

l'actualité chimique

Le journal de la Société Chimique de France
Mars 2016 - N° 405



VOUS

Comment parler de sciences aux jeunes ?
Le mandipropamide contre le mildiou
REACH : l'échéance 2018
Chevreul, savant placide ?



Société Chimique de France



L'Actualité Chimique est un périodique mensuel qui permet d'assurer des échanges de connaissances, d'idées, de points de vue dans la communauté des chimistes. La revue publie des articles scientifiques de haut niveau sur les sciences chimiques, de l'approche fondamentale aux développements et aux applications industrielles dans de nombreux domaines. Les articles s'adressent donc à un large lectorat et sont lus par des chimistes spécialisés ou non dans un domaine (chercheurs, industriels), mais également par de jeunes scientifiques en formation et par leurs professeurs : ils doivent donc **être accessibles à l'ensemble du lectorat**.

Tout manuscrit adressé à la Rédaction est soumis à un ou deux experts du Comité de lecture. L'acceptation finale pour publication est conditionnée à un éventuel travail de révision ou de réécriture de l'article par ses auteurs, sur la base des remarques ou suggestions émises par les experts.

Les articles de *L'Actualité Chimique* sont référencés dans *Chemical Abstracts*.

I – Recommandations pratiques pour rédiger votre manuscrit

Les recommandations qui suivent sont nécessaires au bon déroulement de la composition ; nous vous demandons donc de les respecter.

- Le titre de votre article devra être clair et « accrocheur ». Prévoir éventuellement un sous-titre pour éviter un titre trop long.
- Les articles doivent être rédigés en français (exceptionnellement en anglais, après accord de la Rédaction) et être relativement brefs (10-15 pages en times 12 et en double interligne, soit 4 à 6 pages de la revue imprimée)*. Le texte devra éviter toute rédaction ésotérique ; il est indispensable par exemple d'expliquer les sigles ou abréviations. Si nécessaire, prévoir un glossaire ou des encadrés explicatifs pour les termes ou expressions techniques. Certains compléments pourront être publiés sous forme d'annexes sur le site Internet de la revue.
- Pour faciliter la lecture de votre article, prévoir des paragraphes, introduits par des titres (voire des sous-titres).

* Pour un article de longueur « standard » (4 à 6 pages), on peut compter environ 5 600 caractères (espaces compris) par page imprimée de la revue (incluant titres, résumés, légendes des figures, références...), auxquels il faut soustraire le nombre de caractères évalué pour chaque figure. Pour un court article (2-3 pages), compter environ 5 200 caractères par page imprimée.

Un manuscrit doit obligatoirement contenir :

- Les noms, prénoms, fonctions (professeur, directeur de recherche...) et coordonnées (adresse postale et courriel) – préciser l'auteur correspondant – et une photographie type identité (fichier jpeg de bonne définition) de chaque auteur.
- Le titre de l'article en anglais, un court résumé en français et en anglais (une dizaine de lignes), 5-6 mots-clés en français et en anglais. Le résumé, destiné également à notre base de données sur Internet, doit faciliter

la recherche ; il doit donc être bref et refléter l'esprit de l'article, en dégagant ses points essentiels.

- Des illustrations, de préférence en couleur, destinées à « accrocher » le lecteur et à favoriser la compréhension de l'article (photos, tableaux, figures...). Accompagnées d'une légende et des sources éventuelles, elles doivent être numérotées et appelées dans le texte, et leurs fichiers adressés indépendamment du texte en format jpg, power point, gif... en bonne définition pour l'impression (300 dpi). Éviter les termes anglais y figurant (les traduire si possible). Les illustrations devront être adaptées au mieux au format de la revue (une colonne : 8,4 cm ; deux colonnes : 17,4 cm).
- Des encadrés sont les bienvenus pour expliciter ou mettre en relief un principe ou un fait particulier.



L'auteur doit s'assurer des autorisations nécessaires à toute reproduction et s'acquitter des droits éventuels.

• Notes et références :

Limiter la bibliographie à une vingtaine de références les plus représentatives.

Les références doivent **être numérotées par ordre d'apparition dans le manuscrit** [numéros entre crochets] et regroupées à la fin du manuscrit en **respectant le standard** suivant :

- [1] Dupont M., Durant J.-M. (nom, initiale du prénom), *La chimie est belle* (titre de l'article), *L'Act. Chim.* (abréviation usuelle de la revue en italique), 2011 (année en gras), 3(5) (volume en ital), p. 5 (1^{ère} page de l'article).
- [2] Martin J., *La chimie et la vie* (titre de l'ouvrage en ital), R. Dupont, J. Durant (éditeurs), Springer (édition), 2011, p. 56-71 (éventuellement les pages s'il s'agit d'une partie de l'ouvrage).
- [3] Costa M., *Titre de la thèse* (en ital), thèse de doctorat, ENS Lyon, 1996.
- [4] www.lactualitechimique.org (éventuellement date de consultation).
- [5] Dupont, *Titre* (en ital), Brevet US 0148785 (numéro officiel du brevet), 1999.

Les notes doivent également être appelées entre parenthèses et en exposant par ordre d'apparition dans le manuscrit (ex. : voir⁽¹⁾) et regroupées en fin de manuscrit.



Attention, ne pas faire de liens, les notes et références risquant de disparaître lors du travail éditorial.

II – Envoi du manuscrit

Le manuscrit, obligatoirement **sous format word**, doit être adressé à la Rédaction par voie électronique. Un accusé de réception vous sera envoyé avec attribution d'un numéro de dossier à rappeler dans les correspondances ultérieures.

III – Publication

En cas d'acceptation, aucun engagement sur la date de publication ne peut être fourni, mais l'auteur sera informé au plus tôt.

L'auteur recevra les épreuves de son article pour vérification avant publication.

RÉDACTION

Rédactrice en chef : Rose Agnès Jacquesy

Rédactrice en chef adjointe :

Séverine Bléneau-Serdel

Secrétaire de rédaction : Roselyne Messal

Chef de rubrique, Collection « Chimie et » :

Minh-Thu Dinh-Audouin

Conseiller de la Rédaction : Jean-Pierre Foulon

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 : Danielle Fauque, 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 :

J. Belloni, E. Bordes-Richard, C. Cartier dit Moulins, G. Chatel, P. Colombar, C. de Novion, J. Fournier, N. Jaffrezic, R. Lescouëzec, J. Livage, P. Massiani, M.-T. Ménager, C. Monneret, N. Moreau, J.-M. Paris, P. Pichat, A. Picot, J. Rangapanaiken, H. Toulhoat, L. Valade, 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

Directrice de la publication : Gilberte Chambaud, présidente de la Société Chimique de France

Imprimerie : Friedling Graphique, 68170 Rixheim

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. 5

© SCF 2016 - Tous droits réservés

Dépôt légal : mars 2016

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 2016 - L'ACTUALITÉ CHIMIQUE

(11 numéros par an)

Abonnement papier + électronique

Particuliers : France 105 € - Étranger 110 €

Institutions : France 205 € - Étranger 220 €

Lycées : France 120 € - Étranger 140 €

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)

Éditorial

2

Quand la chimie inspire la physique des hautes énergies et autres réflexions, par **R.A. Jacquesy**

2

Clin d'œil étymologique

3

À propos du cérium, par **P. Avenas**

3

Chroniques

4

La chimie, c'est ouf !, par **J.-C. Bernier**

4

Le grain de sel du réseau RJ-SCF

6

Qu'attendent les jeunes chimistes de la SCF ?, par **M. Rossato** et **G. Chatel**

6

À propos de

10

Innovation thérapeutique et chimie, par **C. Monneret**

10

Les métaux, ressources minérales des océans, par **B. Commère**

11

Recherche et développement

16

Le mandipropamide contre les oomycètes : l'apport des réactions multicomposants à la phytochimie, par **W. Erb** et **N. Abernil**

16

Industrie

24

REACH, en attendant l'échéance 2018 : quels impacts sur l'industrie chimique ? par **R. Messal**

24

Enseignement et formation

28

Construction des orbitales moléculaires d'un complexe octaédrique : la théorie des groupes est-elle indispensable ?, par **F. Volatron** et **P. Chaquin**

28

Les travaux pratiques

Synthèse et analyse du di-(acétylacétonato)cuivre(II), par **J.-C. Hannachi**

35

Histoire de la chimie

40

Eugène Chevreul (1786-1889), savant placide ?, par **J. Fournier**

40

Chimie et vie quotidienne

44

Les jeunes, la culture scientifique et les médias, par **S. Bléneau-Serdel**

44

En bref

50

Livres et médias

56

Agenda

59

Actualités de la SCF

61

Un point sur

63

Les précurseurs organiques de céramiques, par **P. Colombar**

63



Couverture :

Une fan ! Photo prise lors du week-end grand public du congrès SCF15 en juillet dernier à Lille © SCF.

Conception graphique : Mag Design - www.magdesign.info



Quand la chimie inspire la physique des hautes énergies et autres réflexions

Comme nous l'avons fréquemment souligné, de nos jours, la chimie est très souvent la solution (COP21, transition énergétique, santé par ex.).

Mais elle fait plus, puisque la chimie inorganique et la chimie nucléaire motivent la recherche et la découverte de nouveaux éléments promis par l'inépuisable tableau de Mendeleïev (1869). Ce grand chimiste, non conformiste, a été capable non seulement de concevoir les relations entre masse atomique et propriétés, en organisant en lignes et colonnes les éléments connus, mais aussi de laisser la place à des éléments à découvrir (des travaux précurseurs par exemple de Lavoisier et Jean-Baptiste Dumas n'avaient pas abouti).

Les derniers en date sont très récents : après une dizaine d'années de vérifications, l'IUPAC a en effet acté fin décembre dernier la réalité de quatre nouveaux éléments, complétant la septième ligne du tableau : les éléments 113, 115, 117 et 118, pour lesquels on recherche maintenant des noms [1]. Tous les nouveaux éléments, superlourds, ont été obtenus par collisions dans des accélérateurs de particules (Japon, Russie, États-Unis). *A priori*, des noyaux encore plus lourds peuvent être créés dont les propriétés (état gazeux ?), la durée de vie, le mode de fission font l'objet d'actives discussions : la chimie théorique est convoquée.

L'œcuménisme habituel de la chimie « *for the application and communication of chemical knowledge for the benefit of humankind* » (définition de l'IUPAC) trouve son écho dans plusieurs décisions récentes du Comité Nobel. Qui n'a pas observé que les prix Nobel de chimie intègrent de la physique et de la biologie ? Que le prix Nobel de médecine-physiologie 2015 traite essentiellement de découvertes chimiques ? On assiste ainsi à une volonté délibérée du Comité de récompenser la « porosité » dans la science contemporaine : il ne s'agit plus uniquement de collaborations fructueuses entre équipes internationales, mais davantage d'imprégnation d'une science par une autre, pour démultiplier l'efficacité des recherches, notamment dans des domaines en rapide évolution.

Comme au XIX^e et au début du XX^e siècle, on peut se poser la question de l'implication politique de nos grands chimistes. Par exemple, Mendeleïev – décidément visionnaire – écrivait en 1882 au tsar Alexandre III : « [...] *quand nous brûlons du pétrole, nous brûlons de l'argent ; il faut l'utiliser comme matière première de la synthèse chimique.* » Pasteur (essentiellement pour défendre ses découvertes, en chimie comme en biologie-médecine) n'a pas craint de monter au créneau. Bien d'autres, notamment issus de l'École Polytechnique [2]

ou Berthelot et Bertholet, ont, plus ou moins heureusement, suivi ce chemin. Certes pas toujours dans un esprit généreux, mais tout autant pour assurer leur prééminence scientifique et placer leurs élèves...

À notre époque où les amalgames ont la vie belle (et dure) et où les relations de cause à effet sont allégrement détournées, chimie et chimistes, comme plus généralement science et technologie, sont l'objet de suspicions, il serait peut-être utile que soit développée une attitude plus combative vis-à-vis des médias et des politiques. Exemple ou abus ? Un article affirme que les récents séismes observés en Oklahoma ont pour cause (exclusive certainement) l'utilisation de la fracture hydraulique pour l'extraction du gaz de schiste. À noter que le danger serait plutôt le déversement d'eaux usées et surtout le stockage de grandes quantités d'or noir. De plus, aucune indication de séismes et de leur augmentation n'est rapportée des zones où cette exploitation est développée [3]. Alors, qu'en est-il en réalité ?

Il semble clair, hélas, que la simple promotion et défense de la chimie traitée depuis longtemps ne soit pas d'une grande efficacité. Comment procéder alors ? Probablement en associant la sociologie et la psychosociologie, capables, avec leurs instruments propres, de nous aider à construire le message que la société pourrait s'approprier. Que nos grands chimistes contemporains se penchent plus activement sur cette question serait une garantie pour l'avenir de nos disciplines. Un premier pas important a été fait en janvier par Jean-Marie Lehn et Bernard Meunier, cosignataires avec six autres scientifiques français du plus haut niveau d'un appel à la défense de la recherche fondamentale : « [...] *par son originalité et sa liberté, [elle] est génératrice des ruptures conceptuelles qui, par-delà leur valeur propre, une fois traduites en innovations technologiques et industrielles, assurent le succès des économies fondées sur la connaissance* » [4].

Rose Agnès Jacquesy
Rédactrice en chef

[1] Bléneau-Serdel S., La famille des éléments chimiques s'agrandit : révisons nos tableaux !, *L'Act. Chim.*, 2016, 404, p. 6.

[2] Jacquesy R.A., Quand la République avait besoin de savants, *L'Act. Chim.*, 2015, 402, p. 13.

[3] Barrault J., Bousquet J., Kervennal J., Neff B., Sillion B., Travers C., Exploitation et utilisation des huiles et gaz de schiste : que peuvent faire les sciences chimiques ?, *L'Act. Chim.*, 2015, 397-398, p. 109.

[4] Bach J.-F., Cazenave A., Haroche S., Heard E., Hoffmann J., Lehn J.-M., Meunier B., Prochiantz A., Tribune : il faut repenser et renforcer l'Agence nationale pour la recherche !, *LePoint.fr*, 08/01/2016, www.lepoint.fr/chroniques/tribune-il-faut-repenser-et-renforcer-l-agence-nationale-pour-la-recherche-08-01-2016-2008132_2.php

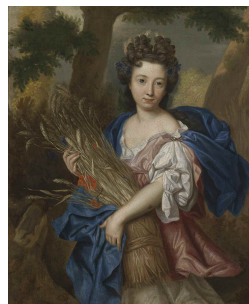
À propos du cérium

Une pierre trouvée à Ytterby, près de Stockholm, a fourni les dix terres rares de la *série de l'yttrium*⁽¹⁾. Mais c'est à partir d'une autre, trouvée à Bastnäs dans l'intérieur de la Suède, que l'on a découvert le cérium, et de là une seconde série de terres rares, la *série du cérium*. Deux origines géographiques différentes, et des noms encore plus éloignés, c'est peu de le dire, car *yttrium* est attaché à son petit village d'Ytterby, alors que *cérium* entraîne à des centaines de millions de kilomètres de la Terre !

Colonne 3										Ligne 6																																														
31	44	90											57	138	51	58	140	12	59	142	51	60	144	24	61	(145)	62	150	36	63	151	36	64	157	25	65	158	93	66	162	50	67	164	13	68	167	26	69	168	93	70	173	04	71	174	07
Se											La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																															
SCANDIUM											LANTHANE	CÉRIUM	PRASEODYME	NÉODYME	PROMÉTHIUM	SAMARIUM	EUROPIMUM	GADOLINIUM	TERBIUM	DYSPROBIUM	HOLMIUM	ERBIUM	THULIUM	YTTÉRIUM	LUTÉTIUM																															

Les 17 terres rares, dont les dix de la série de l'yttrium (en gris). La ligne horizontale regroupe les 15 lanthanides.

Cérium (Ce), un nom astronomique et mythologique



Cérès, déesse romaine de la fécondité et des moissons... d'où le nom *céréale*.

La « *pierre pesante de Bastnäs* » a été étudiée par plusieurs équipes, dont celles des chimistes allemand Klaproth et suédois Berzelius, qui ont mis en évidence un nouveau métal, auquel ils ont, en 1804, « *donné le nom de cérium, d'après la planète de Cérès* ». Celle-ci venait en effet d'être découverte et dédiée à la déesse romaine de la fécondité et des moissons. Klaproth ne pouvait qu'approuver ce choix, lui qui avait renoué en 1792 avec les relations métal-planète de la tradition antique⁽²⁾. Plus tard, Berzelius dédiera le vanadium à Vanadis, dite parfois la Cérès des Scandinaves.

Cachés dans le cérium, le lanthane (La) et son jumeau

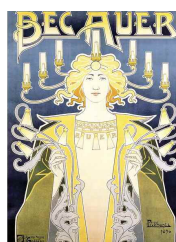
En 1839, le chimiste suédois Mosander découvre un « *nouveau métal qui ne change que peu les propriétés du cérium, et qui s'y tient pour ainsi dire caché*. » D'où le nom de *lanthane* qu'il lui donne, du verbe grec *lanthanein*, « être caché ». Une idée dont s'inspirera peut-être Ramsay⁽³⁾ en 1898 pour nommer le *krypton*, du grec *kruptein*, « cacher » : deux façons de dire « caché » en grec, pour désigner d'abord une terre rare cachée dans le cérium, puis un gaz rare caché dans l'argon.

Mosander a montré que le cérium cachait encore un autre métal, qu'il a nommé en 1842 *didyme*, du grec *didymos*, « jumeau », le jumeau du lanthane en quelque sorte. Mais on s'est aperçu assez vite que ce didyme lui-même n'était pas un corps simple...

Un jumeau peut en cacher d'autres : samarium (Sm), praséodyme (Pr), néodyme (Nd) et europium (Eu)

Le samarium : dans un minerai du sud de l'Oural, la samarskite, du nom de l'ingénieur des mines russe Samarsky-Bykhovets, on a trouvé aussi du didyme, et le chimiste français Lecoq de Boisbaudran y a détecté par spectroscopie en 1879 un nouveau métal, qu'il a baptisé *samarium*, d'après *samarskite*.

Le praséodyme et le néodyme : le chimiste autrichien Auer von Welsbach (1858-1929) a prouvé que ce didyme lui-même était en fait constitué de deux métaux voisins, pour ne pas dire eux-mêmes jumeaux. Dans un *Bulletin de la Société Chimique de France* de 1886, il explique avoir abouti « *d'abord au sel vert et enfin au sel rose, qui correspondent aux deux éléments du didyme, le praséodyme et le néodyme*. » De vrais jumeaux aux noms assez étranges, où l'élément *-dyme* sert de suffixe, associé d'une part à *praséo-* du grec *prason*, « poireau », *prasinos*, « vert tendre comme le poireau », et d'autre part à *néo-*, de *neos*, « nouveau ». Mais pourquoi *néo-* ? Pourquoi pas « *rhododyme* », par symétrie, pour le métal au sel rose ?



Publicité Art déco pour le bec Auer.

Notons ici qu'Auer von Welsbach a aussi découvert la possibilité de doper grâce à des oxydes de terres rares la lumière émise par un bec de gaz ; d'où son invention du *bec Auer*, une lampe d'éclairage très en vogue à la Belle Époque. C'était une sophistication du bec Bunsen, mis au point par le chimiste allemand Bunsen, chez qui il avait travaillé.

L'europium : le chimiste français Demarçay identifiera en 1901 dans le minerai du samarium un métal qu'il nommera *europium* : un nom rassembleur pour des travaux menés dans plusieurs pays, de la Suède à l'Oural, frontière naturelle de l'Europe.

Le prométhium (Pr) enfin, pour un épilogue

Toutefois, l'histoire ne s'arrêtait pas à l'europium, car si la série de l'yttrium avait fourni huit lanthanides (éléments 64 à 71), et celle du cérium six autres (éléments 57 à 60, 62 et 63), l'élément 61 restait introuvable. Ce métal est en effet la plus rare des terres rares, car tous ses isotopes sont radioactifs et à relativement courte durée de vie. Il faudra attendre 1945 pour qu'il soit identifié au moyen du réacteur nucléaire d'Oak Ridge (Tennessee), dirigé alors par le chimiste américain Coryell. Et l'histoire retient que son épouse Grace a donné l'idée en 1948 de le nommer *prométhium*, comme si un chercheur maîtrisant l'énergie nucléaire lui rappelait Prométhée dérobant le feu aux dieux de l'Olympe.

Prométhée a aussi enseigné aux hommes la technique (en grec *tekhne*), et l'on avait d'ailleurs nommé en 1937 *technétium*, du grec *tekhnetos*, « artificiel », l'élément 43, également sans isotope stable, décelé dans le molybdène irradié. Les éléments 43 et 61 sont donc les deux seuls éléments plus légers que le bismuth (élément 83) qui n'existent pas dans la nature, sauf à l'état de traces.

Le prométhium, 17^e et dernière terre rare identifiée, serait plutôt une terre rarissime.

(1) Cf. À propos de l'yttrium, *L'Act. Chim.*, 2015, 400-401, p. 6.

(2) Cf. À propos de l'uranium, *L'Act. Chim.*, 2015, 395, p. 8.

(3) Cf. À propos du Xénon, *L'Act. Chim.*, 2015, 399, p. 4.



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

Courriel : pier.avenas@orange.fr

La chimie, c'est ouf !

L'innovation en chimie, ça devient fou ! Après les journées, fin janvier, de l'innovation en santé où la chimie et les matériaux étaient à l'honneur – la prothèse discale en céramique, celle du ligament croisé biocompatible (pas seulement utile aux footballeurs), et plusieurs thérapies et médicaments de demain –, ce qui pour moi fin 2015 et début 2016 a fait le buzz dans les médias et sur les réseaux sociaux, ce sont trois avancées.

La première nous vient d'un laboratoire de Picardie (CNRS/Université Jules Verne), du CEA et du réseau RS2E. Pour la première fois au monde, des batteries sodium-ion ont été développées sous le format industriel standard 18650. Cela ne vous dit peut-être rien, mais sachez que Chinois et Coréens en fabriquent des centaines de millions en lithium-ion et que le milliardaire américain Elon Musk en bourre ses voitures Tesla. Comme ce format fait 1,8 cm de diamètre et 6,5 cm de hauteur, il a fallu innover et miniaturiser les électrodes en films très fins et de grandes longueurs. Les chimistes du réseau RS2E se sont efforcés de trouver de nouveaux matériaux de cathode à base de sodium. Des polyanions tels que les

phosphates-titanates ou les phosphates-vanadates fluorés ont été synthétisés. Pour l'anode, il a fallu trouver des carbones capables d'absorber le maximum de sodium ou des alliages Sb/Na. Un nouvel électrolyte polymère à travers lequel transitent les ions sodium complète le tableau. Il faut se rappeler qu'il y a plus d'une dizaine d'années, le sodium ion, plus gros que le lithium, avait été écarté pour un problème de potentiel de cellule. Mais la démarche fondamentale des chercheurs en 2015 a été guidée par deux évidences :

- les ressources en lithium sont limitées et circonscrites à quelques régions d'Amérique du Sud, alors que le sodium est très abondant et bien réparti sur la planète ;

- le coût de la batterie au sodium est donc bien plus faible, CO_3Na étant cinquante fois moins cher que CO_3Li .

