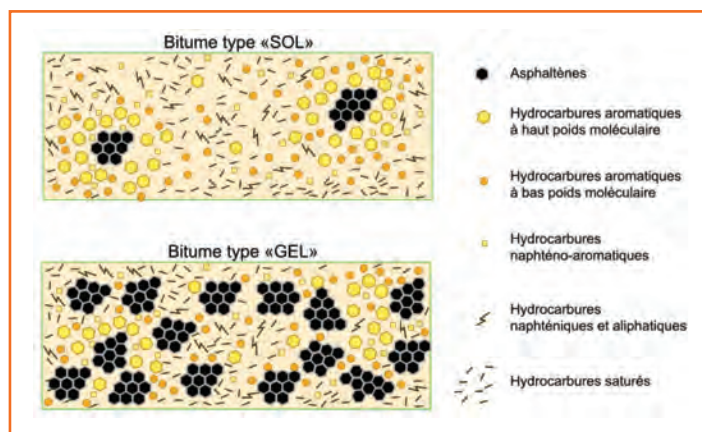


Figure 2 - Représentations schématiques d'un bitume type sol et d'un bitume type gel.

rentrent dans cette dernière catégorie : des phénomènes de déshydrogénation, de polymérisation des asphaltènes et des résines leur donnent un caractère de composés thixotropes.

Le degré de peptisation des asphaltènes influe de façon importante sur la viscosité du bitume, ce qui conduit à des viscosités plus faibles pour les bitumes de type sol (asphaltènes bien peptisés) que pour ceux de type gel. De tels effets décroissent avec la température. Le caractère gel de certains bitumes peut disparaître quand ils sont chauffés à haute température. Une structure intermédiaire est la structure sol/gel à laquelle appartient la majorité des bitumes. Dans ce cas, les divers agrégats de micelles ou de diverses formations structurales d'asphaltènes baignent dans un milieu plus structuré que le milieu sol, mais moins structuré que le milieu gel. De plus, l'ajout d'adjuvants peut modifier l'équilibre colloïdal existant et donner à un bitume de type gel une structure plus sol, et inversement.

Références

- [1] AFNOR, norme NF EN 12597, Bitumes et liants bitumineux – Terminologie, **2002**.
- [2] AFNOR, norme NF EN 12591, Bitumes et liants bitumineux – Spécifications des bitumes routiers, **2009**.
- [3] Boussingault J.B., Mémoire sur la composition des bitumes, *Annales de Chimie Physique*, **1837**, 64, p. 141.
- [4] Leroy G., Bitumen analysis by thin layer chromatography (IATROSCAN), *Proceedings 4th Eurobitume Congress*, **1989**, p. 166.
- [5] Such C., Francken L., Lesage J., Les matériaux de chaussées traités aux liants hydrocarbonés, *Les liants hydrocarbonés*, Hermes Science, **2002**.
- [6] Koot J.A., Speight J.G., Relation of petroleum resins to asphaltenes, *Fuel*, **1975**, 54, p. 179.
- [7] Yen T.F., Structural differences between asphaltenes isolated from petroleum and from coal liquid, *Adv. Chem.*, **1982**, 195, p. 39.
- [8] Pfeiffer J.P., Saal R.N.J., Asphaltic bitumen as colloid systems, *J. Phys. Chem.*, **1939**, 43, p. 139.
- [9] Traxler C., Rheology and rheological modifiers others than elastomers: structure and time, *Bituminous materials: Asphalts, Tar and Pitches*, A.J. Hoiberg (ed.), **1964**, 1, p. 143-211.
- [10] Nellensteyn F.J., The constitution of asphalt, *Journal of the Institute of Petroleum Technology*, **1924**, 10, p. 311.
- [11] Lesueur D., The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification, *Adv. Colloid Interface Sci.*, **2009**, 145, p. 42.

Cette fiche a été réalisée par **Emmanuel Chailleux**, chargé de recherche (emmanuel.chailleux@ifsttar.fr), et **Ferhat Hammoum**, directeur de recherche, responsable du Laboratoire Matériaux pour les Infrastructures de Transport (ferhat.hammoum@ifsttar.fr), LUNAM-IFSTTAR-MIT, Route de Bouaye, CS4, F-44344 Bouguenais Cedex.

Les fiches « Un point sur » sont coordonnées par un comité éditorial mené par Jean-Pierre Foulon et Michel Quarton (contact : bleneau@lactualitechimique.org). Elles sont regroupées sur une page dédiée du site (www.lactualitechimique.org/spip.php?rubrique11).

Abonnement 2014 (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	
Particuliers	<input type="checkbox"/> 100 €	<input type="checkbox"/> 105 €	<input type="checkbox"/> 55 €		(pour les lycées et les institutions)	
Lycées	<input type="checkbox"/> 110 €	<input type="checkbox"/> 130 €	<input type="checkbox"/> 70 €		<input type="checkbox"/> 400 €	
Institutions	<input type="checkbox"/> 200 €	<input type="checkbox"/> 210 €	<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

- Modéliser et simuler la chimie (fév.-mars 2014) : 32 €
- La chimie mène l'enquête, saison 2 (oct.-nov. 2013) : 32 €
- Biotechnologies et chimie : nouveaux développements (juin-juil.-août 2013) : 32 €
- 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 €
- Electrochimie & Art, Environnement, Santé, Nanosciences... (fév.-mars 2009) : 15 €
- Les cosmétiques. La science au service de la beauté (oct.-nov. 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 €

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

- Chimie et transports (janvier 2014) : 24 €
- Chimie et enjeux énergétiques (sept. 2013) : 24 €
- 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

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

Analytical
and
Bioanalytical Chemistry



Springer

the language of science



WILEY-VCH



ChemPubSoc
Europe

Les journaux de ChemPubSoc*

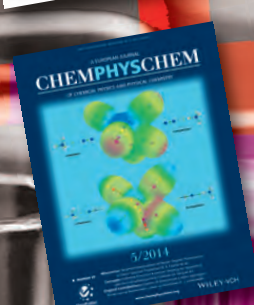
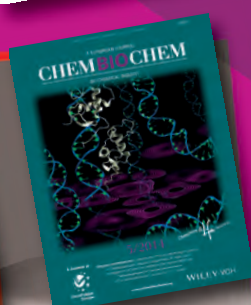
* ChemPubSoc regroupe 14 sociétés de chimie européennes, dont la SCF

- Chemistry, a European Journal
- European Journal of Inorganic Chemistry
- European Journal of Organic Chemistry
- ChemBioChem
- ChemCatChem
- ChemElectroChem
- ChemMedChem
- ChemPhysChem
- ChemPlusChem
- ChemSusChem
- ChemViews
- ChemistryOPEN

L'Actualité Chimique



Société Chimique de France



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