Pour l'instant, la capacité est limitée à 90 Wh/kg ; elle peut progresser avec un ajout de sodium à la cathode comme le montre une dernière publication dans *Nature News*. La batterie se charge très rapidement et subit sans dommage plus de deux mille cycles. Elle serait donc tout indiquée pour les applications stationnaires. Moins coûteuse, une fabrication qui peut se faire sur les mêmes

lignes que celles des batteries ion-lithium, pas de pénurie des matières premières : voilà qui intéresse évidemment les grandes compagnies.

La seconde nouvelle nous vient d'un directeur de recherche CNRS francilien et du laboratoire franco-japonais Next PV. C'est un projet un peu fou : « faire planer le solaire ». Les chercheurs partent de deux constats. Les panneaux solaires au sol produisent de l'électricité tant que le Soleil n'est pas masqué par les nuages, d'où un taux de charge de 14 % et une production intermittente non prévisible. Par ailleurs, pour avoir une puissance appréciable et un coût au kWh

compétitif, les fermes solaires occupent au sol une surface considérable. L'idée originale est d'installer les capteurs solaires au-dessus des nuages à 20 km d'altitude, portés par des ballons captifs en polymères gonflés à l'hydrogène. On profite alors de deux avantages :

- une illumination solaire renforcée (20 %) et permanente avec un rendement cinq fois plus fort qu'au niveau du sol et en toutes latitudes ;

- une emprise au sol négligeable représentée par le point d'ancrage du câble d'amarrage et les sorties électriques.

Vous me direz : et la nuit ? À 20 000 m d'altitude, elle succède aussi au jour ! Mais suprême astuce : les ballons gonflés à l'hydrogène supportent une pile à combustible qui le jour, avec l'électricité excédentaire, électrolyse l'eau et produit de l'hydrogène, et la nuit recombine l'hydrogène avec l'oxygène pour produire du courant.

Évidemment, il y a encore beaucoup de problèmes techniques et réglementaires à résoudre, ne serait-ce que pour placer ces ballons dans la stratosphère. On sait cependant que Thalès (Stratobus) et Google (Loon) ont déjà montré la faisabilité de cette solution en substituant des flottes de satellites. Malgré cette approche hétérodoxe, des coûts d'équipement par kWh réduits, des taux de charges de production supérieurs à 50 % et une production prévisible et continue concourent à séduire un consortium international.

La troisième, sur les nouveaux caoutchoucs, vient du Laboratoire de Recherches et de Contrôle de Caoutchouc et des Plastiques de Vitry-sur-Seine (LRCCP) qui vient de communiquer sur le programme Bioproff resté confidentiel depuis 2013. Il s'agit de l'évaluation de matériaux biosourcés et recyclés par un consortium de PME et de grands groupes tels que Hutchinson et Michelin, spécialisés dans les élastomères et le caoutchouc. Leur préoccupation est de sécuriser leur approvisionnement et de répondre aux exigences environnementales. L'industrie du caoutchouc dépend en effet de deux filières :

- le latex, tiré de l'hévéa, dont la culture présente toujours des risques météo et phytosanitaires avec un éloignement de ses sites de production (Asie, Afrique), et donc un manque de contrôle ;
- les produits pétroliers, caractérisés



Batterie sodium-ion (Na-ion) au format industriel standard « 18650 ». © Vincent GUILLY/CEA.



par la volatilité des cours et la mutation des technologies de « cracking » qui réduisent le marché des monomères en C4 et C5 et du butadiène.

Douze familles de matériaux biosourcés ont été étudiées, tels le Keltan® issu de la canne à sucre, de même qualité que l'EPDM (éthylène-propylène-diène monomère), des plastifiants à base d'huile végétale, la lignine, l'amidon et la cellulose qui donnent un gel modifiant le comportement des élastomères. Le guayule et le pissenlit

ont été éliminés (ce qui est dommage pour un caoutchouc qui n'aurait pas manqué de piquants).

Jusqu'au terme de l'étude sur ces nouveaux caoutchoucs, en 2018, parions que les publications seront attendues.

Dans ces trois exemples, la belle recherche fondamentale qui est soutenue permet la résolution de verrous technologiques, économiques, géopolitiques, environnementaux essentiels. La substitution d'un élément rare, un

« breakthrough » d'une filière énergétique, le palliatif à des ressources non renouvelables.... Ah oui, la réalisation des objectifs de la COP21 va dépendre beaucoup de la « folie » des chimistes !



Jean-Claude Bernier
Février 2016

Index des annonceurs

Chemspec Europe	p. 23	Fondation de la Maison de la Chimie	p. 55, 58
ChemPubSoc	p. 62	IRDEP	p. 15
CultureSciences-Chimie	p. 9	Lhoist	p. 43
EDP Sciences	p. 55, 58	UdPPC	p. 34
EuCheMS	p. 60		



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



Qu'attendent les jeunes chimistes de la SCF ?

Le Réseau des Jeunes chimistes de la Société Chimique de France, le RJ-SCF, a lancé le débat il y a un an lors d'une grande enquête en ligne (230 participants) destinée aux membres de la SCF de moins de 35 ans afin de recueillir leur vision et leurs attentes concernant la SCF, le RJ-SCF, et plus globalement la communication de la SCF.

Depuis, le RJ-SCF a échangé avec les anciens Bureau national et Conseil d'administration (CA) de la SCF, et a pu exprimer les besoins des jeunes auprès du nouveau CA, du nouveau Bureau et de tous les représentants des entités de la SCF lors du dernier séminaire en décembre dernier (SCF 6). Un échange constructif et un message clairement exprimé : **il faut amplifier la présence et la visibilité de la SCF auprès de tous les acteurs de la chimie en France !**

Dans le numéro d'octobre-novembre 2015, la rubrique *Le grain de sel du réseau* rapportait déjà certains résultats de cette enquête concernant le journal de la SCF sous le titre « Que pensent-ils donc de *L'Actualité Chimique* ? ». Il est temps maintenant de vous dévoiler le reste des résultats de cette enquête... Qu'attendent donc les jeunes chimistes de la SCF ?

Adhésions à la SCF

Il s'avère que les jeunes chimistes adhèrent pour la majorité eux-mêmes à la SCF, en réglant leur cotisation

personnellement. C'est donc une **adhésion active**. Les prix des adhésions des jeunes sont très attractifs et sont d'ailleurs restés identiques depuis plusieurs années : un point très positif pour les jeunes !

La *figure 1* montre que les jeunes rejoignent avant tout la SCF pour **appartenir à un réseau** (71 % des sondés). L'objectif premier du RJ-SCF est d'ailleurs cette mise en réseau des jeunes chimistes en France. Il faut également noter la forte demande en termes de veille sur l'actualité de la chimie (**obtenir des informations du réseau** : 59 %) et de participation à des journées/congrès SCF (**être actif et échanger au sein du réseau** : 52 %). La volonté de rejoindre spécifiquement une division ou thématique disciplinaire en adhérant à la SCF n'arrive qu'en second plan. Ces données sont donc en accord avec la position du RJ-SCF qui rappelle que les jeunes chimistes adhèrent avant tout au réseau de la SCF dans sa globalité, avec une vision et des intérêts très interdisciplinaires en début de carrière. Le RJ-SCF recommande donc à la SCF de continuer à insister (et à communiquer) sur le fait que la SCF est avant tout « le réseau des chimistes en France ».

Pourquoi la SCF compte moins de membres que d'autres sociétés européennes ?

Les jeunes chimistes ont été très nombreux à commenter cette question

pour expliquer le faible nombre d'adhérents à la SCF. Plutôt que de rapporter les multiples critiques qui tentent de trouver une justification aux différences de fonctionnement avec d'autres sociétés européennes, nous avons préféré mettre en avant des projets à développer par la SCF et le RJ-SCF, directement inspirés des attentes des jeunes chimistes exprimées dans cette enquête.

Développer la visibilité au niveau national

La SCF reste très peu connue chez les jeunes chimistes. Le RJ-SCF a donc proposé des actions concrètes lors du 6^e séminaire comme :

- l'organisation d'une campagne d'adhésions plus insistante et persuasive auprès des jeunes pour faire connaître la SCF et montrer qu'elle représente un réseau vivant et actif ;
- l'intensification de la communication dans les laboratoires, les universités et les écoles ;
- la promotion de la SCF dès le niveau bac + 1 ;
- la mise en avant d'ambassadeurs connus, membres de la SCF.

Intensifier les collaborations avec les laboratoires et l'industrie

Le RJ-SCF recommande un travail de fond avec les laboratoires et les entreprises. Cette demande est récurrente chez les jeunes puisque les laboratoires et les entreprises sont le lien direct avec eux vis-à-vis de l'emploi. Lors du séminaire de décembre dernier, les représentants des clubs de jeunes ont pu passer la soirée avec Dominique Massiot, directeur de l'Institut de chimie du CNRS, afin d'échanger sur ces problématiques.

Valoriser le métier de chimiste

Pour les jeunes, la SCF devrait être l'un des acteurs en France à promouvoir les métiers autour de la chimie. La valorisation du doctorat auprès des industries et des pouvoirs publics est également une attente forte des jeunes. En effet, la méthodologie de travail et les compétences acquises au cours du doctorat sont des paramètres essentiels du point de vue de l'entreprise qui recrute un docteur. Une des clés de la valorisation de ce diplôme est donc de mettre en avant ce que le doctorant doit développer : le sujet bien sûr, mais surtout les difficultés rencontrées, la manière dont



Les représentants des clubs de jeunes et du RJ-SCF lors du séminaire SCF 6.

De gauche à droite, en haut : Ibrahim Khalil, Mario Andrés Gomez-Fernandez, Raphaël Lebeuf, Rémi Blicck, Grégory Chatel, Jean-Baptiste Chéron, Valentin Quesneau ; en bas : Ileana Pavel, Amélie Wannebroucq, Marie-Aude Hiebel, Marie Moiré. © AC/SCF.

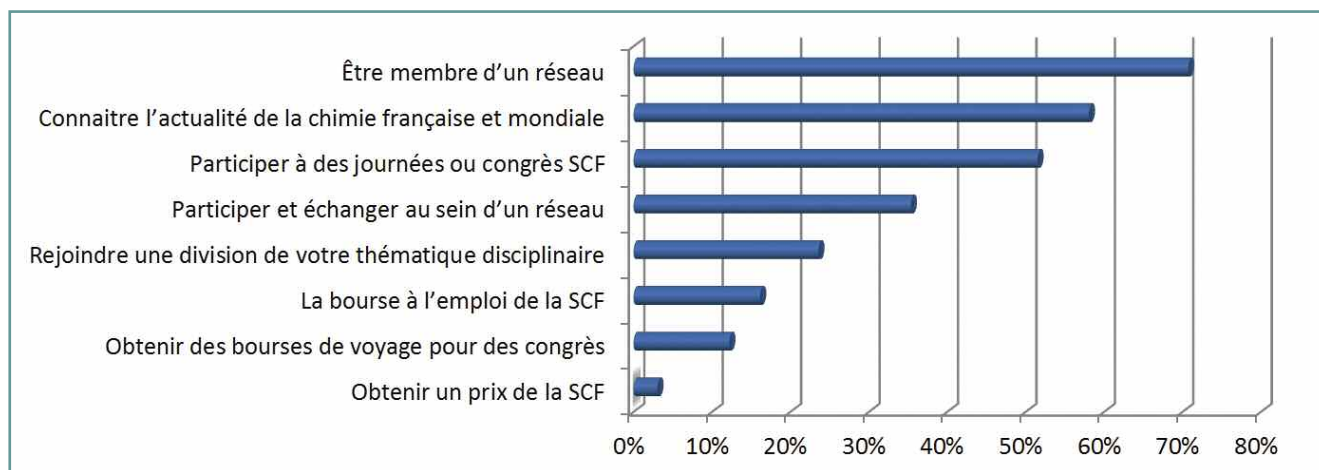


Figure 1 - Réponses des jeunes chimistes à la question « Pour quelles raisons adhérez-vous à la SCF (3 réponses maximum) ? »

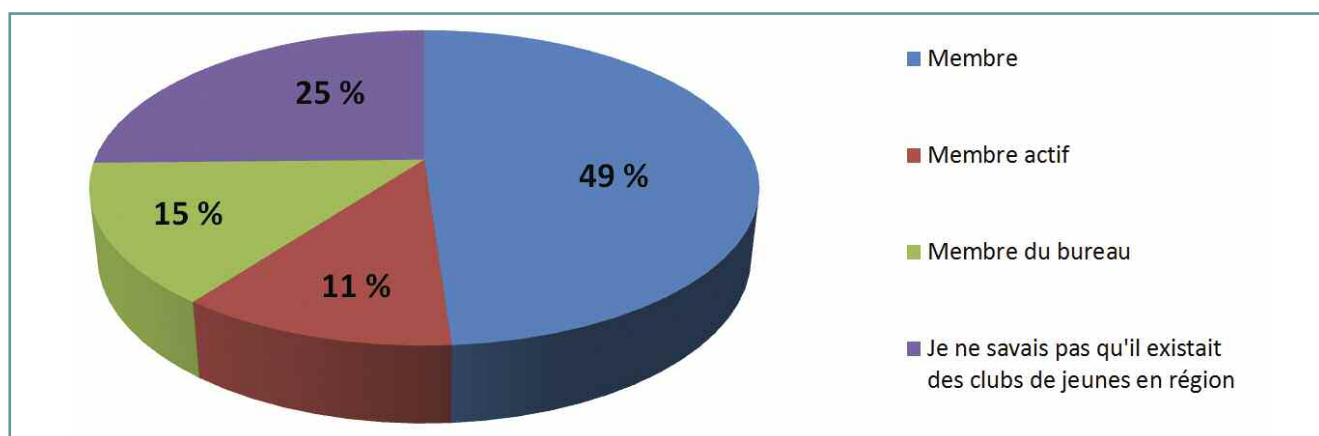


Figure 2 - Réponses des jeunes chimistes à la question « Quelle est votre implication dans votre club de jeunes en région ? »

elles sont surmontées, l'inventivité, l'adaptabilité et la capacité du doctorant à transformer une situation problématique en succès. Une caractéristique du doctorat à ne pas négliger est l'épreuve d'endurance que représente la thèse : obtenir le titre de docteur, c'est aussi faire preuve d'une capacité à gérer un projet sur le long terme et à organiser ses travaux, tout en démontrant une capacité à communiquer et présenter ses résultats. Des atouts à promouvoir lors d'un entretien d'embauche !

Amplifier le réseau de la SCF

Il est clair que la pratique du réseau est beaucoup moins poussée en France, en comparaison à d'autres pays. Cependant, c'est aussi à la SCF de promouvoir l'importance des réseaux, notamment pour la recherche d'emploi ou l'élaboration de nouvelles collaborations. Le rapprochement avec d'autres sociétés savantes est également une attente forte chez les jeunes.

Renforcer la visibilité internationale

Les jeunes souhaitent également voir la SCF s'engager dans des collaborations

avec d'autres sociétés savantes internationales. La création d'un journal français à haut facteur d'impact est souvent évoquée. Il faut donc continuer à communiquer sur le fait que, en plus de *L'Actualité Chimique*, revue de vulgarisation scientifique en français, la SCF est copropriétaire de nombreux journaux (à hauts facteurs d'impact) de ChemPubSoc Europe, publiés par Wiley-VCH : *Chemistry: A European Journal*, *European Journal of Organic Chemistry*, *European Journal of Inorganic Chemistry*, *ChemBioChem*, *ChemMedChem*, *ChemPhysChem*, *ChemSusChem*, *ChemistrySelect*, ainsi que *Analytical and Bioanalytical Chemistry* publié par Springer.

L'investissement dans les clubs de jeunes

Le RJ-SCF développe une stratégie de communication régionale *via* les clubs de jeunes (cdj) pour se faire connaître encore plus et faire adhérer à la SCF plus de jeunes au niveau local. La *figure 2* montre qu'un quart des sondés ayant répondu sont des membres actifs ou

très actifs (membres du Bureau), la moitié se considère comme des « membres du cdj ». Les 25 % des membres ne connaissant pas l'existence des clubs de jeunes appartenaient pour la majorité à des sections régionales où les clubs de jeunes n'étaient plus actifs en 2014. Depuis, plusieurs de ces clubs ont été relancés et sont déjà très actifs !

De plus, 30 % des membres souhaiteraient s'investir dans leur club de jeunes : il faut donc saisir cette opportunité et amener ces jeunes à participer. Un bon moyen de le faire est d'attribuer des responsabilités/missions aux jeunes motivés pour faire vivre et évoluer leur club (responsables de la communication, de la création de bases de données, de l'organisation d'événements, etc.). De plus, la pérennisation des actions de ces clubs devrait motiver davantage les jeunes chimistes à s'investir, grâce à la mise en place d'un système de sauvegarde et de procédures de transmission des informations de bureau en bureau dans chaque club.

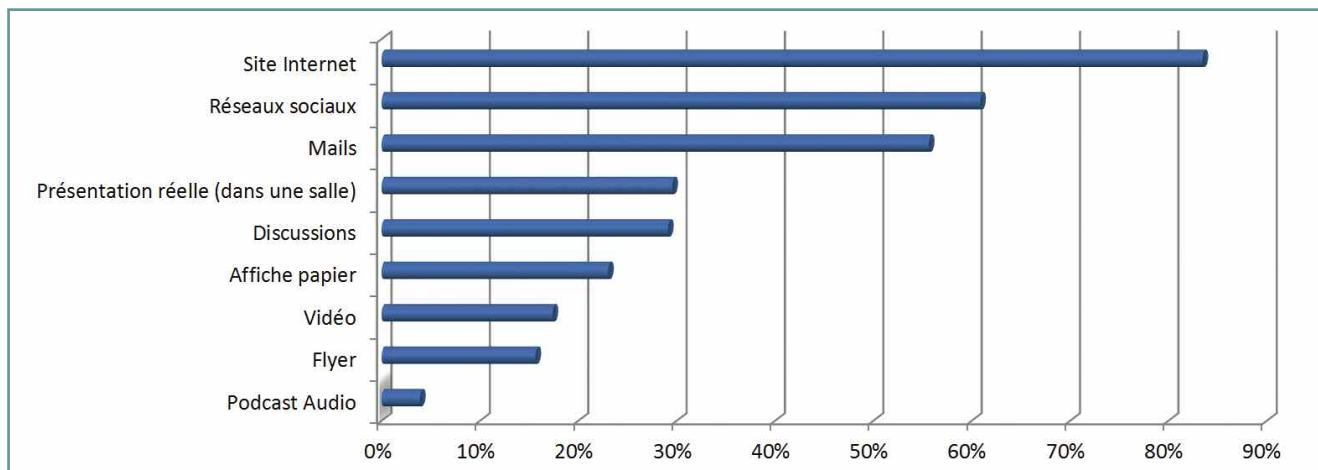


Figure 3 - Réponses des jeunes chimistes à la question « En tant que jeune chimiste, quels sont les moyens de communication les plus efficaces selon vous ? »

De nouvelles actions pour le RJ-SCF ?

De nombreuses idées et plusieurs besoins ont été proposés par les jeunes chimistes concernant les futures actions du réseau.

Action pour l'emploi et l'insertion professionnelle

La principale attente des jeunes est une action globale en faveur de l'emploi, qui est l'une de leurs préoccupations majeures. Le RJ-SCF doit réfléchir aux actions à mettre en place dans ce sens (liste de CV, annuaire en ligne avec classement par mots-clés, visites à thème de sites industriels et laboratoires, diffusion d'informations de grands organismes comme le CNRS, etc.).

Lieu d'échange et congrès national pour les jeunes

La mise en place d'un congrès national destiné aux jeunes avec une partie « scientifique » et une partie « ateliers » (recherche d'emploi, écriture de projets, etc.) est une demande forte. Le RJ-SCF s'organise pour proposer une première édition d'un tel congrès en 2017.

Actions en faveur du grand public et des scolaires

Ces actions sont déjà en place dans plusieurs clubs de jeunes et rencontrent un véritable succès. Le RJ-SCF fera le lien entre les différents clubs pour généraliser l'expérience, en se basant sur les projets existant en régions.

Étendre le réseau

Plusieurs idées ont été énoncées pour amplifier encore le réseau en France, notamment par la promotion des avantages à adhérer à la SCF afin d'inciter les jeunes à rejoindre l'Association. En termes de communication, les jeunes chimistes attendent encore plus d'informations provenant du RJ-SCF, une plus grande visibilité (brochures, affiches, site Internet, etc.). La matérialisation de l'appartenance au réseau est également mise en avant (vente de goodies, création d'une mascotte, etc.). Toutes les idées sont bienvenues, n'hésitez pas à nous contacter !

Défendre les diplômés et les métiers des chimistes

D'une façon globale, cette mission devrait être entreprise plus globalement par la SCF et ses partenaires.

Communiquons !

De façon générale, le site Internet est le moyen de communication le plus utilisé par les jeunes. La diffusion d'actualités *via* les réseaux sociaux ou directement par courriels reste majoritairement appréciée (figure 3).

Le site Internet de la SCF est globalement bien utilisé par les jeunes membres même si des attentes en termes d'améliorations visuelles et de mises à jour ont été répertoriées. Les rubriques les plus consultées sont les actualités, la bourse à l'emploi, et les dates des manifestations et congrès. La page Internet du RJ-SCF* reste peu consultée. Elle doit pourtant devenir un outil essentiel pour le réseau afin d'être plus visible auprès des jeunes chimistes et des éventuels sponsors. La mise en ligne du nouveau site Internet de la SCF devrait permettre ces améliorations.

Maxime Rossato et Grégory Chatel

* www.societechimiquedefrance.fr/1/reseau-des-jeunes-chimistes-de-la-scf.html



Maxime Rossato est doctorant à l'Institut des Biomolécules Max Mousseron de l'Université de Montpellier, en spectrométrie de masse et synthèse organique. Il est membre du Club de Jeunes Languedoc-Roussillon où il a été secrétaire pour l'année 2014-2015. Il faisait également partie des membres fondateurs du Réseau des Jeunes chimistes de la Société Chimique de France (RJ-SCF) en 2014.

Courriel : maxime.rossato@univ-montp2.fr ;
Twitter : @Maxime3469



Grégory Chatel est maître de conférences à l'Université de Poitiers au sein de la Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées (UFR SFA) et de l'Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers (IC2MP). Il est président du RJ-SCF.

Courriel : gregory.chatel@univ-poitiers.fr ;
Twitter : @gregory_chatel

En résumé... de nombreuses pistes à suivre !

L'enquête du RJ-SCF auprès des membres de moins de 35 ans de la SCF a été **un succès** :

1) Elle est représentative en nombre mais aussi en termes de répartition des tranches d'âge, des situations professionnelles et des sections régionales ;
2) Elle donne clairement au RJ-SCF les grandes lignes à suivre pour les prochaines années en termes de fonctionnement et d'objectifs.

Adhérer à la SCF, c'est avant tout adhérer au réseau des chimistes de France !

⇒ Adhérer à la SCF d'une façon globale et éviter de complexifier le système d'adhésion ;

⇒ Travailler sur les avantages de l'adhésion à la SCF, puisque cet intérêt reste encore très limité selon les jeunes ;

⇒ Conserver des tarifs attractifs pour l'adhésion à la SCF en faveur des jeunes.

Une campagne de communication plus forte à développer vers les jeunes !

⇒ Intensifier la communication dans les laboratoires, les universités et les écoles en s'appuyant sur les clubs de jeunes ;

⇒ Mettre en avant des ambassadeurs connus, membres de la SCF ;

⇒ Cibler les chimistes plus tôt dans leurs études (licence, master, IUT, associations étudiantes, etc.) ;

⇒ Organiser une campagne d'adhésions plus insistante et persuasive, preuve que le réseau est actif et vivant ;

⇒ Généraliser le « pack de bienvenue » déjà mis en place par certains clubs de jeunes en régions pour inciter les jeunes chimistes à adhérer ;

⇒ Collaborer davantage avec les laboratoires et l'industrie ;

⇒ Créer une page Internet plus attractive pour le RJ-SCF et pourquoi pas une application mobile ;

⇒ Proposer la vente de goodies à l'effigie du RJ-SCF (matérialisation de l'appartenance au réseau) associée à la création d'une mascotte.

Valoriser le métier de chimiste

⇒ Proposer des actions concrètes pour valoriser le métier de chimiste en France ;

⇒ Proposer des moments d'échanges et de discussion pour réfléchir à la promotion du diplôme de doctorat auprès des entreprises.

Une visibilité internationale

⇒ Collaborer avec d'autres sociétés savantes internationales ;

⇒ Communiquer davantage sur les journaux à hauts facteurs d'impact donc la SCF est copropriétaire ;

⇒ Rendre accessible une partie du site Internet en anglais ;

⇒ Améliorer la visibilité de l'EYCN (European Young Chemists' Network).

Des actions correspondant aux besoins des jeunes chimistes

⇒ Actions pour l'emploi et l'insertion professionnelle ;

⇒ Mise en place d'un congrès national du RJ-SCF ;

⇒ Poursuite des actions en faveur du grand public et des scolaires ;

⇒ Mettre la science au cœur du réseau pour faciliter les collaborations et les échanges.

Une newsletter appréciée !

⇒ Poursuivre la diffusion de la newsletter *SCF Info en ligne* ;

⇒ Réduire sa longueur grâce à l'utilisation de liens hypertextes ;

⇒ Réserver la newsletter comme un avantage uniquement pour les membres de la SCF.

L'Actualité Chimique apprécié, mais peu de jeunes abonnés

⇒ Augmenter la proportion de jeunes abonnés à *L'Actualité Chimique* avec, par exemple, un accès gratuit pour le numéro de décembre ;

⇒ Inciter et inviter les jeunes à publier dans *L'Actualité Chimique* ;

⇒ Des idées et des suggestions ont été adressées au Comité de rédaction (voir numéro d'octobre-novembre 2015 p. 8 : « *Que pensent-ils donc de L'Actualité Chimique ?* »).

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

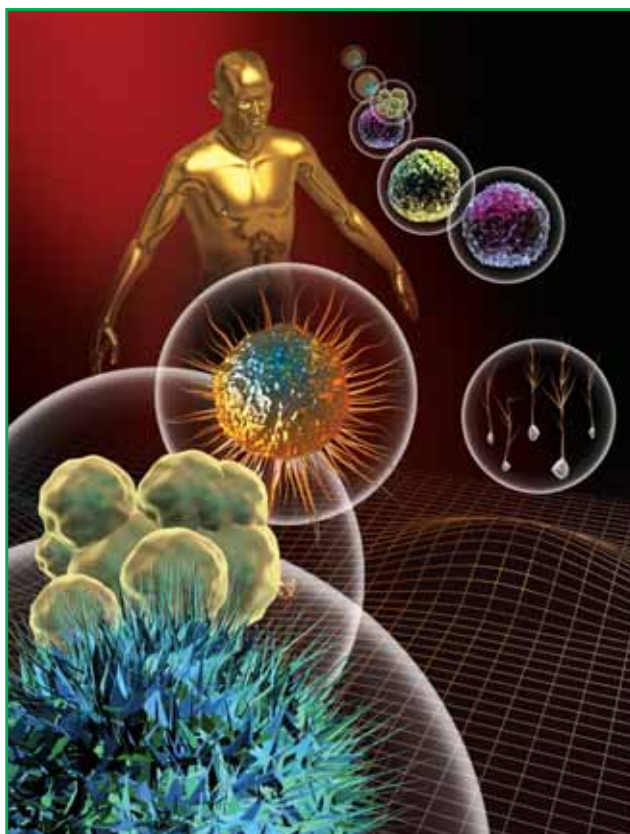
Le site CultureSciences-Chimie est conçu pour assurer une formation scientifique de haut niveau, accessible à tout utilisateur, en particulier aux enseignants.

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 !

Innovation thérapeutique et chimie

Claude Monneret



© Elena Pankova – Fotolia.com.

En dépit de l'apport croissant des biomolécules en thérapeutique, la chimie reste incontournable comme source de médicaments très actifs, sûrs et généralement peu coûteux. Sans vouloir en établir une liste exhaustive, parmi les médicaments les plus récents, on peut ainsi citer les inhibiteurs de kinase en cancérologie, le sofosbuvir pour le traitement révolutionnaire de l'hépatite C, les nouveaux anticoagulants oraux comme le dagibatran. Les immuno-conjugués cytotoxiques comme le brentuximab védotine indiqué dans le cancer du sein HeR2 positif, qui permettent de combiner la spécificité d'un anticorps monoclonal à un agent cytotoxique puissant, nécessitent une liaison covalente, que seuls les chimistes sont en mesure de concevoir et de préparer. Et que dire des molécules chimiques comme l'aspirine ou le paracétamol dont la consommation reste incommensurable.

Aussi peut-on affirmer le rôle toujours éminent de la chimie dans la conception et la mise au point de nouvelles molécules.

Au sein d'une approche multidisciplinaire transversale, la chimie intervient de plus en plus dans la plupart des étapes de la recherche et du développement du médicament, en interaction avec les pharmacologues, les toxicologues et les biologistes. Ceci est lié à la progression des connaissances au niveau moléculaire, de la pénétration, de la distribution et du métabolisme du médicament.

Outre l'apport décisif des nanomédicaments dans l'administration mieux ciblée des médicaments, la chimie a su intégrer des approches bio- et chimio-informatiques qui permettent une réduction des coûts et un gain de temps lors de l'élaboration du médicament, auxquels s'ajoutent des approches de prédictions ADME-Tox expérimentales visant à minimiser leurs effets toxiques avant l'entrée en clinique.

Par ailleurs, la chimie n'est pas une science figée comme l'illustre l'apparition récente de la chimie biologique ou chimie bioorthogonale. Il s'agit d'une chimie biocompatible et hautement sélective, qui peut prendre sa place dans un milieu biologique complexe, sans le dénaturer. Elle permet, entre autres, soit d'analyser les systèmes vivants au niveau moléculaire, soit de bloquer l'activité biologique d'un médicament et/ou favoriser son excrétion.

Autre aspect en pleine évolution, l'intervention du chimiste dans les processus d'inflammation en amont d'une réaction immunitaire, en bloquant l'autophagie, ce mécanisme cellulaire autocatabolique encore appelé autocannibalisme. Ceci prend tout son sens dans une maladie auto-immune comme le lupus, dont il n'existe aucun traitement étiologique à ce jour.

L'ADN constitue une autre cible de choix pour les chimistes avec la mise au point, par exemple, des ARN interférents utilisés pour inactiver des gènes (alternative au « knock-out », en français « invalidation génique ») et comprendre leur fonction. Dans le domaine du cancer, l'ADN simple brin télomérique est le substrat de la télomérase, une enzyme nécessaire à la replication du télomère, qui est surexprimée dans la majorité des cellules cancéreuses. La formation de G-quadruplexes – structure secondaire à quatre brins que peuvent adopter les acides nucléiques (ADN ou ARN) riches en résidus de guanine – au niveau du télomère bloque l'activité de la télomérase, et représente donc une stratégie originale pour rechercher de nouveaux agents anticancéreux. Reste à les stabiliser, ce à quoi s'emploient les chimistes.

Ce texte est le reflet de la réunion bi-académique (Académie nationale de pharmacie et Académie des sciences) intitulée « La chimie au service de la santé » qui s'est tenue le 20 janvier 2016 dans les locaux de la Faculté de pharmacie.*

L'auteur remercie Daniel Mansuy, membre de l'Académie des sciences, pour son aide à la rédaction.

* http://acadpharm.org/seances/html.php?zn=30&lang=fr&id=&id_doc=3045



Claude Monneret est président de l'Académie nationale de pharmacie et directeur de recherche émérite au CNRS*.

* Institut Curie, 26 rue d'Ulm, F-75248 Paris Cedex 05.
Courriel : claudemonneret@curie.fr

Les métaux, ressources minérales des océans

Bernard Commère

Résumé	Les métaux jouent un rôle essentiel dans les progrès de l'humanité. Ressource non renouvelable et encore rarement substituable par des polymères ou plastiques, leur présence dans les grands fonds marins pose la question de leur exploitation et des règles internationales qui doivent prévaloir dans une perspective de développement durable.
Mots-clés	Ressources minérales, nodules, sulfures métalliques, fonds marins, océan, hydrométallurgie, biodiversité marine.
Abstract	Metals, mineral resources of the oceans The metals play an essential role in the progress of humanity. As non-renewable resource still rarely substitutable by polymers or plastics, their presence in deep seabeds raises the question of deep sea mining and international rules that must prevail in a sustainable development perspective.
Keywords	Mineral resources, nodules, metal sulfides, seabeds, ocean, hydrometallurgy, marine biodiversity.

Les métaux ont joué un rôle important dans le progrès de l'humanité. Après avoir donné leur nom à l'âge de bronze ou à l'âge du fer, ils ont permis le fabuleux développement industriel des deux derniers siècles, notamment celui de la chimie (voir encadré 1).

La chimie s'est emparée des métaux comme éléments essentiels de ses découvertes pour la mise en œuvre de ses talents d'architecte (la catalyse par exemple), comme la nature s'en est emparée, probablement dès l'origine de la vie sur Terre, pour construire des biomolécules aussi essentielles et universelles que les chlorophylles, les métalloprotéines, etc.

Si la recherche de substituts ou de compléments aux ressources énergétiques fossiles est envisageable, il en va

différemment pour les métaux dont la seule source autre que minière est le recyclage.

La découverte des ressources de l'océan (71 % de la surface terrestre) a conduit à l'envisager, non seulement au titre d'une étonnante biodiversité, mais aussi comme réservoir pour les besoins futurs de nos sociétés, développées ou en développement. En effet, les explorations scientifiques menées dans les grands fonds depuis les années 1960 ont permis de découvrir des processus géologiques et géochimiques sous-marins actifs, encore mal connus mais sans équivalent en domaine aérien sur la croûte continentale, et qui génèrent de fortes concentrations de métaux [1a].

Cependant, la difficulté d'accès aux profondeurs où se trouvent les concrétions, et la complexité et la probable fragilité du milieu rendent leur exploitation encore aléatoire. Les enjeux sont tels que, en préalable à toute action, la communauté internationale s'est donné des règles pour gouverner l'exploitation des grands fonds marins.

Ces questions et leurs développements récents, au-delà des aspects techniques liés à une telle exploitation, font l'objet de cet article.

Exploitation et règles internationales

Préoccupée par la menace d'une appropriation abusive de ces ressources, l'Assemblée générale des Nations unies (1970, 25^e assemblée) a qualifié de « patrimoine mondial » (résolution 2749) le fond des mers et des océans situé au-delà des limites des juridictions nationales. La Convention des Nations unies sur le droit de la mer, signée en 1982, prévoit ainsi que la zone qui se situe en dehors des juridictions nationales doit être utilisée « à des fins exclusivement pacifiques » et exploitée « dans l'intérêt de l'humanité tout entière ».

L'Autorité internationale des fonds marins (AIFM), organisme intergouvernemental fondé en 1994 sous l'égide des Nations unies, instaure ainsi un régime d'appropriation collective et un contrôle de toutes les activités relatives aux ressources minérales des fonds marins et des activités connexes

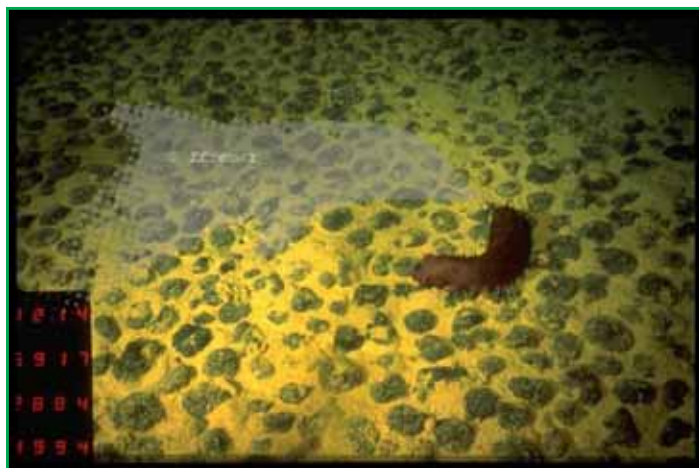
Encadré 1

Les besoins en métaux, courte histoire

Les premières traces de l'utilisation des ressources minérales remontent à environ 5 000 ans avant notre ère, avec l'apparition de la métallurgie du cuivre, suivie de celle du bronze vers - 2600, puis du fer 1 000 ans plus tard. Jusqu'au XIX^e siècle, cinq métaux, l'or, l'argent, le cuivre, l'étain et le plomb, ont structuré les relations économiques et géopolitiques des peuples et des nations.

Au début des années 1980, une douzaine d'éléments chimiques métalliques étaient utilisés par l'industrie. Vingt ans plus tard, plus de 45 éléments différents sont mobilisés par l'avènement des nouvelles technologies, y compris des terres rares trouvées sous forme de traces dans des gisements d'éléments plus abondants, sur lesquelles la Chine s'est constitué un quasi-monopole, puisqu'en 2011 elle a produit 98 % des terres rares mondiales.

Les disparités mondiales sont importantes. Au cours de sa vie, un occidental contemporain utilise 340 kg de plomb dans les batteries, 360 kg de zinc pour les toitures, 660 kg de cuivre pour ses câbles électriques, 1 600 kg d'aluminium, et 14 tonnes de fer pour les aciers divers. En revanche, dans les pays en développement, les consommations sont bien moindres, mais l'émergence économique crée une demande très forte. Ainsi en Chine, la consommation moyenne par habitant et par an est passée de 0,66 kg de zinc en 1996 à 1,07 kg en 2000, puis à 3 kg en 2010.



Holothurie sur plage de nodules dans le Pacifique central Nord.

(exploration, transport) dans la zone internationale des fonds marins hors des limites des juridictions nationales, soit la plus grande partie des aires marines mondiales. L'extension des plateaux continentaux nationaux a, très naturellement, fait l'objet de longues études et de négociations acharnées. Ce n'est qu'en septembre 2015 que les premiers décrets de délimitation français correspondants ont pu être publiés.

Mais déjà, au début des années 2000, l'AIFM avait adopté un premier règlement concernant les nodules polymétalliques. Ces concrétions riches en manganèse, cobalt, cuivre et nickel se forment sur certains grands fonds. Densément présents par endroits, notamment dans la partie centrale de l'océan Pacifique ainsi que dans l'océan Indien, ces nodules ont suscité l'intérêt d'une quinzaine d'États qui ont sollicité des permis exclusifs d'exploration auprès de l'AIFM [1b]. Néanmoins, quinze ans plus tard, à quelques mois des échéances de ces permis, aucun titulaire n'a manifesté l'intention de passer à une phase d'exploitation industrielle.

Au début des années 2010, l'intérêt industriel s'est déplacé des nodules vers les sulfures polymétalliques et les encroûtements cobaltifères. De nouveaux règlements spécifiques ont été adoptés par l'AIFM, et plusieurs pays ont demandé de nouveaux permis d'exploration (voir encadré 2).

Aspects technologiques et innovation

En mer comme à terre, quatre méthodes principales permettent de recueillir des minéraux : le raclage de la surface, l'excavation, le creusement d'une galerie pour accéder aux gisements sous la surface ou le forage du gisement et sa fluidification. Une fois le matériau du gisement prélevé, il doit être transporté jusqu'aux installations où il sera concentré ou traité puis raffiné pour donner un produit commercialisable.

Dans les grands fonds sous-marins, les opérations sont commandées à distance à partir d'une plate-forme flottant en surface. Des premiers essais avec des systèmes de ramassage des sulfures polymétalliques à des profondeurs de 1 700 m montrent que l'exploitation de ce type de gisement semble possible du point de vue technique.

Le concours mondial de l'innovation lancé par la France en 2014 a retenu, dans sa phase 2, deux projets complémentaires : FONASURF (acronyme pour « du fond à la surface ») porté par Technip, qui vise à concevoir un système complet pour l'exploitation minière en eaux profondes, et « MELODI » (Magnetic and Electromagnetic Ore DetectIon),

porté par CREOCEAN, qui propose des techniques innovantes de détection pour l'exploration à l'échelle régionale, la caractérisation à l'échelle locale, compatibles avec des objectifs industriels crédibles.

L'hydrométallurgie [2-3], dont le développement est lié à celui de la chimie, permet de séparer et valoriser des ressources naturelles jusqu'ici considérées comme non accessibles. Ce procédé de traitement consiste à dissoudre les différents métaux contenus dans un minerai ou un concentré afin de les séparer pour les valoriser. Il s'avère particulièrement prometteur car moins gourmand en énergie que la métallurgie « classique » et produisant moins de déchets. Il permettra de valoriser les métaux classiques tels que le nickel, et aussi les métaux rares (terres rares, tantale, lithium, niobium...). Le point limitant reste néanmoins le développement de la capacité à traiter en continu. Le développement de pilotes pour la mise au point de ces technologies reste incontournable. Parallèlement, il est essentiel de développer le recyclage tant des chutes de production minières que des produits en fin de vie.

Développement durable

La plus grande surprise suscitée par l'exploration des fonds marins fut la découverte de la richesse de la vie et de la biodiversité qu'ils hébergent [1c], encore largement méconnue, ainsi que les services écosystémiques qu'elle fournit. En 2014, l'analyse des impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes a fait l'objet d'une expertise collective [4] qui s'appuie sur un corpus de

Encadré 2

Projets en cours et perspectives

La Russie soutient un important programme d'exploration et d'inventaire des ressources minérales hydrothermales le long de la dorsale Atlantique et vient d'obtenir un permis d'exploration dans l'Atlantique nord auprès de l'AIFM.

La Chine a obtenu en 2011 un permis dans l'océan Indien et conduit des campagnes en mer en vue de demander un second permis dans l'Atlantique sud.

Le Brésil a mis en place en 2011 un ambitieux programme pour l'exploration des sulfures et encroûtements métalliques dans l'Atlantique sud. Il a déposé en 2014 une demande de permis concernant les encroûtements cobaltifères sur l'élévation du Rio Grande en Atlantique sud.

L'Inde s'équipe de technologies spécifiques pour l'exploration des grands fonds dans l'océan Indien.

Le Japon, les États-Unis et l'Allemagne considèrent les métaux marins dans leurs priorités à moyen terme.

La Corée du Sud mène un programme d'exploration centré sur les ressources minérales des grands fonds et a obtenu un permis dans la zone économique exclusive (ZEE) des Tonga.

Des permis d'exploration ont été déposés sur cinq champs hydrothermaux dans l'ouest du Pacifique par les sociétés privées Nautilus Minerals (230 000 km²) et Neptune Minerals (264 000 km²).

Le premier projet industriel mondial, porté par Nautilus, a obtenu un permis exclusif pour installer un site d'exploitation pilote dans la ZEE de Papouasie-Nouvelle Guinée. Nautilus prépare l'exploitation de dépôts hydrothermaux situés à 1 700 m de profondeur.

Les principaux acteurs industriels français intéressés, la société d'ingénierie pétrolière française Technip et l'opérateur minier Eramet, ont entrepris de créer une filière technologique de niveau mondial. En s'appuyant sur l'expertise de l'Ifremer, ils ont initié une action pilote d'exploration dans la ZEE de Wallis et Futuna. Technip est également au premier rang auprès de Nautilus et de Neptune pour réaliser les équipements nécessaires à l'exploitation des minerais sulfurés par grande profondeur.

plus de 13 900 références, dont 2 000 considérées comme d'intérêt majeur. Cette expertise conclut que les techniques d'exploration, de connaissance et de suivi des grands fonds océaniques sont souvent peu ou non invasives et ne nécessitent généralement pas d'étude d'impact au sens de l'AIFM. Seul le prélèvement de nodules est soumis à une étude d'impact lorsqu'il est destiné à évaluer des teneurs moyennes, et donc l'intérêt économique, d'une zone dont l'aire dépasse 10 000 m².

Pour la plupart des systèmes envisagés, les techniques d'exploitation comportent des éléments communs : des éléments posés sur le fond assurant l'extraction du minerai, des éléments flottant dans la colonne d'eau pour la remontée du minerai, et en surface, un navire assurant le prétraitement du minerai à bord ainsi que l'unité de commande de l'ensemble. Les experts estiment encore très difficile d'évaluer l'impact potentiel de ces techniques qui n'en sont qu'au stade de concepts, de modèles ou au mieux de prototypes, d'autant que leurs caractéristiques restent encore mal définies ou confidentielles.

Quels sont les risques liés à l'exploitation ?

Sur le fond marin : la destruction du milieu (habitat et faune) provoquée par l'extraction dans la zone exploitée ; la mise en suspension de sédiments et de particules métalliques et l'effet de leur redéposition, pouvant par exemple provoquer l'étouffement des organismes fixés ; les vibrations induites par l'extraction ; la lumière.

Sur le lieu du rejet en mer de l'eau remontée avec le minerai, en surface ou à proximité du site d'extraction, suivant les cas : le transfert de masses d'eau de caractéristiques physico-chimiques différentes ; le rejet de particules fines après filtration, plus dangereuses pour les espèces que les grosses particules.

En surface : la dispersion de minerai en éléments de toutes tailles, depuis le navire ; le bruit causé par les moteurs, les pompes et autres systèmes.

À ces risques, qui devront faire l'objet d'une vigilance en conduite normale d'opérations, s'ajouteront les risques de

dispersion accidentelle de minerai lors de transferts sur le navire, ou de ruptures ou de fuites de l'unité de remontée, qui pourraient affecter toute la colonne d'eau.

Vers une stratégie française dans un contexte mondial

La France, qui possède le deuxième territoire maritime au niveau mondial, est particulièrement concernée par ces enjeux. Forte à la fois d'établissements scientifiques très investis dans la connaissance des environnements profonds et de sociétés minières et d'ingénierie de rang mondial, elle a la capacité de convertir ce potentiel en véritables opportunités économiques.

Mais elle a aussi l'obligation de concilier ces activités avec la préservation des milieux océaniques profonds et de l'ensemble des services qu'ils peuvent rendre à la société, qui restent, pour une part d'entre eux, encore très mal connus.

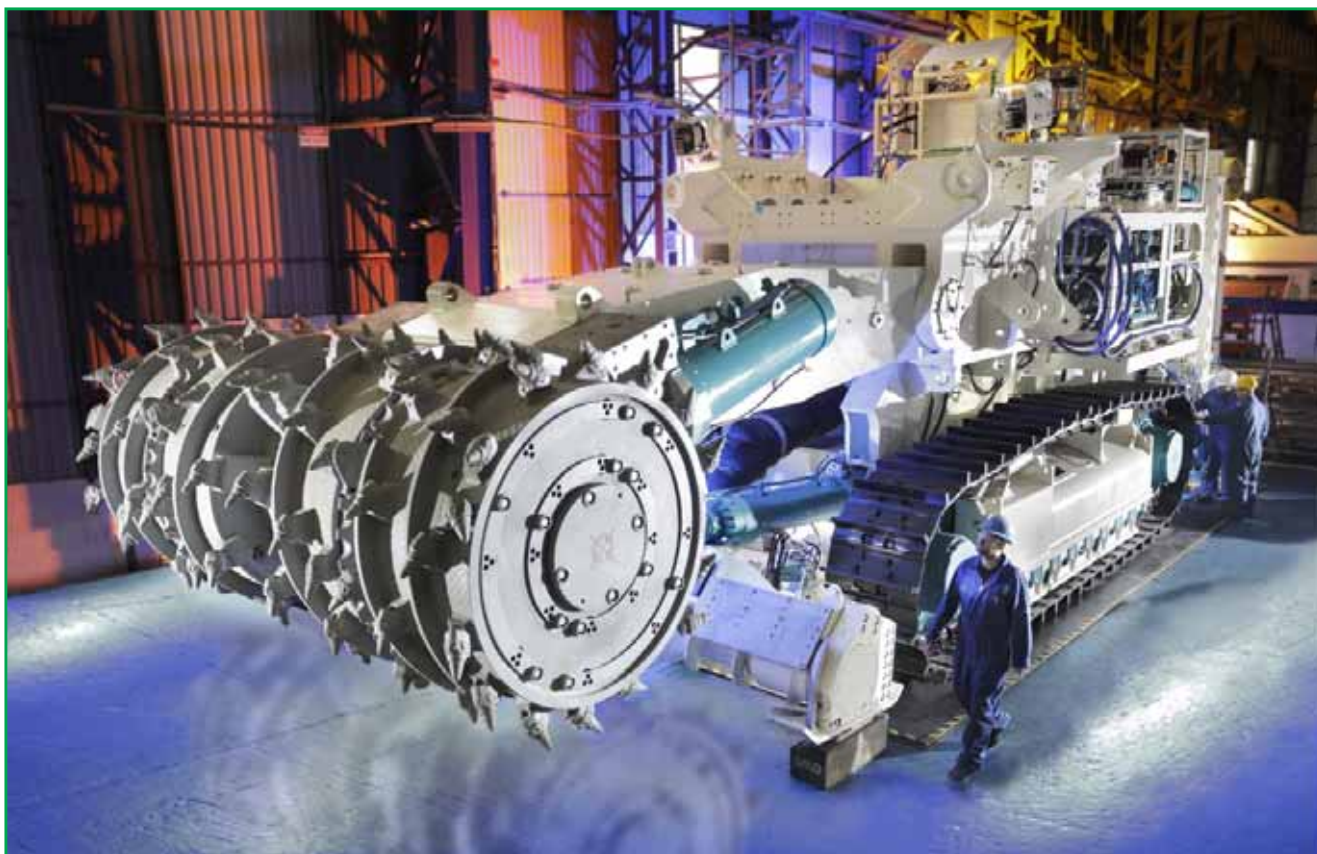
Afin de coordonner les acteurs, le Comité interministériel de la mer (CIMer) a décidé en décembre 2013 de confier aux ministères concernés le pilotage d'un programme national de recherche et d'accès aux ressources minérales des grands fonds marins, associant notamment l'Ifremer, le CNRS et les universités. Ce programme comporte les volets suivants :

- l'acquisition des connaissances (ressources minérales, biodiversité) et le développement des compétences associées avec trois zones d'intervention : plateau continental français, dans la zone de Clarion-Clipperton (permis nodules AIFM) et en zone Atlantique nord (permis sulfures AIFM) ;
- l'identification des conséquences environnementales de l'exploration et de l'exploitation des ressources minérales profondes en vue de leur maîtrise (expertise collective, cf. supra) ;
- le développement des technologies d'exploitation et de valorisation des ressources minières respectueuses de la biodiversité, grâce à la mobilisation des financements prévus au titre de la valorisation des richesses marines dans le cadre du volet « programme de soutien à l'innovation majeure » du programme des investissements d'avenir (PIA) ;



© Ifremer – Victor/Campagne Serpentine 2007.

Pince du robot téléopéré Victor 6000 de l'Ifremer à proximité d'un fumeur noir, sur un site hydrothermal de la dorsale médio-atlantique.



Le « Bulk Cutter », machine conçue pour l'exploitation des ressources minérales marines.

- une recherche systématique de partenariats public-privé, notamment pour la poursuite des campagnes déjà lancées.

Découvertes dans les années 1960, les ressources minérales marines représentent une opportunité stratégique pour les pays industriels. À la différence des ressources terrestres placées sous le contrôle des États, dont les géostratégies ont conduit à des situations de quasi-monopole menaçant les équilibres mondiaux, la régulation de l'accès aux zones internationales, conduite sous l'égide de l'ONU, s'attache à préserver l'accès pacifique dans le respect de l'environnement et dans l'intérêt de l'humanité. Dans ce contexte, une bonne coordination entre l'Autorité internationale, les États et les industriels est essentielle pour optimiser les investissements importants à réaliser en fonction des perspectives économiques de valorisation.

Références

- [1] *La chimie et la mer*, M.-T. Dinh-Audouin (coord.), Collection « Chimie et... », EDP Sciences/Maison de la Chimie/L'Actualité Chimique, **2009**, a) Fouquet Y., Les ressources minérales du futur sont-elles au fond des mers ?, p. 55-80 ; b) Herrouin G., L'exploitation des nodules polymétalliques : utopie ou réalité ?, p. 81-98 ; c) Desbroyères D., Du minéral à la vie : les oasis des grands fonds, p. 121-134.

- [2] Rizet L., Charpentier P.E., Métallurgie extractive - Hydrométallurgie (réf. Internet M2235), Métallurgie extractive et recyclage des métaux de transition (réf. Internet 42369), Élaboration et recyclage des métaux (réf. Internet ti554), *Techniques de l'Ingénieur*, **2000**.
- [3] Vignes J.-L., Jehanne Y., L'hydrométallurgie, *Le Bup*, **2003**, 97, p. 1281.
- [4] Dymont J., Lallier F., Lamare S., Le Bris N., Rouxel O., Sarradin P.M., *Impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes*, Synthèse du rapport de l'expertise scientifique collective, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, **2014**.



Bernard Commère

est ingénieur général des ponts, des eaux et des forêts, chargé de mission au Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche*.

- * Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, Direction générale de la recherche et de l'innovation, Service de la performance, du financement et de la contractualisation avec les organismes, Département B3 – Analyse des politiques d'organismes et enjeux territoriaux, 1 rue Descartes, F-75231 Paris Cedex 05.
Courriel : bernard.commere@recherche.gouv.fr



“La Chimie pour le Photovoltaïque”

Au cours des dernières années la chimie s'est progressivement imposée comme une science au cœur des innovations dans le domaine photovoltaïque. Matériaux, procédés, nouveaux concepts, de nombreuses avancées sont issues des travaux des chimistes. On peut citer en particulier les avancées dans le domaine du photovoltaïque organique et hybride avec les résultats spectaculaires obtenus avec les pérovskites, du type iodure de méthylammonium de plomb, qui viennent de franchir la barre des 20% de rendement. D'autres développements concernent les nouveaux matériaux chalcogénures de la famille des kesterites $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$. Lorsque l'on ajoute les avancées sur la filière silicium, la photonique, les aspects théoriques, le photovoltaïque est en pleine effervescence, porté également par les enjeux sur l'énergie et le climat exprimés lors de la COP21.

En France, ces travaux sont actuellement menés au sein de l'**Institut Photovoltaïque Ile de France (IPVF)** dont le bâtiment commence à sortir de terre sur le nouveau campus de **Paris Saclay** et qui constituera un des pôles pour le développement du photovoltaïque au niveau mondial.



L'**IPVF** s'appuie sur un réseau national de compétences issu de ses partenaires (EDF, Total, CNRS, Ecole Polytechnique, Air Liquide, Horiba Jobin Yvon, Riber) et de leurs laboratoires associés, qui collaborent déjà dans les programmes de recherche. Site web : www.ipvf.fr

Les laboratoires académiques associés à l'**IPVF (IRDEP, LPICM, LPN, ILV, ICUBE, FOTON, IM2NP, IMN, INL)** sont regroupés au sein de la **fédération photovoltaïque du CNRS**. Elle organise chaque année les Journées Nationales de Photovoltaïque (CNRS) qui ont lieu à Dourdan durant la première semaine de décembre.
Site web : <http://fedpv.geeps.centralesupelec.fr>

L'**Institut de Recherche et Développement sur l'Energie Photovoltaïque (IRDEP)**, unité mixte de recherche entre EDF, le CNRS et Chimie Paristech, est au cœur de la construction de l'**IPVF**. Il développe en particulier, depuis des années, une interface privilégiée avec la chimie dont il est issu.

Site web : <http://www.irdep.cnrs-bellevue.fr>

Contact : Daniel.Lincot@chimie-paristech.fr



Perspective du bâtiment de l'IPVF, qui devrait être livré la mi-2017 (crédit Pargade Architecte)



IRDEP INSTITUT DE R&D SUR L'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE



Prochaine manifestation scientifique

Journées annuelles sur les pérovskites hybrides,
17-18 mai 2016, Rennes.

<http://foton.cnrs.fr/v2012/spip.php?article1238>

Le mandipropamide contre les oomycètes

L'apport des réactions multicomposants à la phytochimie

William Erb et Nacim Abermil

Résumé	Le mandipropamide, commercialisé depuis 2005 sous les appellations Revus® et Pergado®, est l'un des composés phytosanitaires développés pour lutter contre les oomycètes, notamment responsables du mildiou de la vigne, des pommes de terre et des tomates. Cet article revient sur le développement de cette molécule, en partant des oomycètes pour aboutir aux études de son effet sur le goût d'un vin blanc, en passant par les différentes approches synthétiques développées.
Mots-clés	Mandipropamide, Revus®, Pergado®, oomycètes, mildiou, agrochimie, réactions multicomposants, développement de procédés.
Abstract	Mandipropamid against oomycetes Mandipropamid, actually sold as Revus® and Pergado®, is one of the agrochemical compound developed for the fight against oomycetes, responsible of grape, potatoes and tomatoes mildew. This article presents the development of this molecule, starting from the oomycete infection to recent studies dedicated to its effect on the taste of a white wine, with a critical view on the different synthetic approaches developed.
Keywords	Mandipropamid, Revus®, Pergado®, oomycetes, mildew, agrochemicals, multicomponent reactions, process development.

Peu connus du grand public, les oomycètes sont les organismes responsables d'un ensemble de maladies affectant plusieurs espèces de plantes : le mildiou. Leur traitement a longtemps reposé sur l'emploi de dérivés métalliques, telle la bouillie bordelaise introduite en 1885. De nouveaux fongicides plus efficaces ont cependant fait leur apparition ces dernières décennies, tel le mandipropamide. Nous revenons dans cet article sur l'histoire de cette molécule, depuis sa découverte à la fin des années 1990 jusqu'à sa commercialisation en 2005.

Oomycètes : maladies et traitements

La famille des oomycètes, rattachée à la classe des straménopiles, regroupe plus de 800 espèces eucaryotes (comportant un noyau et des mitochondries), aquatiques ou terrestres [1]. Si certains membres des oomycètes ont des effets positifs (notamment les saprophytes qui décomposent et recyclent la matière organique), d'autres sont pathogènes et causent diverses maladies. Ainsi le *Phytophthora sojae* est responsable du pourrissement des racines de soja, tandis que le duo *Phytophthora palmivora* et *Phytophthora megakarya* est l'une des causes de la pourriture cubique des

cabosses de cacao. Les organismes les plus pathogènes restent le *Plasmopara viticola* et le *Phytophthora infestans* [2]. Le premier est associé au mildiou de la vigne, qui s'attaque aux feuilles et aux grappes, le second agit sur les cultures de pommes de terre et de tomates (figure 1). L'introduction au début des années 1840 de ce microorganisme en Europe, à partir de l'Amérique du Nord ou du Sud, fut ainsi responsable de la grande famine en Irlande (1845-1851) et il reste encore la principale cause de la perte des récoltes [3].



Figure 1 - Grappe de raisin (© The Ohio State University) et pomme de terre (© United States Department of Agriculture) infectées.

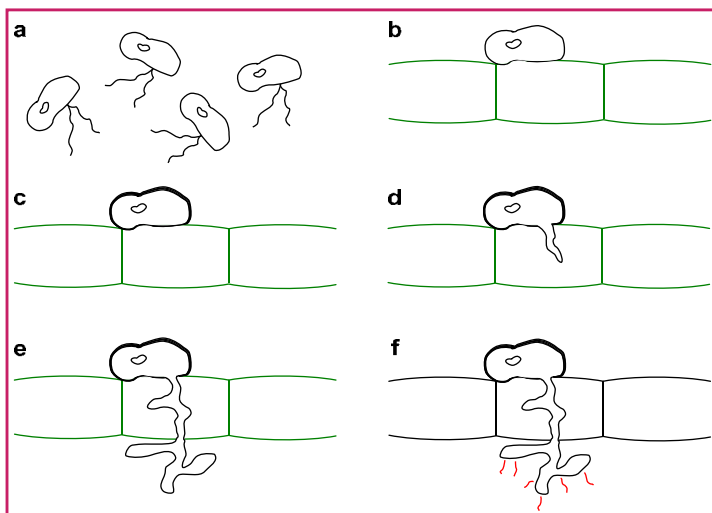


Figure 2 - Représentation schématique de l'infection : a) zoospores libres ; b) zoospore fixé sur la paroi cellulaire ; c) enkystement ; d) germination ; e) développement dans la plante ; f) émission de médiateurs chimiques et nécrose de la plante.

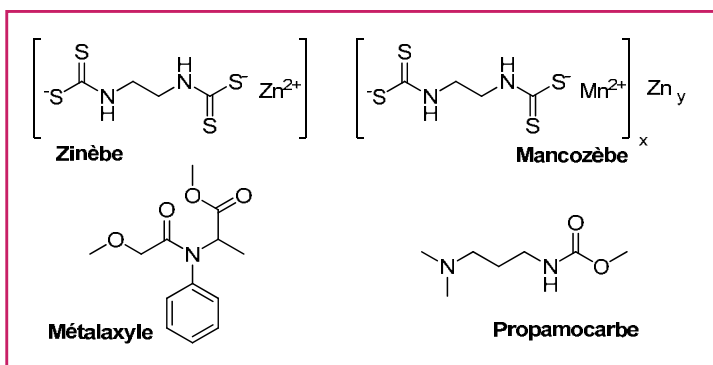


Figure 3 - Antifongiques employés contre le mildiou.

Le développement d'une infection causée par ces organismes débute par l'émission de zoospores (cellules de reproduction asexuée), capables de se déplacer en milieu aqueux (gouttes de pluie à la surface des plantes) en utilisant deux flagelles servant à propulser et diriger la cellule (figure 2) [4]. Ils disposent de plus de mécanismes de reconnaissance de leur hôte, basés sur des informations chimiques et électrostatiques, et vont se fixer sur celui-ci puis s'enkyster en formant une paroi cellulaire. La spore va ensuite germer en produisant un tube de germination dirigé vers son hôte, pénétrant les tissus sains. L'organisme se développe alors dans la plante et émet des médiateurs chimiques entraînant la dérégulation de la machinerie enzymatique des cellules et aboutissant à des lésions nécrotiques, signes visibles de la maladie.

Différents traitements existent face à ces infections. Le plus connu est la bouillie bordelaise, un mélange de sulfate de cuivre et d'hydroxyde de calcium, découvert en 1883. Bien que toujours utilisé, ce mélange présente des problèmes d'accumulation du cuivre dans les sols, pouvant à terme perturber de nombreux processus biologiques. Des effets nocifs vis-à-vis des travailleurs agricoles sont également connus [5]. Le milieu des années 1940 voit le développement d'une nouvelle famille de fongicides basée sur une structure éthylène bithiocarbamate, avec notamment le zinèbe et le mancozèbe (figure 3).

Ces traitements consistent en l'emploi de dérivés métalliques qui soulèvent des interrogations d'ordre environnemen-

tal. Les chercheurs s'orientent alors vers des molécules organiques pour le développement des fongicides de seconde génération [6]. Lancé en 1977, le métalaxyle est le premier représentant de la classe des phénylamides, caractérisé par une action préventive de longue durée, une excellente activité curative et un profil toxicologique attractif. Le propamocarbe est commercialisé peu après avec des résultats similaires. Cependant, plusieurs points poussent les chercheurs à développer de nouvelles classes de molécules : l'apparition de résistance des microorganismes, la nécessité d'employer de grandes quantités de produit pour traiter un hectare de culture, et la durée de vie des brevets (vingt ans), qui implique un besoin d'innovation permanent.

Le développement du mandipropamide

L'origine du mandipropamide se trouve dans des programmes de recherche des laboratoires Bayer et BASF [7]. Dès 1990, le premier publie ses travaux sur des antifongiques dérivés d'acides aminés possédant une fonction carbamate, qui aboutissent à la commercialisation de l'iprovalicarbe **1** (figure 4). En 1992, le second décrit des structures apparentées, avec notamment le dérivé **2**, qui partage la même partie N-carbamoyl-valine. Face à ces résultats, les chercheurs du laboratoire Syngenta décident alors de travailler sur des analogues de **1** et **2** où la fonction carbamate serait remplacée par d'autres groupes polaires.

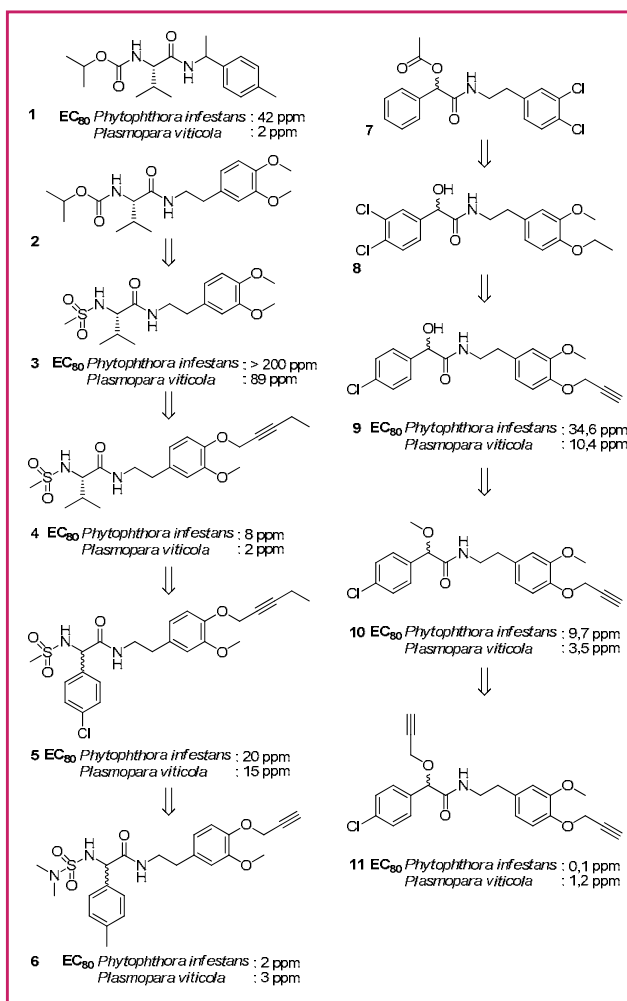


Figure 4 - Développement du mandipropamide.

EC_{50} : concentration en principe actif à laquelle 80 % de la croissance du pathogène est inhibée.

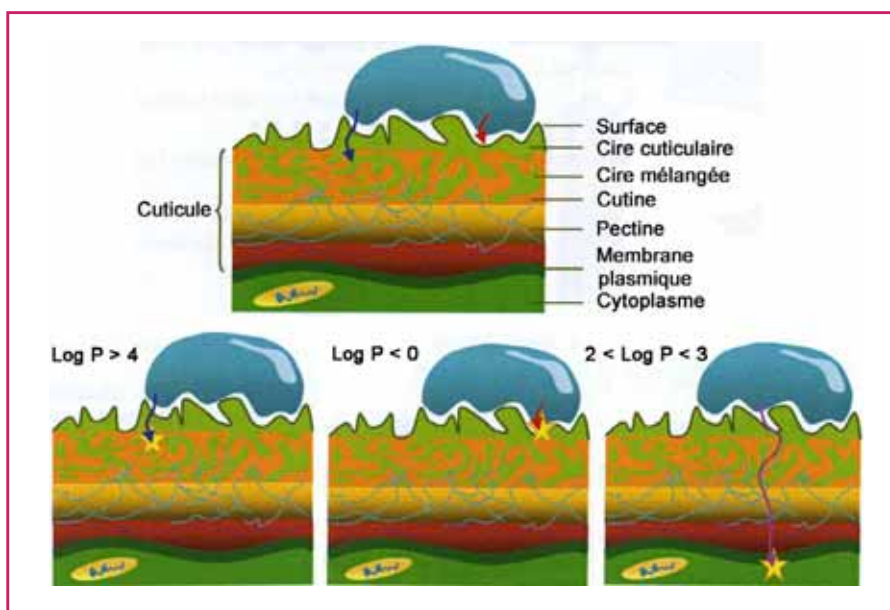


Figure 5 - En haut : coupe d'une feuille. En bas : pénétration des phytosanitaires en fonction du log P (adapté de [13]).

Une sulfonamide peut ainsi remplir ce rôle avec le composé **3**, dont l'activité biologique justifie la poursuite du programme par la variation systématique des substituants [8]. Un premier gain d'activité est obtenu en remplaçant l'un des méthyles phénoliques par un groupe propargyle substitué (**4**). Cependant, toute modification supplémentaire de cette chaîne tend à diminuer l'activité biologique. Des acides aminés portant des groupes lipophiles (isopropyle ou *s*-butyle) sont préférables à ceux portant des groupes polaires (alcool, acide, thioéther), tandis que les molécules présentant la meilleure activité sont de configuration (*S*). Cependant, il apparaît que le dérivé **5**, basé sur la 4-chlorophénylglycine racémique, apporte une importante simplification synthétique, la configuration n'étant plus à contrôler, tout en gardant une bonne activité biologique. Finalement, trois modifications supplémentaires conduisent à **6**, présentant une excellente activité sur les deux souches d'oomycètes.

Une série d'amides dérivés de l'acide mandélique (acide phénylglycolique) est parallèlement étudiée. En effet, dès 1986, Yu et Van Scott montrent que le composé **7** possède une activité contre certains champignons responsables de mycoses [9]. Poursuivant ces travaux, des chimistes de Bayer montrent en 1990 que le dérivé **8** présente une bonne activité antifongique sur *P. viticola* et *P. infestans* [10]. En se basant sur les résultats obtenus dans la série valine-sulfonamide, les chercheurs de Syngenta préparent le dérivé **9**, qui présente une activité biologique modérée mais non négligeable [11]. L'alkylation de l'alcool benzylique permet un gain d'activité (**10**), celui-ci augmentant avec la longueur et le degré d'insaturation, les meilleurs résultats étant obtenus avec un groupe propargylique (**11**). La nature et la position du substituant sur le noyau aromatique de gauche ont une influence, un petit groupe lipophile en position para étant préféré [12]. De tous les dérivés préparés, le mandipropamide **11** fait preuve de la meilleure activité sur les deux souches d'oomycètes et est commercialisé en 2005 sous la forme d'une suspension aqueuse à pulvériser, sous l'appellation Revus® pour les cultures de pommes de terre et Pergado® pour la vigne. Notons que le mandipropamide est désormais commercialisé sous différentes appellations en fonction de son association avec d'autres fongicides et du type de cultures à traiter.

Activité biologique et mode d'action

Pour être correctement absorbé par les feuilles, un composé phytosanitaire doit posséder un certain équilibre entre hydro- et lipophilie, les feuilles étant protégées par des couches de différentes natures – des dépôts de cire, la cuticule (un polymère lipidique) et des pectines (chaînes polyosidiques hydrophiles) – (figure 5).

Plusieurs propriétés physico-chimiques sont ainsi à prendre en compte telles la lipophilie et la solubilité dans l'eau. Le coefficient de partage *P* va permettre de quantifier la lipophilie, trois cas se présentant :

- $\log P > 4$: le composé est lipophile et reste confiné dans la cire mélangée ;
- $\log P < 0$: le composé est hydrophile et reste à la surface de la feuille ;
- $2 < \log P < 3$: le composé franchit l'ensemble des couches et est distribué dans toute la plante.

Finalement, plus la solubilité dans l'eau sera élevée, plus le composé sera absorbé par les racines, mais plus il risque également d'être perdu dans le sol.

Avec un log *P* de 3,2, le mandipropamide va se fixer dans les membranes lipidiques des feuilles et migrer partiellement dans les tissus pour exercer une activité systémique [14]. Sa solubilité intermédiaire dans l'eau (4,2 mg/L) assure une distribution dans la plante, tout en limitant les pertes par lessivage par la pluie. Il est de plus non persistant dans les sols, limitant ainsi les risques de contamination des eaux souterraines. Le mandipropamide présente de plus un profil toxicologique attractif (tableau I) ; il est estimé que le manipulateur n'est exposé qu'à 1 % de la quantité quotidienne maximale sans effet dangereux pour sa santé lorsque la pulvérisation s'effectue à l'aide d'un tracteur avec cabine. Une valeur suffisamment faible pour garantir la sécurité des professionnels ainsi que celle des personnes habitant à proximité des champs [15].

Au-delà de l'intérêt économique, le développement de ce composé a permis aux chercheurs de mieux comprendre le mécanisme d'action des antifongiques de cette famille.

Dès 1995, il est ainsi proposé que ces composés agissent en bloquant l'une des étapes de la formation de la paroi cellulaire après attachement des zoospores à leur hôte [16]. En 2007, il est ensuite prouvé que le mandipropamide inhibe la formation du tube de germination d'une spore, bloquant ainsi son développement [17]. Finalement en 2010, il est proposé que le mandipropamide exerce cette action en bloquant la formation de pores permettant l'expulsion des chaînes de cellulose vers la paroi cellulaire [18].

Si des mutants naturels de *P. viticola* résistants au mandipropamide sont connus depuis une dizaine d'années, il

Tableau I - Doses létales du mandipropamide.

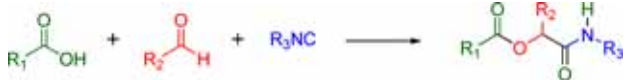
Organisme et mode d'exposition	Dose létale médiane (LD ₅₀ ou LC ₅₀)
Rat – voie orale	> 5 000 mg/kg
Truite arc-en-ciel	> 2,9 mg/L
Ver de terre	> 1 000 mg/kg de terre
Abeille – voie orale	> 200 µg/abeille

Réactions de Ugi et Passerini

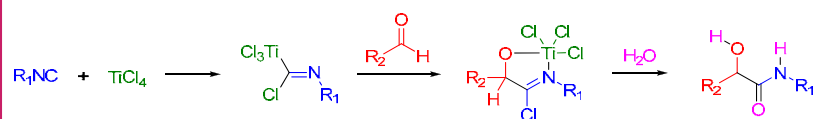
• La réaction de Ugi met en jeu quatre composants (aldéhyde, amine, acide carboxylique, isonitrile) pour former en une étape des α -acétamidoamides [a] :



• La réaction de Passerini permet de former des α -acyloxy-carboxamides à partir d'un acide carboxylique, d'un aldéhyde et d'un isonitrile de façon monotape [b] :



Une variante développée par Seebach implique la réaction entre un aldéhyde, un isonitrile et du chlorure de titane [c]. Ce dernier réagit avec l'isonitrile pour former intermédiairement un C-(trichlorotitane)formimidoylo nucléophile. Son addition sur l'aldéhyde génère un chloro-iminium, finalement hydrolysé pour donner un α -hydroxyamide :



[a] Ugi I., Meyr R., Fetzer U., Steinbrückner C., *Angew. Chemie*, **1959**, 71, p. 373 ; Ugi I., Steinbrückner C., *Angew. Chemie*, **1960**, 72, p. 267.

[b] Passerini, M., *Gazz. Chim. Ital.*, **1921**, 51, p. 126 ; Passerini M., *Gazz. Chim. Ital.*, **1921**, 51, p. 181.

[c] Schiess M., Seebach D., *Helv. Chim. Acta*, **1983**, 66, p. 1618 ; Seebach D., Adam G., Gees T., Schiess M., Weigand W., *Chem. Ber.*, **1988**, 121, p. 507.

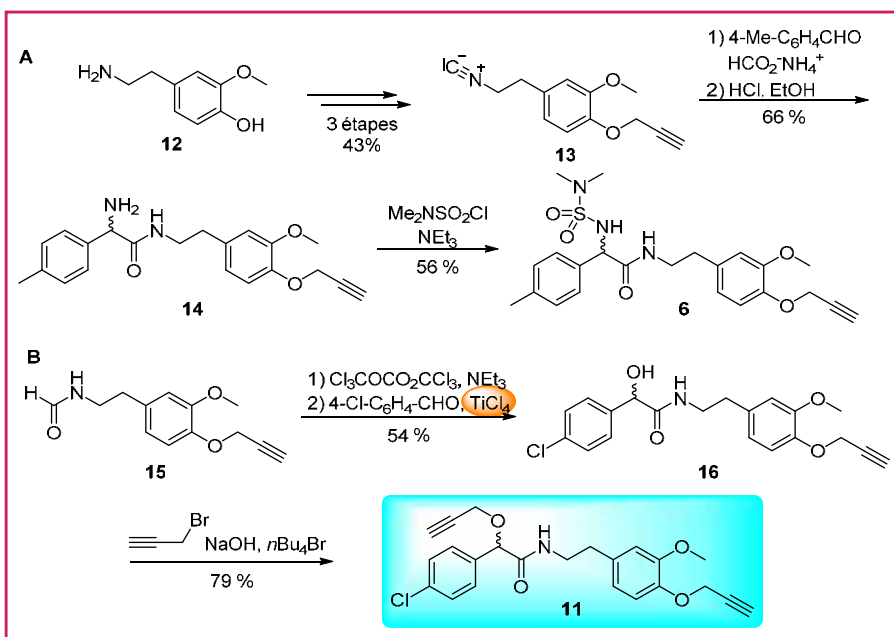


Figure 6 - Synthèse de 6 et 11 via des réactions multicomposants.

semble qu'en revanche *P. infestans* soit actuellement incapable d'en développer [19].

Approches synthétiques explorées

Lorsqu'un programme de recherche vise le développement de composés biologiquement actifs, il est important de pouvoir générer rapidement une grande quantité de molécules pour les tests biologiques. Les réactions multicomposants (MCR), processus où au moins trois réactifs réagissent pour former un produit incorporant la majorité des atomes des

produits de départ, s'inscrivent parfaitement dans cette optique [20]. De nombreux avantages leur sont en effet associés, tels la convergence (plusieurs réactifs réagissent pour donner un seul produit), la diversité (la structure du produit final est aisément modifiable en changeant les produits de départ) et l'accès rapide à un grand nombre de produits, conséquence directe des points précédents. Le choix judicieux des réactifs permet enfin d'envisager la post-fonctionnalisation, augmentant la diversité structurelle.

En raison de ces avantages, les MCR sont toutes indiquées pour la préparation de bibliothèques de molécules et ont ainsi été employées dans la découverte du mandipropamide. La première série de composés (*figure 6*, molécules 3 à 6) sont des dérivés de types phénylglycinamides facilement accessibles par une réaction de Ugi à quatre composants (voir *encadré*) [21]. Ainsi l'amine de la 3-méthoxytyramine **12** est tout d'abord formylée, puis la fonction phénol est propargylée et le formamide est finalement déshydraté pour former l'isonitrile **13**. Celui-ci est engagé dans la MCR en présence de 4-méthylbenzaldéhyde et de formiate d'ammonium (double rôle d'acide carboxylique et d'amine) pour former l'adduit **14** où l'amine est finalement sulfonylée par le chlorure de diméthylsulfamoyle (**6**, *figure 6A*). Il s'agit donc d'une synthèse courte, l'emploi d'une MCR permettant d'accéder rapidement à une grande diversité de composés présentant des noyaux aromatiques (provenant du benzaldéhyde, avant-dernière étape) variés.

La seconde série de composés est formée d'amides dérivés de l'acide mandélique, qu'il est possible d'obtenir par une autre MCR : une réaction de Passerini à trois composants, modifiée par Seebach (voir *encadré*). Ainsi le formamide **15** (facilement accessible à partir de **12**) est déshydraté par le triphosgène pour former l'isonitrile correspondant, engagé dans la MCR en présence de 4-chlorobenzaldéhyde et de chlorure de titane pour former l'hydroxyamide **16** (*figure 6B*). L'alcool est finalement alkylé par le bromure de propargyle par catalyse par transfert de phase pour former le mandipropamide **11**.

Le mandipropamide est actuellement commercialisé sous la forme d'un mélange racémique, l'emploi de l'un ou l'autre des énantiomères n'apportant aucun avantage. Cependant, deux approches ont été envisagées pour contrôler le centre chiral, via une réaction de Passerini diastéréosélective ou

par hydrogénation asymétrique, avec des résultats modestes (86 et 87 % d'excès énantiomériques respectivement) [22].

Si la réaction de Passerini modifiée a facilité la découverte du mandipropamide, il n'est cependant pas envisageable d'appliquer cette voie de synthèse à une échelle industrielle en raison de l'emploi de chlorure de titane. En effet, lors de l'hydrolyse finale, il se forme des oxydes et oxychlorures de titane solides, générant une grande quantité de déchets à éliminer. De plus, même si le nombre d'étapes est compétitif, certains rendements restent faibles et les composés doivent être purifiés par chromatographie à chaque étape. Une

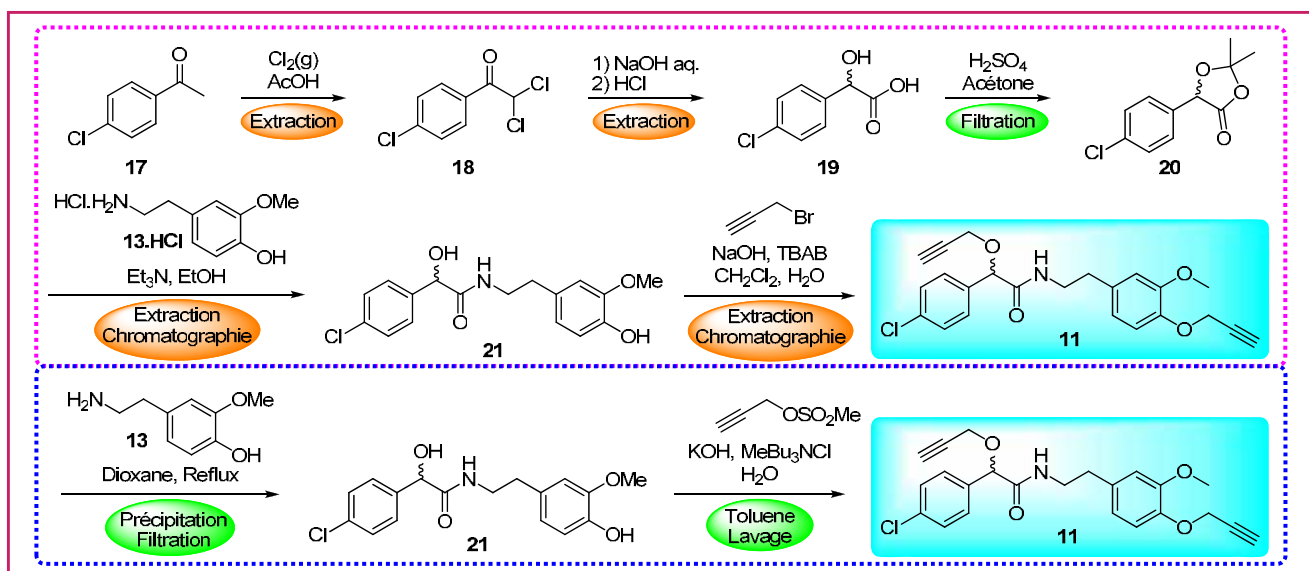


Figure 7 - Synthèse de première génération (en rose) et sa modification (en bleu).
TBAB : bromure de *N*-tétrabutylammonium.

synthèse industrielle visant à s'affranchir de ces problèmes doit donc être développée [23].

Les synthèses industrielles du mandipropamide

Synthèse de première génération et raffinements

La synthèse industrielle de première génération est décrite en 2001 (figure 7) [24]. La 4-chloroacétophénone **17** est tout d'abord dichlorée par le dichlore dans l'acide acétique pour former le composé **18**. Une réaction de type Cannizzaro permet ensuite d'accéder à l'acide 4-chloromandélique **19**, transformé en son acétonide **20** par réaction avec l'acétone en présence d'acide sulfurique. La réaction d'amidation avec le sel de la 3-méthoxytyramine **13.HCl** (obtenue en deux étapes à partir de la vanilline) a lieu dans l'éthanol en présence de triéthylamine pour former **21** dont les fonctions alcools et phénols sont finalement propargylées par catalyse par transfert de phase pour donner le mandipropamide **11**. Bien qu'aucun rendement ne soit décrit pour cette voie, plusieurs remarques peuvent être formulées :

- il s'agit d'une synthèse courte ;
- tous les intermédiaires sont isolés et les composés **11** et **21** sont purifiés par chromatographie ;
- la catalyse par transfert de phase met en jeu du dichlorométhane, un solvant non recommandé en industrie.

Deux améliorations sont apportées en 2003 et concernent les dernières étapes [25]. Ainsi l'amide **21** est désormais obtenu à partir de l'amine **13** et non de son chlorhydrate, évitant l'emploi de triéthylamine. De plus, la réaction a lieu au reflux du dioxane, réduisant le temps de réaction de 72 à 7 heures. Enfin, un changement de solvant permet d'isoler **23** (86 % de rendement et 91 % de pureté) par simple filtration. La double alkylation finale met désormais en jeu du méthanesulfonate de propargyle qui réagit en milieu aqueux basique en présence catalytique d'un sel d'ammonium. En fin de réaction, du toluène est ajouté et la phase organique est lavée avec des solutions acides et basiques avant d'être concentrée pour donner **11**. Cette méthode s'affranchit donc du dichlorométhane, des extractions et de la purification par chromatographie, rendant le procédé environnementalement plus favorable.

La synthèse de première génération améliorée est donc environnementalement et économiquement intéressante, mais souffre encore de quelques inconvénients en raison des trois extractions réalisées et des quatre intermédiaires isolés, nécessitant le développement d'une nouvelle approche.

La synthèse de seconde génération

Décrite en 2007, une synthèse industrielle de seconde génération du mandipropamide s'affranchit des inconvénients précédemment évoqués (figure 8) [26]. Ainsi en partant de l'acide 4-chlorophénylacétique **22**, une halogénéation de type Hell-Volhard-Zelinsky en présence de chlorure de

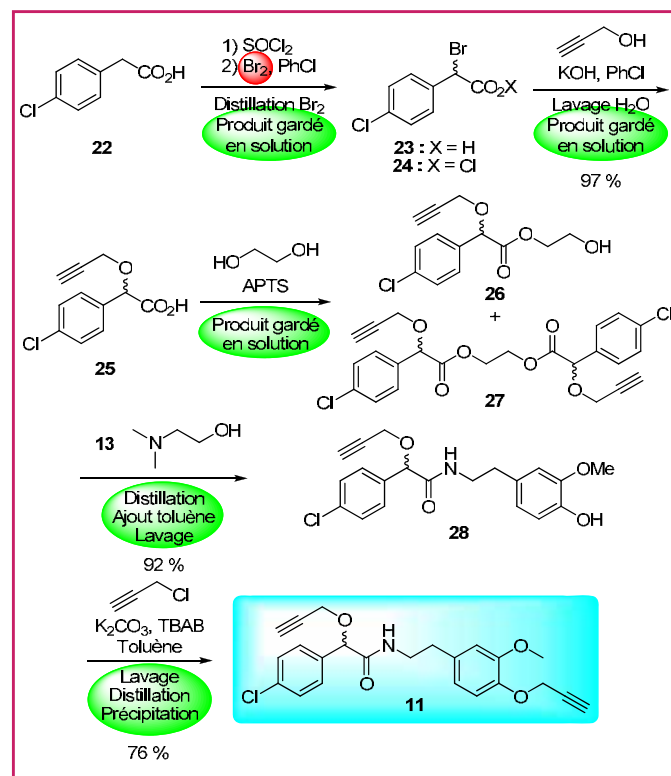


Figure 8 - Synthèse de seconde génération.

Tableau II - Comparaison des différentes approches.

Chromato. : purifications par chromatographie ; extract. : extractions ; int. : intermédiaires.

Synthèse	Passerini	1 ^{ère} génération	1 ^{ère} génération modifiée	2 ^{nde} génération
Nombre d'étapes	4	5	5	5
Caractéristiques	3 int. isolés 2 extrac. 4 chromato.	4 int. isolés 4 extrac. 2 chromato.	4 int. isolés 3 extrac. 0 chromato.	0 int. isolés 0 extrac. 0 chromato.
Quantité de solvants	+++	++	+	-
Solvants employés	EtOAc, MeOH CH ₂ Cl ₂ , THF DMF	EtOAc, H ₂ O CH ₂ Cl ₂ , Acétone Éthanol, Toluène	EtOAc, H ₂ O Acétone, Dioxane Hexane, Toluène	PhCl, MeOH Toluène

diméthylaminoéthanol pour laisser le produit **28** en solution (92 % basé sur **27**).

La propargylation du phénol est réalisée dans le toluène à chaud en présence de chlorure de propargyle, de carbonate de potassium et de bromure de tétrabutylammonium. Un lavage aqueux permet d'éliminer les composés inorganiques puis le toluène est distillé. L'ajout de méthanol à froid amorce la cristallisation de **11**, isolé par simple filtration avec une pureté de 98 % et un rendement de 76 %.

Cette seconde synthèse industrielle s'affranchit donc des inconvénients évoqués précédemment, aucun intermédiaire n'étant isolé. Le mandipropamide est actuellement synthétisé d'après ce procédé sur le site de Monthey (Suisse) avec une capacité de production de 300 tonnes à partir de 2009.

Comparaison des différentes approches

Le tableau II donne une vue globale des points faibles et des points forts des différentes approches suivies.

Ainsi la synthèse de chimie médicinale (Passerini modifiée), bien que plus courte d'une étape, reste la plus consommatrice en solvants en raison du nombre important de purifications par chromatographie. De plus, certains d'entre eux sont déconseillés à l'échelle industrielle (CH₂Cl₂, DMF). La synthèse industrielle de première génération nécessite moins de solvants, mais reste impactée du nombre d'extractions et de l'emploi de dichlorométhane, deux points améliorés avec le procédé modifié. La synthèse de seconde génération résout finalement l'ensemble des problèmes évoqués, aucun intermédiaire n'étant isolé tandis que le chlorobenzène (principal solvant employé) est considéré comme environnementalement acceptable.

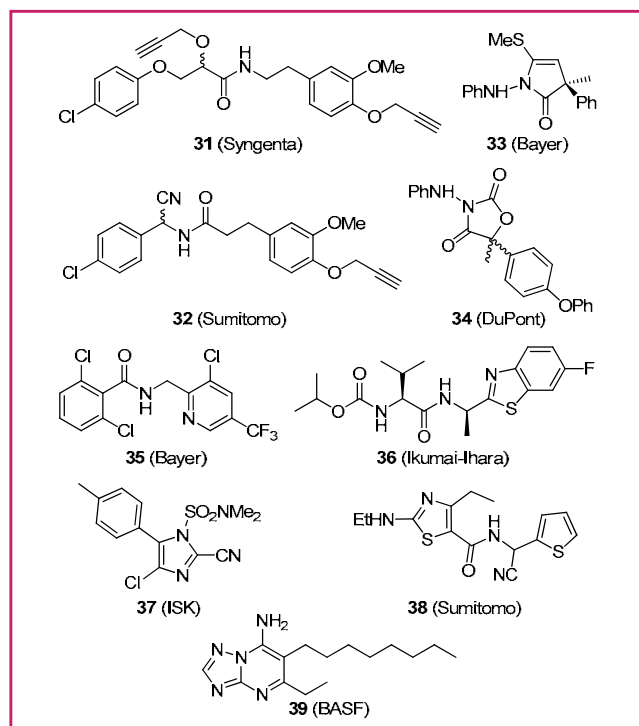


Figure 9 - Molécules anti-oomycètes.

thionyle et de dibrome dans le chlorobenzène permet de former l'acide **23** et le chlorure d'acide **24**. En fin de réaction, l'excès de dibrome est distillé et le mélange de produits, en solution dans le chlorobenzène, est utilisé directement dans l'étape suivante. Une réaction de substitution nucléophile par l'alcool propargylique en présence d'hydroxyde de potassium conduit alors à l'éther **25** avec un rendement de 97 % (basé sur **23**). Aucune purification n'est nécessaire, un simple traitement aqueux permettant d'éliminer les composés inorganiques.

De l'éthylène glycol et de l'acide *para*-toluènesulfonique (APTS) sont alors ajoutés à la solution de **25** dans le chlorobenzène pour former les mono- et diesters **26** et **27** après chauffage au reflux (distillation azeotropique de l'eau). En fin de réaction, les produits sont gardés en solution et directement engagés dans l'étape suivante. Ces esters présentent l'intérêt de conduire directement à l'amide **28** par simple réaction de transamidation réalisée par la 3-méthyltyramine **13** en présence de diméthylaminoéthanol à 100 °C tandis que le chlorobenzène est distillé au fur et à mesure. En fin de réaction, du toluène est ajouté au milieu réactionnel et un lavage acide permet d'éliminer l'excès de **13** et de

Autres traitements contre les oomycètes

Plusieurs molécules possédant une activité anti-oomycètes sont actuellement développées ou commercialisées par plusieurs laboratoires (figure 9) [27]. De nombreuses classes chimiques sont représentées : amides dérivés de l'acide mandélique et analogues (**31**, **32**), imidazole et oxazolidinone (**33**, **34**), benzamide (**35**), valinamide (**36**), cyanoimidazole (**37**), thiazole carboxamide (**38**) et pyrimidinylamine (**39**).

Le mandipropamide et le consommateur

Si le but premier d'un agriculteur est de produire fruits et légumes en quantités suffisantes, le consommateur est souvent plus soucieux de la qualité du produit ainsi que de sa saveur, deux facteurs potentiellement influençables par la présence résiduelle des traitements phytosanitaires employés. Plusieurs études ont donc été réalisées afin de déterminer les taux résiduels de mandipropamide dans différents fruits et légumes.

Pour des cultures de betteraves, roquettes ou laitues, les concentrations résiduelles en principe actif relevées sont respectivement de 0,09 mg/kg, 2,76 mg/kg et 0,02 mg/kg [28]. La dose journalière acceptable étant de 20 mg/kg pour ces cultures, les taux mesurés ne présentent aucun risque pour

le consommateur. Concernant les pommes de terre, les taux résiduels 3 à 6 jours après pulvérisation sont inférieurs à 0,01 mg/kg. Considérant que l'intervalle recommandé entre la dernière pulvérisation et la récolte est de 21 jours et que la dose acceptable est fixée à 0,03 mg/kg, encore une fois le consommateur ne devrait pas être exposé au mandipropamide. Pour le raisin, la limite résiduelle en mandipropamide est fixée à 2,0 mg/kg, un taux atteint en trois jours après application de Pergado® sur des cultures [29]. Cette valeur chute à 0,10 mg/kg après 10 jours pour finalement passer sous le seuil de détection à 21 jours. L'intervalle recommandé entre la dernière application de fongicide et la récolte étant de 28 jours, le consommateur ne devrait pas être exposé à ne serait-ce que des traces de produit.

Si la plupart des études ont pour but de déterminer les taux résiduels en mandipropamide dans un produit, son effet sur le goût des aliments n'a en revanche été étudié qu'à une seule occasion, lors de la fabrication d'un vin blanc espagnol [30]. Ainsi, trois jours après pulvérisation de mandipropamide pur, le taux résiduel mesuré sur les grappes est de 0,97 mg/kg, passant à seulement 0,031 mg/kg à la fin des 28 jours du processus de vinification. Une grande partie du principe actif est ainsi éliminée dans le marc et les résidus se déposant à partir du moût. Cependant, même à un taux aussi bas (et en-dessous de la limite légale), le mandipropamide modifie la saveur du produit comparativement à un vin obtenu à partir de grappes récoltées deux mois après dernière application du fongicide (et donc totalement éliminé). Il est ainsi noté une diminution de l'intensité et de la finesse du bouquet, notamment due à d'importantes variations en *trans*-3-hexène-1-ol, 2-phényléthanol, 4-vinylguaïacole, acétovanillone, benzaldéhyde et 3-méthylthiopropanol. Plusieurs acétates voient également leurs taux modifiés, mais sans grande influence sur le bouquet du vin. Gustativement, les variations des taux de molécules odorantes se traduisent par des goûts de fleurs, abricot, citron et poire moins prononcés tandis qu'un renforcement en melon et ananas est noté. Ainsi, tout comme de nombreux produits phytosanitaires, le mandipropamide peut altérer le bouquet d'un vin, très probablement en modifiant la composition des populations de levures lors de la vinification [31]. Précisons bien cependant que lors de cette étude, les grappes ont été récoltées seulement trois jours après dernière pulvérisation, là où un intervalle de 28 jours doit être respecté, et que le mandipropamide est employé à des doses plus importantes que celles recommandées.

Alors qu'en est-il du bouquet d'un vin issu de l'agriculture biologique par rapport à celui d'une culture employant le mandipropamide dans les conditions normales d'utilisation ? La réponse se cache dans un verre et il appartient à chacun de la trouver.

Conclusion

En 1845, *P. infestans* causait la grande famine en Irlande, et plus de 150 ans plus tard, les oomycètes restent toujours responsables de la destruction mondiale de nombreuses cultures. Introduit en 2005 sous l'appellation Revus® pour les cultures de pommes de terre et Pergado® pour la vigne, le mandipropamide constitue le chef de file des nouveaux traitements, non seulement en raison de sa grande activité, mais également parce qu'il n'est généralement retrouvé qu'à l'état de traces dans le produit final. Si sa découverte à la fin des années 1990 a été facilitée par l'emploi de réactions multicomposants, deux générations de synthèses industrielles, en 2001 et 2007, se sont succédées pour assurer l'approvision-

nement mondial, tout en rendant le procédé environnementalement favorable. Ce projet de recherche aura conduit à la synthèse de 4 468 composés, tous testés *in vitro* ; 4 009 d'entre eux ont été testés en serre sur plantes, puis 955 ont été retenus pour des études plus poussées, aboutissant au choix de 72 composés pour tests en champs. Trois molécules seront évaluées en vue du développement commercial pour finalement aboutir à une seule mise sur le marché. Des chiffres impressionnants mais courants en agrochimie ou en chimie pharmaceutique.

Références

- [1] Kamoun S., Molecular genetics of pathogenic oomycetes, *Eukaryot. Cell*, **2003**, 2, p. 191.
- [2] Kennelly M.M. *et al.*, Primary infection, lesion productivity, and survival of sporangia in the grapevine downy mildew pathogen *Plasmopara viticola*, *Phytopathol.*, **2007**, 97, p. 512 ; Birch P.R.J., Whisson S.C., *Phytophthora infestans* enters the genomics era, *Mol. Plant. Pathol.*, **2001**, 2, p. 257.
- [3] Andrivon D., The origin of *Phytophthora infestans* populations present in Europe in the 1840s: a critical review of historical and scientific evidence, *Plant Pathol.*, **1996**, 45, p. 1027.
- [4] Walker C.A., van West P., Zoospore development in the oomycetes, *Fungal Biology Reviews*, **2007**, 21, p. 10 ; Avrova A.O. *et al.*, A novel *Phytophthora infestans* haustorium-specific membrane protein is required for infection of potato, *Cell Microbiol.*, **2008**, 10, p. 2271 ; Whisson S.C. *et al.*, A translocation signal for delivery of oomycete effector proteins into host plant cells, *Nature*, **2007**, 450, p. 115.
- [5] Morales J.M.L., Sepulveda-Jimenez G., Oxidative damage caused by copper and the antioxidant response of plants, *Interciencia*, **2012**, 37, p. 806 ; Fernandez-Calvino D. *et al.*, Enzyme activities in vineyard soils long-term treated with copper-based fungicides, *Soil Biol. Biochem.*, **2010**, 42, p. 2119 ; Pimentel J.C., Peixotomenezes A., Liver-disease in vineyard sprayers, *Gastroenterology*, **1977**, 72, p. 275 ; Plamenac P., Santic Z., Nikulin A., Serdarevic H., Cytologic changes of the respiratory-tract in vineyard spraying workers, *Eur. J. Resp. Diseases*, **1985**, 67, p. 50.
- [6] Cohen Y., Coffey M.D., Systemic fungicides and the control of oomycetes, *Annu. Rev. Phytopathol.*, **1986**, 24, p. 311.
- [7] Wollweber D., Seitz T., Brandes W., Brevet EP 0398072, Bayer AG, **1990** ; Seitz T., Wollweber D., Brandes W., Dehne H.-W., Brevet EP 0472996 A1, Bayer AG, **1991** ; Stenzel K. *et al.*, *Brighton Crop Protection Conf.*, **1998**, 5A-7, p. 367 ; Seitz T., Benet-Buchholz J., Etzel W., Schindler M., Chemistry and stereochemistry of iprovalicarb (SZX 0722), *Pflanzenschutz-Nachr Bayer*, **1999**, 52, p. 5 ; Hunt D.A., Lavanish J.M., Asselin M., Los M., Brevet EP 0493683 A1, American Cyanamid Company, **1991**.
- [8] Cederbaum F. *et al.*, N-Sulfonyl amino acid amides, a novel class of compounds with fungicidal activity [1], *CHIMIA Int. J. Chem.*, **2003**, 57, p. 680.
- [9] Ruey J.Y., Scott E.J.V., Brevet 4518789, **1985**.
- [10] Ort O. *et al.*, α -Hydroxyaryllacetamides: a new class of fungicidally active compounds, *Pestic. Sci.*, **1997**, 50, p. 331 ; Döller U., Braun P., Sachse B., Brevet WO 94/29267, Hoechst Schering Agro, **1994**.
- [11] Lamberth C. *et al.*, Synthesis and fungicidal activity of N-2-(3-methoxy-4-propargyloxy)phenethyl amides. Part II: Anti-oomycetic mandelamides, *Pest. Manag. Sci.*, **2006**, 62, p. 446.
- [12] Lamberth C. *et al.*, Multicomponent reactions in fungicide research: the discovery of mandipropamid, *Bioorg. Med. Chem.*, **2008**, 16, p. 1531.
- [13] *Post Graduate Course: The Discovery of Agrochemicals*, Ling K., McGranaghan A., Winn C., Syngenta, **2013**.
- [14] *Pesticide Fact Sheet: Mandipropamide*, Unites States Env. Protec. Ag., **2008** ; Gisi U., Lamberth C., Mehl A., Seitz T., Carboxylic Acid Amide (CAA) Fungicides, in *Modern Crop Protection Compounds*, W. Krämer, U. Schirmer (eds), Wiley-VCH, **2007**, p. 651.
- [15] *Rapport Afssa*, Dossiers n° 2006-0740 et 2007-3939, REVUS, MDI 1, MDI 2, MDI 3, MDI 4 et REVUS JARDIN, **2008** ; *Rapport Afssa*, Dossier n° 2007-2603 ; PERGADO F PEPITE et AMPHORE F PEPITE, CARIAL F PEPITE, REGUANCE F PEPITE, GERGOVI F PEPITE, **2008**.
- [16] Cohen Y., Baider A., Cohen B.-H., Dimethomorph activity against oomycete fungal plant pathogens, *Phytopathology*, **1995**, 97, p. 1500.
- [17] Cohen Y., Gisi U., Differential activity of carboxylic acid amide fungicides against various developmental stages of *Phytophthora infestans*, *Phytopathology*, **2007**, 97, p. 1274.
- [18] Blum M. *et al.*, Mandipropamid targets the cellulose synthase-like PiCesA3 to inhibit cell wall biosynthesis in the oomycete plant pathogen, *Phytophthora infestans*, *Mol. Plant Pathol.*, **2010**, 11, p. 227.
- [19] Rubin A., Gottlieb D., Gisi U., Cohen Y., Mutagenesis of *Phytophthora infestans* for resistance against carboxylic acid amide and phenylamide fungicides, *Plant Dis.*, **2008**, 92, p. 675.
- [20] Dömling A., Ugi I., Multicomponent reactions with isocyanides, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2000**, 39, p. 3168 ; Zhu J., Bienaymé H., *Multicomponent Reaction*, Wiley-VCH, **2005**.
- [21] Chéron N., Ramozzi R., Les isonitriles, une espèce méconnue, *L'Act. Chim.*, **2014**, 381, p. 21.

- [22] Frey R. *et al.*, First examples of a highly stereoselective Passerini reaction: a new access to enantiopure mandelamides, *Synlett*, **2003**, 10, p. 1536 ; Cederbaum F. *et al.*, Synthesis of substituted mandelic acid derivatives *via* enantioselective hydrogenation: homogeneous versus heterogeneous catalysis, *Adv. Synth. Catal.*, **2004**, 346, p. 842.
- [23] Pour d'autres exemples de développement de synthèses industrielles, voir : Erb W., Chausset-Boissarie L., Viagra®, les clés du succès, *L'Act. Chim.*, **2012**, 363, p. 5 ; Erb W., Abermil N., Dipeptidyl peptidase-4 et Januvia® : un duo gagnant contre le diabète de type 2, *L'Act. Chim.*, **2013**, 375-376, p. 74.
- [24] Lamberth C., Zeller M., Kunz W., Cederbaum F., Brevet WO 01/87822 A1, Syngenta, **2001**.
- [25] Zeller M., Faber D., Vettiger T., Lamberth C., Brevet WO 03/042166 A2, Syngenta, **2003**.
- [26] Bowden M.C. *et al.*, Brevet WO 2007/020381 A2, Syngenta, **2007**.
- [27] Thind T.S., New generation anti-oomycete fungicides: prospects and limitations, *Plant Dis. Res.*, **2011**, 26, p. 159 ; Lamberth C., Kempf H.-J., Križ M., Synthesis and fungicidal activity of N-2-(3-methoxy-4-propargyloxy) phenethyl amides. Part 3: Stretched and heterocyclic mandelamide oomycetocides, *Pest. Manag. Sci.*, **2007**, 63, p. 57 ; Soma M., Brevet US 2005/0282888A1, Sumitomo Chemical Company, **2005**.
- [28] Arienzo M., Cataldo D., Ferrara L., Pesticide residues in fresh-cut vegetables from integrated pest management by ultra performance liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry, *Food Control*, **2013**, 31, p. 108.
- [29] Malhat F.M., Mahmoud H.A., Dissipation and residues of mandipropamid in grape using QuEChERS Methodology and HPLC-DAD, *ISRN Analytical Chemistry*, **2012**, p. 5.
- [30] González-Rodríguez R.M., Cancho-Grande B., Simal-Gándara J., Decay of fungicide residues during vinification of white grapes harvested after the application of some new active substances against downy mildew, *Food Chem.*, **2011**, 125, p. 549 ; González-Alvarez M., González-Barreiro C., Cancho-Grande B., Simal-Gándara J., Impact of phytosanitary treatments with on aroma compounds of Godello white wines, *Food Chem.*, **2012**, 131, p. 826 ; González Alvarez M. *et al.*, Changes of the sensorial attributes of white wines with the application of new anti-mildew fungicides under critical agricultural practices, *Food Chem.*, **2012**, 130, p. 139.
- [31] Caboni P., Cabras P., Pesticides' influence on wine fermentation, in *Advances in Food and Nutrition Research*, **2010**, 59, p. 43 ; Fleet G.H., Yeast interactions and wine flavour, *Int. J. Food Microbiol.*, **2003**, 86, p. 11.



W. Erb

William Erb

est maître de conférences à l'Institut des Sciences chimiques de Rennes*.

Nacim Abermil

est docteur en chimie organique**.



N. Abermil

* Institut des Sciences chimiques de Rennes, UMR CNRS 6226, Université de Rennes 1, F-35042 Rennes Cedex.
Courriel : w.erb@exchem.fr

** Courriel : nacimabermil@gmail.com



EXHIBITION
CONFERENCE
NETWORKING

31ST INTERNATIONAL EXHIBITION FOR FINE AND SPECIALITY CHEMICALS

**Chemspec
europe**

The fine & speciality chemicals exhibition

Chemspec Europe is exclusively dedicated to the fine, custom and speciality chemicals sector. With its focussed profile it is *the* place to be for international industry professionals. Leading manufacturers, suppliers and distributors will present a wide spectrum of fine and speciality chemicals for various industry sectors.

Establish new business contacts, benefit from excellent networking opportunities and be inspired by the latest results in Research and Development at top-class conferences. Be part of the show where ideas become innovations!

TOP-CLASS CONFERENCES & WORKSHOPS!

- Royal Society of Chemistry Symposium
- REACHReady Regulatory Services Conference
- Agrochemical Intermediates Conference
- The Pharma Outsourcing Best Practices Panel

www.chemspeceurope.com

1 - 2 JUNE 2016
BASEL MESSE, SWITZERLAND

Organisers: Mack Brooks Exhibitions Ltd

REACH, en attendant l'échéance 2018

Quels impacts sur l'industrie chimique ?

Roselyne Messal

REACH 2018



REACH, un règlement ambitieux

Entré en application le 1^{er} juin 2007, ce règlement européen donne la responsabilité aux industriels d'évaluer les dangers et les risques liés à l'utilisation des produits

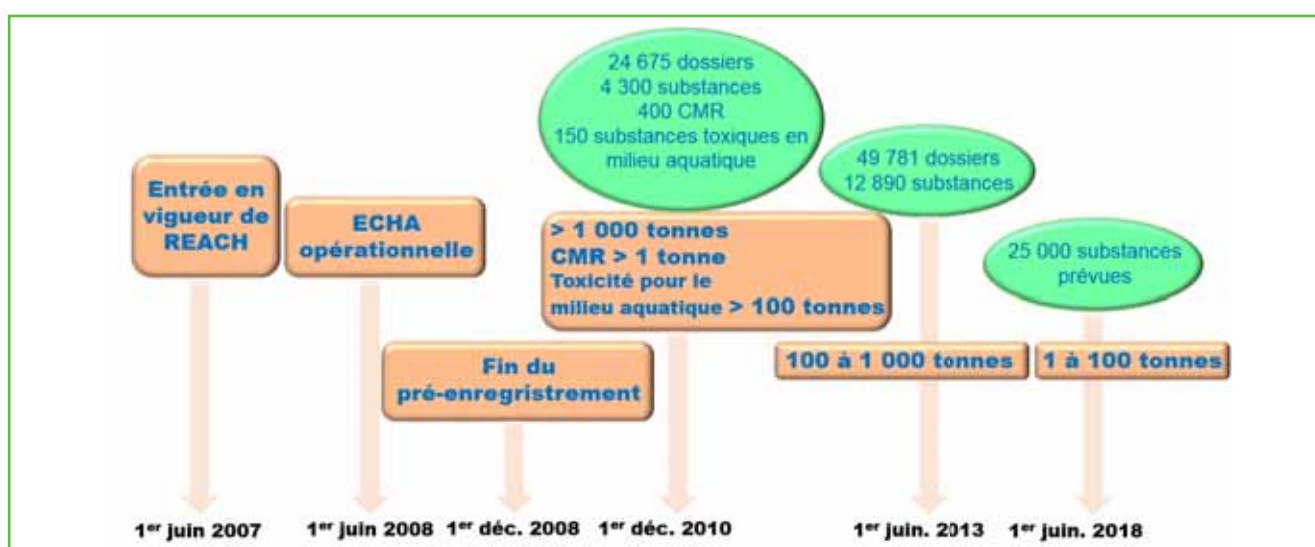
Comment connaître l'effet à long terme des substances chimiques sur la santé et l'environnement ? L'Union européenne, prenant conscience de ce problème, et fortement poussée par l'opinion publique, avait déjà adopté dès les années 1960 un certain nombre de textes, en particulier sur la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances dangereuses (directive de juin 1967). En 2001, environ cent mille substances étaient enregistrées sur le marché européen.

La publication en février 2001 du *Livre blanc*, établi par les ministères de l'Environnement des pays de l'Union européenne et des responsables politiques, industriels, scientifiques et d'ONG, a conduit à la réglementation européenne REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) [1]. Quelles sont les conséquences de cette réglementation sur l'industrie chimique, en particulier pour les PME et TPE, qui représentent plus de 90 % des membres de l'Union des Industries Chimiques ?

chimiques. Producteurs et importateurs doivent apporter la preuve de l'innocuité pour la santé humaine comme pour l'environnement des substances qu'ils produisent et utilisent. Toutes les substances fabriquées ou importées à une tonne ou plus par an devront être enregistrées auprès de l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA), et ce, pour toutes utilisations – tous les utilisateurs en aval sont concernés (mélanges ou articles). Le dossier d'enregistrement comprend des informations sur la substance, ses propriétés physico-chimiques et toxicologiques, ses utilisations, la classification et l'étiquetage [2].

Ce règlement s'appuie sur trois principes phares :

- L'enregistrement auprès de l'ECHA : c'est le « cœur » du système, qui permet l'acquisition de données sur les substances et démontre la maîtrise des industriels à les utiliser tout au long de leur cycle de vie.
- L'évaluation : elle est effectuée par l'ECHA et peut nécessiter pour certaines substances une évaluation approfondie



Calendrier de mise en œuvre du programme REACH.

par les États membres. C'est un volet nécessaire au cours duquel les industriels doivent faire la preuve que la substance est sûre. Les substances à évaluer sont inscrites à un plan triennal (CoRAP⁽¹⁾).

- Autorisation, restriction, substitution : les autorités peuvent identifier et éventuellement limiter l'utilisation de certaines substances jugées préoccupantes ou présentant un risque inacceptable.

Un calendrier de mise en place des procédures a été établi, avec des étapes en fonction du tonnage (voir figure).

Le 1^{er} juin 2018, date de la prochaine échéance, seront concernées toutes les substances produites à plus d'une tonne par an ; on estime qu'environ 30 000 produits chimiques produits ou commercialisés seront enregistrés par l'ECHA.

Enjeux et difficultés pour les PME

Que pensent les PME de cette nouvelle réglementation européenne, et quelles ont été ou sont encore leurs principales difficultés ? Trois entreprises, invitées par l'Union des Industries Chimiques, ont accepté de donner leurs points de vue.

- Située à Calais, Interor fabrique des intermédiaires de synthèse plus ou moins avancés (de une à neuf étapes) pour les industries pharmaceutiques, vétérinaires et agrochimiques (intermédiaires transformés par les clients), avec quelques marchés de niches en chimie de spécialités. Cette société est à la fois concernée en tant que producteur, importateur et utilisateur aval.

Cette PME familiale, qui emploie 125 personnes, consacre au poste HSE Management des produits deux personnes et demie et passera à trois salariés à temps plein en juin prochain.

Interor aujourd'hui, ce sont 253 pré-enregistrements, 97 notifications « Classification », 80 à 90 enregistrements prévus en 2018 parmi lesquels 6 substances considérées comme enregistrées, 5 enregistrées en février 2016, 3 à 5 enregistrements prévus d'ici juin 2016.

- Spécialisée dans la chimie fine, Minakem Beuvry Production fabrique des intermédiaires avancés et des principes actifs pour l'industrie pharmaceutique. Située entre Lille et Valenciennes, cette PME emploie environ 150 personnes, dont 50 en R & D ; un salarié est en charge de REACH. Sans ressources internes en toxicologie, elle est confrontée à la question de la fiabilité des études.

Depuis 2008, 35 substances ont été enregistrées ou notifiées, dont 16 depuis un an ; 20 à 30 substances seront probablement à enregistrer d'ici 2018.

- Créé en 1991 avec l'actionnariat du CEA Industrie et racheté en 2001 par le groupe américain CIL (Cambridge Isotope Laboratories Inc.), Euriso-Top est le leader européen des solvants deutériés pour la RMN et est spécialisé dans les molécules organiques marquées aux isotopes stables de C, H, O et N pour la recherche fondamentale et l'usage diagnostique *in vivo* (homme et animal), et les métaux isotopiques avec une présence à l'international pour ce dernier marché. Cette petite PME traite de très petites quantités (plus près de la tonne que des dix tonnes) qui concernent tous les domaines de la recherche ; seules trois substances ont été pré-enregistrées. Parmi ses 28 salariés, une personne se consacre à REACH, en plus de ses tâches diverses de contrôle habituelles (maintenance, sûreté des appareils, etc.).

À l'écoute de ces trois témoignages, un premier constat est dressé : cette réglementation européenne est bien complexe !

Ces trois PME ont rencontré sensiblement les mêmes difficultés pratiques ou financières. REACH est perçu comme un système hautement chronophage et coûteux : de nombreux documents sont à assimiler ; le règlement suit des évolutions permanentes... Préparer un dossier (par une personne qualifiée...) nécessite au minimum plusieurs jours, voire bien plus (collecte des informations, études diverses et nombreuses, veille réglementaire, en particulier pour les substances utilisées *in vivo*, etc.). Une matière première importée mais deux produits fabriqués occasionnent deux cas de figure ; la transformation de substances sur d'autres sites peut être à la source de problèmes de tonnages ; de très petites quantités peuvent toucher tous les domaines de la recherche avec absence de connaissances, etc.

Le fonctionnement des SIEF⁽²⁾ (forums d'échange d'informations) n'est pas optimisé : difficulté de partager les données entre plusieurs membres, risque d'espionnage commercial, aspect juridique des contrats d'échange, évaluation du coût, peu ou pas de partage des coûts avec d'autres déclarants, cas particulier des nouvelles molécules... Par ailleurs, les exigences des clients en termes de délai ne sont pas toujours compatibles avec les délais de soumission des dossiers. Le recours possible à des consultants ou experts REACH génère un coût supplémentaire. Des marchés de niche en chimie de spécialités nécessitent pour un dossier standard un coût d'étude très élevé, réparti entre très peu de sociétés.

La complexité des IUCLID⁽³⁾ pour la saisie des analyses physico-chimiques, toxicologiques et écotoxicologiques est également mise en avant. Les études toxicologiques peuvent en outre entraîner des frais élevés et posent de plus le problème de la fiabilité des résultats (choix des consultants, interprétation des études, méthodes alternatives...). Des substances peu courantes ou nouvelles ont des données peu accessibles, occasionnant une classification délicate.

REACH engendre de nombreux coûts, parfois inattendus et lourds à supporter pour de petites structures : coûts des analyses toxicologiques, coûts informatiques, prestations extérieures d'accompagnement à la mise en œuvre du règlement... Le SIEF à lui seul peut se révéler être un véritable frein financier (frais de consultance, cabinet d'avocat). Les frais de dossier, pour une seule substance, peuvent aller de 50 000 à 70 000 euros (essais, études, redevances). L'entreprise doit cependant enregistrer coûte que coûte, car « *no data, no market* » ! La stratégie commerciale peut être remise en question (incertitude budgétaire sur le nombre et le coût



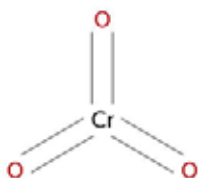
Chromium (VI) trioxide

 ↓ Other names: IUPAC names [18] Regulatory processes names [3] Trade names [5] ↓ Groups: 


Substance Identity

EC no: 215-607-8

CAS no: 1333-82-0

Mol. formula: CrO₃

Safety classification & labelling



Danger! According to the **Harmonised Classification and Labelling** approved by the European Union, this is fatal if inhaled, is very toxic to aquatic life with long lasting effects, causes damage to organs through prolonged or repeated exposure, is very toxic to aquatic life, may cause cancer, causes severe skin burns and eye damage, may cause genetic defects, is toxic if swallowed, is toxic in contact with skin, may cause fire or explosion (strong oxidiser), is suspected of damaging fertility, may cause allergy or asthma symptoms or breathing difficulties if inhaled and may cause an allergic skin reaction.

Additionally, the classification provided by companies to ECHA in **REACH registrations** identifies that this substance is fatal in contact with skin and is very toxic to aquatic life.

Critical properties



Regulatory actions

- Substance of very high concern (SVHC) and included in the **candidate list for authorisation**.
- Substance of very high concern requiring authorisation before it is used (**Annex XIV of REACH**).

Precautions and safe use

- Precautionary measures suggested by manufactures and importers of this substance.
- Guidance on the safe use of the substance provided by manufactures and importers of this substance.

About this substance

This substance is manufactured and/or imported in the European Economic Area in 10,000 to 100,000 tonnes per year.

This substance is used in the following products: pH regulators and water treatment products, non-metal-surface treatment products, metal surface treatment products, laboratory chemicals and adsorbents. This substance has an industrial use resulting in manufacture of another substance (use of intermediates).

Release to the environment of this substance is likely to occur from industrial use: as an intermediate step in further manufacturing of another substance (use of intermediates), as processing aid, manufacturing of the substance, formulation of mixtures, formulation in materials, in processing aids at industrial sites and in the production of articles. ...

INFOCARD - last updated: 18/05/2015

Exemple d'Infocard de l'ECHA.

des substances à enregistrer, en particulier si la PME se positionne comme leader pour débiter au plus tôt l'enregistrement). Pour les secteurs de niche par exemple, l'impact financier final n'est pas proportionnel à la taille de l'entreprise ni à son revenu...

En conclusion, si l'intention d'une telle réglementation est reconnue « louable », l'obligation pour les industriels de s'autogérer aurait sans doute nécessité au préalable une meilleure étude des impacts, en particulier pour les PME et TPE. Et les incertitudes demeurent après 2018 : mêmes difficultés pour partager les données, coût des mises à jour, règlement qui reste européen...

Du côté de l'ECHA...

L'objectif de l'Agence était de rassembler un maximum d'informations sur les substances avec, à l'échéance 2020, un engagement international sur celles utilisées de manière sécuritaire. Pour l'ECHA, le bilan est positif, car en quelques années, « on en sait beaucoup plus qu'en vingt ans d'existence ! » : deux millions de résumés d'études sur les propriétés et effets des substances ; 120 000 substances classées avec le système GHS (système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits) ; 14 000 substances enregistrées avec REACH ; 1 500 dossiers vérifiés pour leur conformité ; 460 propositions de gestion des risques (restriction), 168 substances identifiées SVHC⁽⁴⁾.

En décembre 2015, 68 % des entreprises avaient une meilleure connaissance de leurs substances et de leurs utilisations.

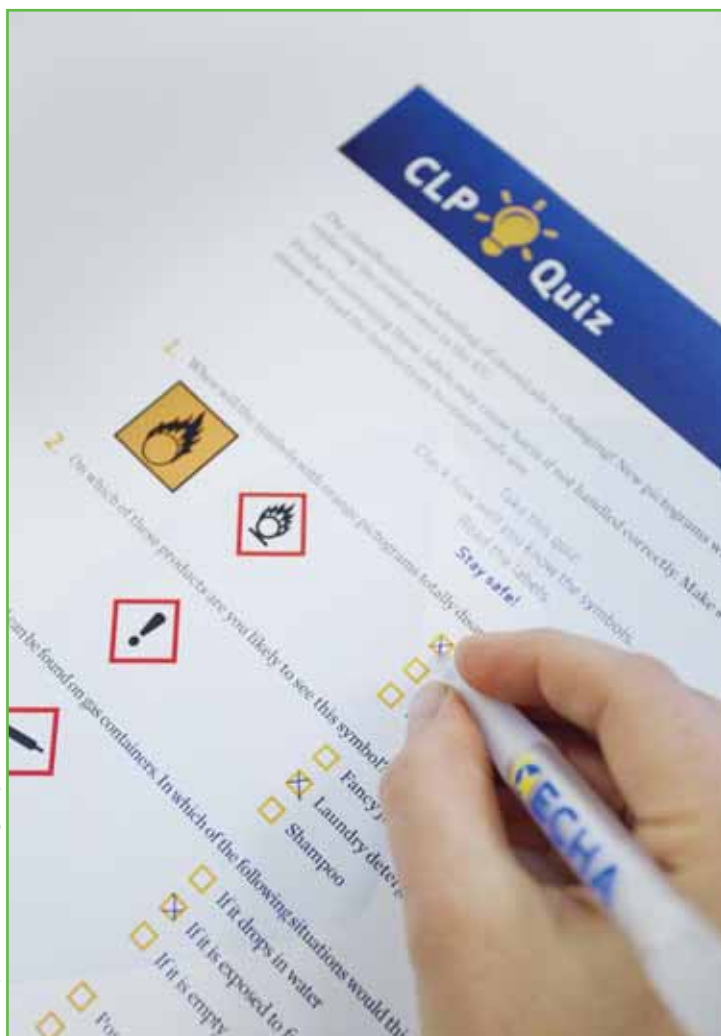
Toutes les données sont publiées sur le site Internet de l'Agence [3], et ces informations sont accessibles à tous ; aux industriels, qui y trouveront de quoi les aider pour la pré-paration de leurs dossiers d'enregistrement ; aux scientifiques, pour valider des données ou alerter les autorités ; ainsi qu'au grand public, ONG etc., très demandeurs, dont le droit à l'information est reconnu.

Autre point positif : l'utilisation plus sûre des substances. Une substance ne peut être produite ou mise sur le marché européen si elle n'a pas été enregistrée, et les produits jugés cancérigènes, mutagènes, reprotoxiques (CMR), bioaccumulables ou toxiques ne peuvent être autorisés à circuler sur le marché. Les substances préoccupantes sont traitées au niveau européen, telles les 266 substances évaluées par les États membres pour leurs propriétés PBT (persistant, bioaccumulable et toxique), CMR, préoccupantes pour le système endocrinien, sensibilisantes, nanomatériaux, etc. qui nécessitent des informations complémentaires.

Le système d'autorisation commence à fonctionner – 168 substances SVHC identifiées et 31 sur la liste d'autorisation – ainsi que le principe de substitution pour certains usages.

REACH a apporté des progrès certains. En remplaçant les 40 directives européennes qui existaient depuis 1967, ce système unique pour toutes les substances garantit en principe une égalité de traitement pour tous les opérateurs.

La porte-parole de l'ECHA a reconnu que le règlement est certes contraignant, mais qu'il a apporté un réel bénéfice pour la santé humaine, rapportant que le gouvernement autrichien avait estimé que l'adoption de REACH entraînait



© European Chemicals Agency.

un gain économique d'environ 2,5 milliards d'euros sur trente ans et que pour le gouvernement anglais, chaque euro investi par l'industrie pour se conformer à la législation apportait un bénéfice de 20 euros pour la société. Les produits chimiques seraient donc devenus plus sûrs sur les dix dernières années ? C'est ce que pensaient 61 % des Européens en février 2013⁽⁵⁾.

Il reste cependant encore beaucoup à faire, comme le soulignait l'Agence : substituer éventuellement les substances préoccupantes répertoriées ; sensibiliser les industriels sur les « nanoforms », pas toujours bien transparents dans les dossiers ; faciliter le suivi des dossiers (processus de qualité et de mise à jour, clarification), se pencher sur les effets cocktails qui ne sont pas encore évalués...

Depuis le 20 janvier, l'Agence a ouvert un nouveau site, avec un accès différencié à l'information, de la plus simple comme l'« infocard » (en anglais mais qui devrait dans le futur être traduite), qui donne les propriétés d'une substance en un clin d'œil, à la plus complexe (dossier d'enregistrement complet) [3].

... et de l'UIC

En France, en étroite coopération avec les autorités concernées (ministères de l'Environnement et de l'Industrie), l'Union des Industries Chimiques s'est dès le départ impliquée dans le processus, en accompagnant les entreprises dans leurs démarches. REACH est en effet une réglementation ambitieuse mais complexe dans sa mise en œuvre

– complexité renforcée dès 2010 par les processus d'évaluation et d'autorisation – et financièrement coûteuse. Le coût total de la première phase d'enregistrement a été estimé en Europe à 2,1 milliards d'euros en 2012 par le CSES⁽⁶⁾, contre une estimation de départ de 2,3 milliards d'euros par la Commission européenne pour l'ensemble des trois étapes. Le coût d'un dossier d'enregistrement, le plus souvent de l'ordre de 70 000 euros, peut aller jusqu'à un, voire deux millions d'euros pour un gros tonnage.

Bien que REACH soit une « machine lourde et sophistiquée », dont la mise en place n'a pas été facile, nécessitant des moyens techniques et juridiques, les industriels de la chimie se sont beaucoup investis et ont passé avec succès les deux premières étapes d'enregistrement (20 % des PME comptabilisés pour la tranche 2010-2013, 40 % attendus en 2018).

À l'approche de 2018, l'UIC continue à se mobiliser pour sensibiliser et accompagner les PME et TPE vers cette nouvelle échéance en mettant en œuvre plusieurs actions : conférences en ligne – « webinars » thématiques pour faciliter la recherche, et traduction des « webinars » de l'ECHA (première initiative européenne d'Atout REACH) –, échanges avec les adhérents aux niveaux national et européen, présentations dans les UIC régionales et les Chambres de commerce et d'industrie, sensibilisation des secteurs industriels en aval.

Quelle sera la prochaine étape : un REACH mondial ? Tous les industriels le réclament...

• Source : Rencontre presse UIC/ECHA, Paris, 11 février 2016.

Notes et références

- (1) CoRAP : plan d'action continu communautaire qui répertorie les substances devant être soumises à évaluation sur une période de trois ans.
- (2) SIEF : forum d'échange d'informations sur les substances chimiques (données techniques, propriétés des substances). Un forum est mis en place pour chaque substance pré-enregistrée sous la même identité. Le forum est ouvert automatiquement aux fabricants et importateurs qui ont pré-enregistré leur substance ainsi qu'aux fabricants et importateurs potentiels de la substance concernée ou sur demande à l'Agence à tout détenteur de données sur les substances qui souhaite les partager (entreprise qui fabrique moins de 1 t/an, ONG...). Avant de procéder à la constitution du dossier d'enregistrement, le déclarant doit s'informer auprès de l'Agence pour vérifier si la substance n'a pas déjà été enregistrée par un autre fabricant ou importateur pour l'usage auquel il la destine.
- (3) IUCLID (International Uniform Chemical Information Database) : outil pour enregistrer, soumettre et échanger les données.
- (4) SVHC (« substance of very high concern ») : substance extrêmement préoccupante – cancérigène, mutagène ou toxique pour la reproduction (CMR), persistante, bioaccumulable et toxique (PBT), très persistante et très bioaccumulable (vPvB), perturbateur endocrinien.
- (5) Eurobaromètre, février 2013.
- (6) CSES : Center of Strategy and Evaluation Services.
- [1] Sillion B., REACH : un outil pour améliorer le dialogue entre chimie et société, *L'Act. Chim.*, 2011, 355, p. 37.
- [2] Pour en savoir plus sur REACH : *Chimie et expertise. Santé et environnement*, Collection « Chimie et », M.-T. Dinh-Audouin, D. Olivier, P. Rigny (coord.), EDP Sciences/Fondation de la Maison de la Chimie, 2015, en particulier p. 15-37, 39-48.
- [3] <http://echa.europa.eu/fr>



Roselyne Messal

est journaliste à *L'Actualité Chimique**.

* SCF, 28 rue Saint-Dominique, F-75007 Paris.
Courriel : redaction@lactualitechimique.org
www.lactualitechimique.org

Construction des orbitales moléculaires d'un complexe octaédrique

La théorie des groupes est-elle indispensable ?

François Volatron et Patrick Chaquin

Résumé Cet article présente une méthode systématique de construction du diagramme orbitalaire d'un complexe octaédrique ML_6 ($L = H^-$, $M =$ métal de transition) modèle, sans le recours à la théorie des groupes. Dans un premier temps, les notions de symétrie et d'antisymétrie par rapport à un plan permettent la construction des orbitales de H_6 adaptées à la symétrie. Dans un deuxième temps, on laisse interagir avec les orbitales atomiques de valence du métal central. Cette construction permet de présenter et d'exploiter ces diagrammes dès la deuxième, voire la première année de licence.

Mots-clés **Orbitale moléculaire, complexe octaédrique, métal de transition, symétrie, théorie.**

Abstract **Building molecular orbitals of an octahedral complex: is group theory essential?**

This article presents a systematic method for building the molecular orbital diagram of a model octahedral complex ML_6 ($L = H^-$, $M =$ transition metal) without appealing to group theory. In a first step, using the concepts of symmetry and antisymmetry with respect to a plane, the symmetry adapted orbitals of the H_6 moiety are obtained. In a second step, we allow these fragment orbitals to interact with the valence orbitals of the metal. This way, such diagrams can be presented and exploited as soon as the second or even first year of undergraduate education.

Keywords **Molecular orbital, octahedral complex, transition metal, symmetry, theory.**

L'enseignement post-bac et notamment les classes préparatoires aux grandes écoles scientifiques accordent une place de plus en plus importante à l'étude de la structure électronique des molécules par l'analyse et/ou la construction des orbitales moléculaires (OM). De nombreux ouvrages sont consacrés à la description et à l'utilisation des OM, principalement en chimie organique [1].

L'utilisation des OM en chimie inorganique se heurte à un problème d'outils : leur construction s'effectue souvent par le biais de la théorie des groupes qui n'est généralement enseignée qu'au niveau bac + 3 (L3). Ceci constitue un obstacle à l'enseignement de la chimie inorganique théorique au cours des deux premières années universitaires.

Le but de cet article est d'établir la structure électronique d'un complexe octaédrique sans utiliser la théorie des groupes, mais en mettant à profit des analyses simples de symétrie, accessibles à la plupart des étudiants post-bac. Bien sûr, cette approche ne permet pas de démontrer tous les résultats que l'on obtient à l'aide de la théorie des groupes, aussi quelques-uns doivent être admis, notamment en ce qui concerne la dégénérescence de certaines OM.

Une des premières difficultés qui apparaît lorsqu'on aborde la chimie des éléments de transition est que le métal est entouré de ligands souvent complexes, tels que des phosphines ou des ligands organiques, le cyclopentadiényl étant un exemple souvent rencontré. Il est toutefois possible

de modéliser un complexe $M(\text{ligand})_6$ en se limitant aux orbitales de ligand qui interagissent directement avec le métal ; c'est par exemple l'orbitale qui décrit la paire libre de PR_3 dans le cas des phosphines. On peut ainsi « résumer » le ligand à une seule orbitale, celle dont l'interaction avec le métal crée directement la liaison métal-ligand.

Un ligand particulièrement simple dans cet ordre d'idée est le ligand hydrogène, H, qui ne possède qu'une seule orbitale de valence, l'orbitale 1s [2]. Ce ligand existe effectivement et joue un rôle important dans tous les phénomènes d'hydrogénation catalytique ; il intervient par exemple dans le cycle catalytique du complexe de Wilkinson [3]. Un modèle simple mais réaliste d'un complexe octaédrique est donc le complexe MH_6 qui sera étudié dans cet article. La structure électronique obtenue pour ce modèle est un point de départ pour l'étude de complexes plus compliqués où les ligands pourront intervenir par plusieurs orbitales (effets π) [4].

Pour construire les OM du complexe octaédrique MH_6 , on effectue une fragmentation en M et H_6 (voir encadré 1 pour la méthode de fragmentation).

Le fragment H_6

Les orbitales moléculaires de ce fragment sont elles aussi établies à l'aide d'une fragmentation en H_4 carré et H_2 ;

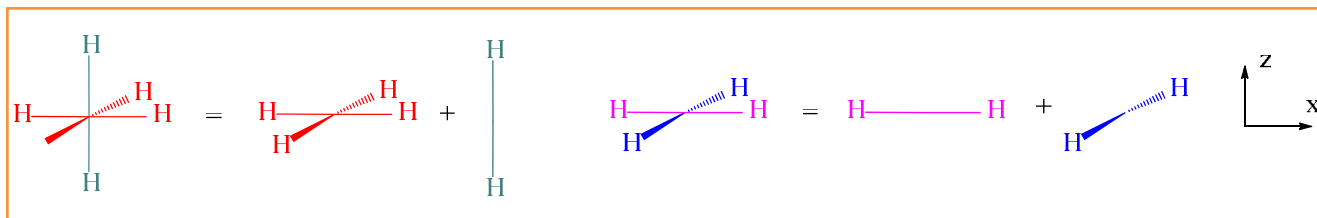


Figure 1.

Encadré 1**La méthode de fragmentation**

Dans le cadre de la théorie LCAO, chaque orbitale moléculaire (OM) φ est exprimée comme combinaison linéaire des orbitales atomiques (OA) χ_i :

$$\varphi = \sum_i c_i \chi_i$$

Il est possible de scinder cette sommation en deux termes, en regroupant les OA appartenant à deux parties A et B de la molécule, les fragments :

$$\varphi = \sum_{i \in A} c_i \chi_i + \sum_{i \in B} c_i \chi_i$$

Pour chaque fragment, la combinaison linéaire des OA constitue les OM du fragment considéré. Établir les OM de la molécule totale revient ainsi à faire interagir entre elles les OM des deux fragments. Les règles d'interaction sont identiques à celles établies pour l'interaction de deux OA sur deux centres (voir encadré 2).

celles de H_4 résultent de l'interaction des OM des deux fragments H_2 et H_2 , chaque fragment regroupant les atomes d'hydrogène séparés par une diagonale du carré (figure 1).

Les trois fragments H_2 impliqués possédant des distances H...H égales, ils sont identiques. Leurs orbitales sont donc identiques : chaque fragment présente une OM liante σ , combinaison en phase des deux orbitales atomiques (OA) 1s des atomes d'hydrogène et une OM antiliante σ^* , combinaison en opposition de phase de ces mêmes OA (voir encadré 2). De plus, comme les atomes sont relativement éloignés, ce recouvrement est faible. L'OM liante est donc faiblement stabilisée et l'antiliante faiblement déstabilisée : ces deux OM sont proches en énergie.

Construire le diagramme d'interaction entre les deux orbitales de fragment (OF) est grandement facilité par les études des propriétés de symétrie de celles-ci (figure 2). Si l'on considère les deux plans xz (P_1) et yz (P_2)⁽¹⁾ qui sont des plans de symétrie de H_4 , chaque orbitale est soit symétrique (S), soit antisymétrique (A) par rapport à chaque plan⁽²⁾. On obtient ainsi l'étiquetage présenté en figure 2 pour les différentes orbitales de fragment ; par exemple, SA indique que l'orbitale σ^*_1 est symétrique par rapport à P_1 et antisymétrique par rapport à P_2 .

Encadré 2**Les règles d'interaction de deux orbitales atomiques sur deux centres**

Dans le cadre de la théorie LCAO, chaque OM φ s'écrit comme : $\varphi = c_1 \chi_1 + c_2 \chi_2$

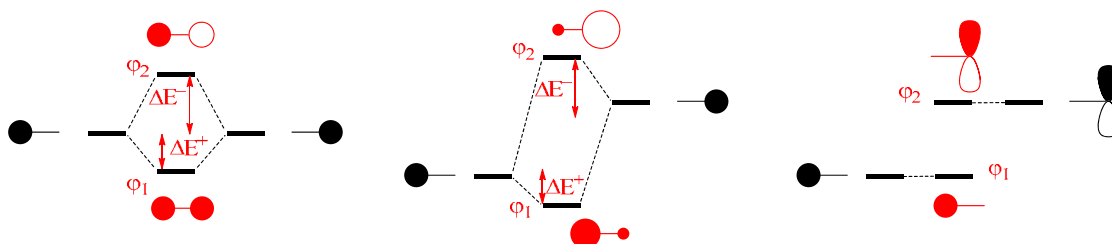
Trois cas simples permettent de traiter qualitativement toutes les interactions de deux orbitales atomiques :

1) **Les deux OA sont identiques** : l'interaction des deux OA (de recouvrement S choisi positif) conduit à la formation de deux OM, l'une liante et l'autre antiliante. Dans l'OM liante, les deux coefficients des OA sont égaux ($c_1 = c_2$), alors qu'ils sont opposés ($c_1 = -c_2$) dans l'OM antiliante. La stabilisation ΔE^+ de l'OM liante ainsi que la déstabilisation ΔE^- de l'OM antiliante sont deux quantités proportionnelles à S. Celle-ci diminue rapidement lorsque la distance entre les atomes qui portent les OA augmente.

2) **Les deux OA sont d'énergies très différentes** : il se forme à nouveau deux orbitales, une liante et une antiliante. Dans l'OM liante, les deux OA sont en phase mais le coefficient de l'OA la plus basse est plus grand que l'autre : l'orbitale est dite « polarisée ». Dans l'OM antiliante, les deux coefficients sont opposés et cette OM est polarisée sur l'OA la plus haute en énergie. Les deux quantités ΔE^+ et ΔE^- sont proportionnelles à $S^2/\Delta\varepsilon$, où $\Delta\varepsilon$ est la différence d'énergie entre les deux OA.

3) **Les deux OA ont un recouvrement nul** : il n'y a alors pas d'interaction ; chaque OM est une OA de départ qui, en première approximation, n'est perturbée ni en forme ni en énergie. Cela revient à avoir $c_1 = 1$ et $c_2 = 0$ dans le première OM, et $c_1 = 0$ et $c_2 = 1$ dans la seconde. Cette situation se rencontre lorsque, par rapport à un élément de symétrie moléculaire, une OA est symétrique et que l'autre est antisymétrique.

Tous ces résultats sont résumés dans les schémas suivants :



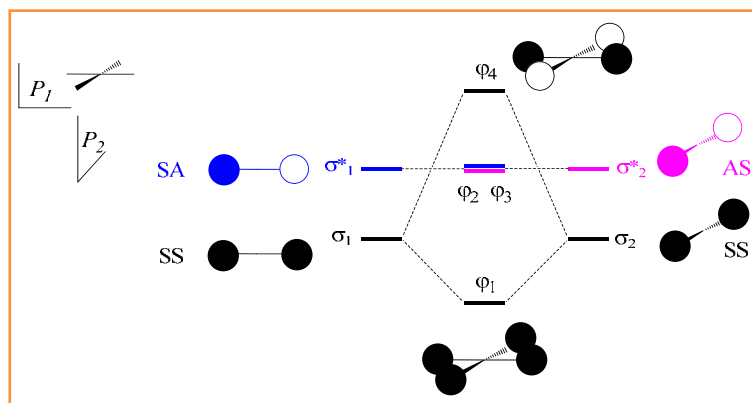
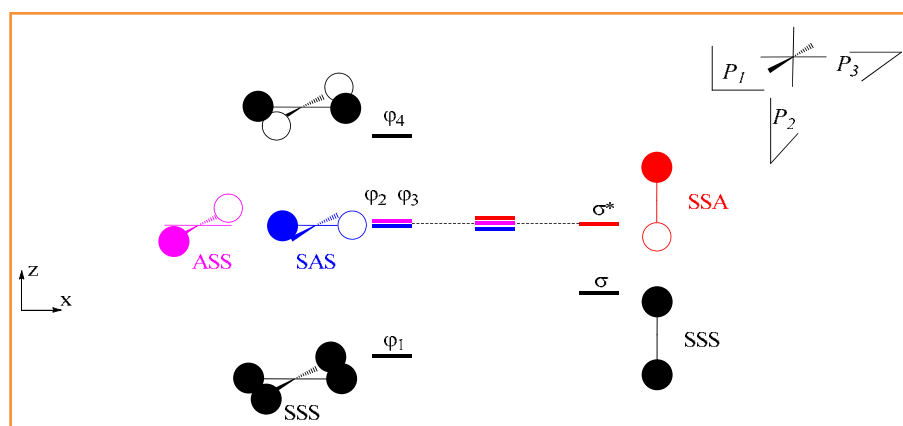
Figure 2 - Orbitales moléculaires du fragment H_4 .

Figure 3.



Figure 4.

Seules les orbitales qui possèdent les mêmes propriétés de symétrie peuvent interagir (voir encadré 2). Par exemple, l'orbitale σ^*_1 du fragment situé dans P_1 est antisymétrique par rapport à P_2 et ne peut donc pas interagir avec les autres orbitales qui sont toutes symétriques par rapport à ce même plan. En conséquence, elle se retrouvera inchangée dans le diagramme d'OM de H_4 .

Compte tenu des propriétés de symétrie de chaque OF, on obtient le diagramme de la figure 2.

Les deux OF σ^*_1 et σ^*_2 n'interagissent avec aucune autre et seules les OF SS peuvent interagir. Elles conduisent à la formation d'une orbitale liante ϕ_1 et d'une orbitale antiliante ϕ_4 . Dans ces deux orbitales, comme les OF qui les constituent ont la même énergie, ces dernières auront le même poids. En conséquence, les coefficients de chaque orbitale 1s sont égaux en valeur absolue dans ces deux OM. L'examen de l'orbitale ϕ_4 justifie son positionnement énergétique au-dessus des OM dégénérées ϕ_2 et ϕ_3 . En effet, il apparaît quatre interactions antiliantes entre les OA 1s portées par des atomes voisins : cette orbitale est donc la plus haute en énergie. Dans ϕ_2 et ϕ_3 , il n'apparaît qu'une interaction antiliante entre des OA qui, de plus, sont plus éloignées et donc présentent un recouvrement plus faible.

L'étape suivante est la construction des OM de H_6 en faisant interagir les orbitales σ et σ^* de H_2 (porté par l'axe des z) avec celles de H_4 précédemment construites.

On remarque tout d'abord que l'OF σ^* du fragment H_2 est déstabilisée de la même quantité que celles des deux fragments H_2 utilisés précédemment (et qui constituent ϕ_2 et ϕ_3) : en effet, la distance entre les deux OA qui interagissent étant identiques, leurs recouvrements sont égaux.

À nouveau, l'étude des propriétés de symétrie permet de construire pour l'essentiel le diagramme d'interaction entre les OF des deux fragments. Par rapport aux deux plans P_1 et P_2 , les deux orbitales du fragment H_2 sont symétriques (figure 3). Si on analyse la symétrie par

rapport au plan xy (P_3), l'OM liante est symétrique et l'antiliante antisymétrique. Les quatre OF de H_4 sont toutes symétriques par rapport à P_3 puisque chaque orbitale 1s des atomes de H_4 l'est. On constate donc que les trois orbitales ASS, SAS ou SSA, seules dans leur famille de symétrie, ne peuvent interagir avec une autre OF. Elles forment donc trois OM de H_6 ; comme elles ont la même énergie, elles forment un niveau triplement dégénéré de H_6 .

À l'issue de cette première analyse, trois orbitales SSS sont susceptibles d'interagir. Pour aller plus loin, il est nécessaire de considérer un autre élément de symétrie, par exemple, parmi d'autres choix possibles, le plan vertical bisectant l'angle formé par les axes x et y. Par rapport à ce plan P_4 , ϕ_1 et σ sont symétriques alors que ϕ_4 est antisymétrique (figure 4) : ϕ_4 ne peut donc pas interagir et formera une OM de H_6 .

Une seule interaction est donc possible entre les orbitales de deux fragments, entre ϕ_1 et σ . Il se forme une combinaison liante et une autre antiliante.

Nous admettrons les résultats suivants :

- 1) dans l'OM liante, tous les coefficients sont égaux ;
- 2) dans l'OM antiliante, les coefficients des orbitales provenant du fragment H_2 sont doubles (en valeur absolue) de ceux de H_4 ;
- 3) l'OM antiliante a exactement la même énergie que ϕ_4 ⁽³⁾.

On obtient ainsi les OM de H_6 qui se répartissent selon trois niveaux : le plus bas en énergie n'est pas dégénéré ; au-dessus se trouve un niveau triplement dégénéré ; le niveau le plus haut est doublement dégénéré (figure 5).

Le fragment M

Un métal de transition du bloc d se caractérise par une sous-couche (n-1)d incomplète lorsqu'on applique les règles de remplissage de Klechkovsky. La première série de transition de la classification périodique apparaît lors du remplissage des OA 3d. Elle comprend dix métaux, allant du scandium au zinc⁽⁴⁾. Afin de fixer les idées, nous prendrons l'exemple d'un élément de cette série de transition, les résultats étant identiques pour les autres éléments du bloc d.

Les orbitales de valence d'un métal de la première série sont les OA 3d, 4s et 4p. Ces dernières, bien que vacantes

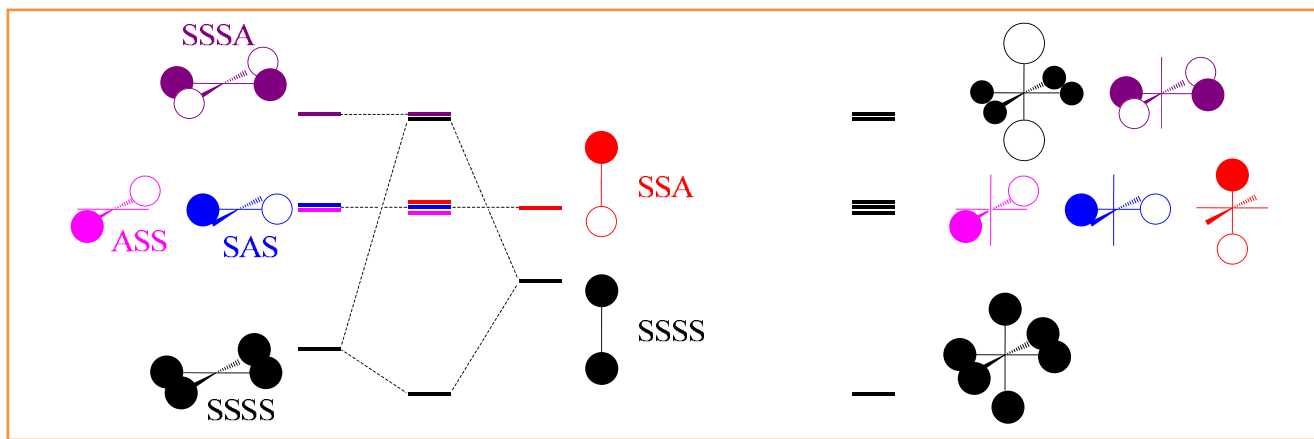


Figure 5 - Orbitales moléculaires du fragment H₆.

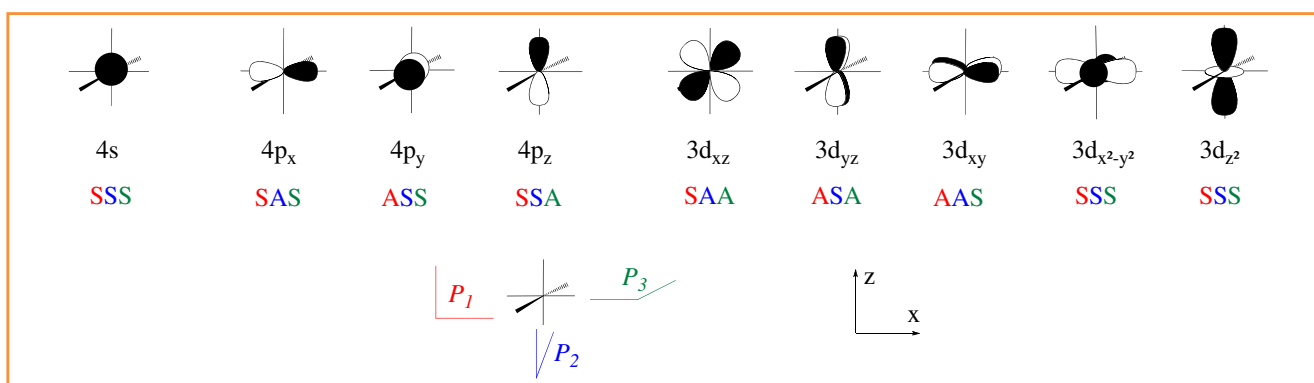


Figure 6 - Orbitales atomiques de valence du fragment M.

dans l'état fondamental de l'atome, sont nécessaires à la description de la structure électronique des complexes. Les OA de valence du métal sont représentées *figure 6* ainsi que leurs propriétés de symétrie par rapport aux trois plans P_1 (rouge), P_2 (bleu) et P_3 (vert).

L'orbitale 4s ne possède pas de plan nodal ; les orbitales 4p en possèdent chacune un, P_2 , P_1 et P_3 respectivement pour $4p_x$, $4p_y$ et $4p_z$. Les expressions analytiques des orbitales 3d sont :

$$3d_{xz} = Nxz e^{-\zeta r}, \quad 3d_{yz} = Nyz e^{-\zeta r}, \quad 3d_{xy} = Nxy e^{-\zeta r}$$

$$3d_{x^2-y^2} = \frac{N}{2}(x^2 - y^2)e^{-\zeta r}$$

$$3d_{z^2} = \frac{N}{2\sqrt{3}}(2z^2 - x^2 - y^2)e^{-\zeta r} = \frac{N}{2\sqrt{3}}(3z^2 - r^2)e^{-\zeta r}$$

Dans ces expressions, N est un coefficient de normalisation et ζ un paramètre caractéristique des orbitales 3d pour un métal donné. À l'exception de d_{z^2} , chaque orbitale 3d possède deux plans nodaux : P_2 et P_3 pour $3d_{xz}$; P_1 et P_3 pour $3d_{yz}$; P_1 et P_2 pour $3d_{xy}$. Ceux de l'orbitale $3d_{x^2-y^2}$ sont les deux plans bissecteurs de l'angle formé par les axes x et y. L'orbitale $3d_{z^2}$ ne possède pas de plan nodal mais un cône nodal de révolution autour de l'axe des z.

Une propriété importante de ces éléments du bloc d est qu'ils sont tous peu électronégatifs : dans l'échelle de Pauling, l'électronégativité des métaux du bloc d varie de 1,2 pour Y à 2,4 pour Au, valeurs à comparer à celles du lithium (1,0), du carbone (2,6) ou de l'hydrogène (2,2). Cela se traduit par des énergies relativement élevées de leurs orbitales de valence, supérieures à celles des ligands auxquels ils sont liés.

Le diagramme d'interaction entre les fragments M et H₆ met en jeu quinze orbitales : les neuf OA de M et les six orbitales de H₆. La considération des seules propriétés de symétrie par rapport aux trois plans permet de bâtir neuf des OM de MH₆ (*figure 7*) : trois orbitales 3d sont antisymétriques par rapport à deux plans et ne peuvent interagir avec aucune des OM de H₆. Elles restent donc non liantes dans ce diagramme

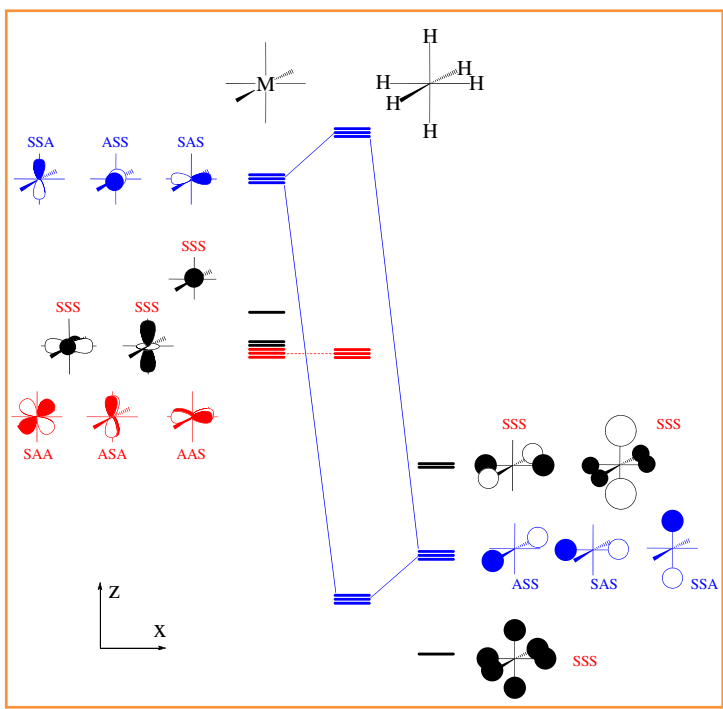


Figure 7.

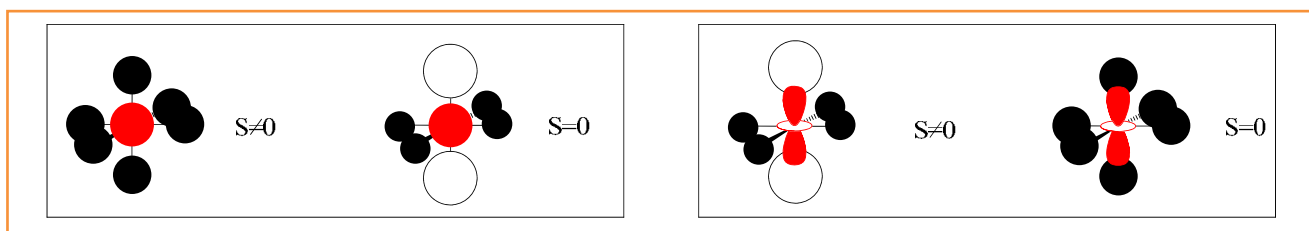
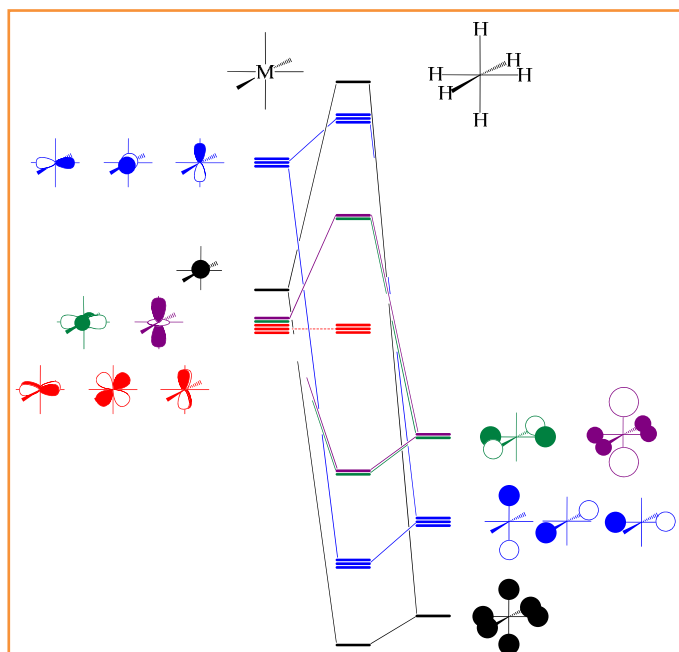
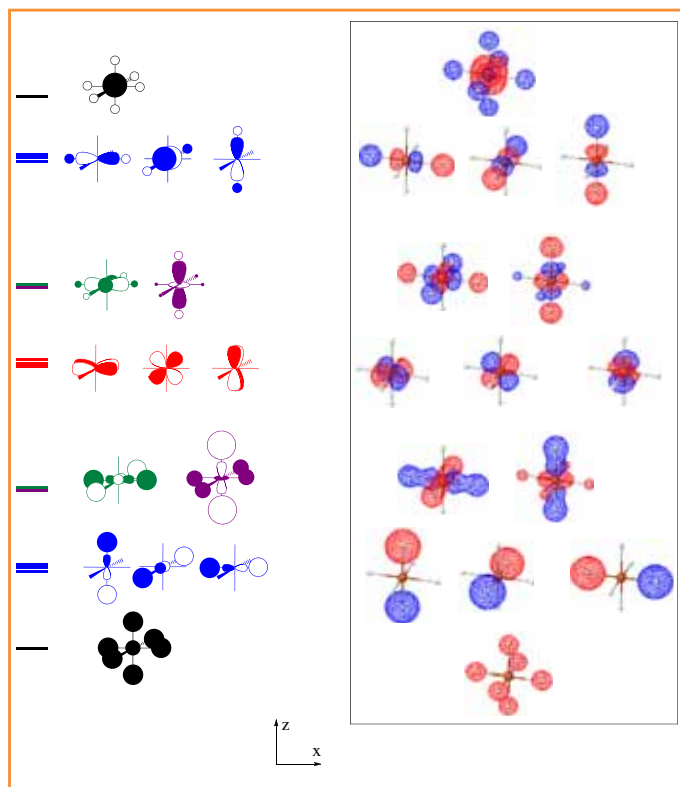


Figure 8.

Figure 9 - Diagramme d'interaction entre les orbitales atomiques de M et les orbitales moléculaires de H_6 .Figure 10 - Représentation des orbitales moléculaires de MH_6 .

d'interaction et forment ainsi trois OM du complexe. Chaque orbitale 4p du métal possède la même symétrie qu'une orbitale du niveau triplement dégénéré de H_6 . Il y a trois interactions possibles qui conduisent à la formation de trois OM liantes dégénérées et de trois OM antiliantes elles aussi dégénérées.

À l'issue de cette première analyse, trois OA SSS du métal sont susceptibles d'interagir avec trois OF SSS de H_6 . L'analyse de la symétrie par rapport au plan bissecteur P_4 permet d'avancer dans la construction du diagramme. Parmi ces six orbitales SSS, deux sont antisymétriques par rapport à ce plan, toutes les autres étant symétriques. Elles ne peuvent donc interagir qu'ensemble et forment une OM liante et une antiliante.

Montrer que pour les quatre orbitales restantes, les interactions se résument à deux interactions à deux orbitales ne peut être établi à partir de simples considérations de symétrie comme cela a été fait jusqu'à présent. Il est nécessaire ici de calculer les recouvrements entre orbitales.

Le recouvrement de l'OA 4s avec l'orbitale la plus basse de H_6 est différent de zéro puisqu'il est la somme de six contributions positives. À l'inverse, son recouvrement avec l'orbitale la plus haute de H_6 est nul : à quatre termes positifs viennent se retrancher deux termes négatifs deux fois plus importants puisque les coefficients des OA sont doubles (figure 8).

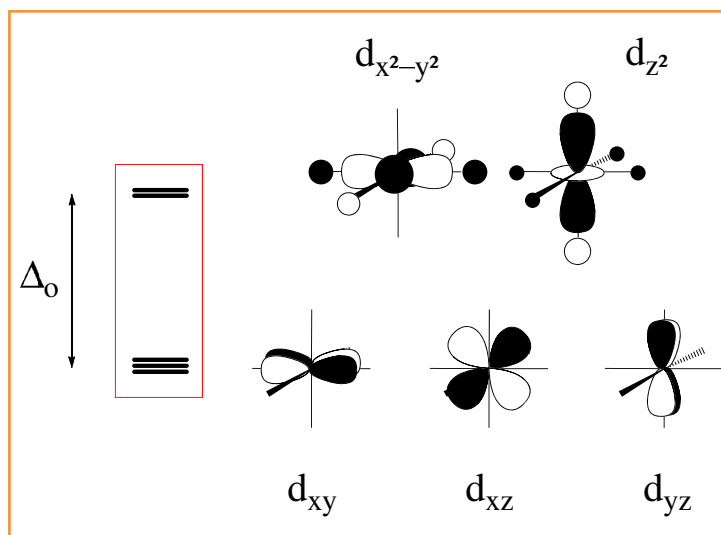
De même, le recouvrement de l'OA d_{z^2} est nul avec l'orbitale la plus basse de H_6 et non nul avec la plus haute (on remarquera ici que dans d_{z^2} , la contribution sur l'axe des z est deux fois plus importante en valeur absolue que celles sur les axes x et y).

L'OA 4s ne peut donc interagir qu'avec l'orbitale la plus basse de H_6 et d_{z^2} qu'avec la plus haute. Il est ainsi possible de compléter le diagramme d'interaction (figure 9).

Un résultat a été admis ici : les interactions des OA $d_{x^2-y^2}$ et d_{z^2} avec les orbitales dégénérées de H_6 conduisent à la formation d'un couple d'OM liantes dégénérées et d'un couple d'OM antiliantes dégénérées. La forme des différentes OM obtenues sur le complexe modèle $Fe(H_6)^{4-}$ est donnée en figure 10 ; les surfaces d'isodensité calculées à l'aide de la méthode « Extended Hückel (EHMO) » (disponible sur le site du logiciel OrbiMol) [5] sont données sur la partie droite de la figure 10.

Il apparaît six OM liantes entre M et H_6 , qui sont les plus basses en énergie. Le peuplement de ces six orbitales permet la description de six liaisons entre le métal et les six ligands. On remarquera que du fait de la différence d'électronegativité entre le métal et les ligands, ces OM sont polarisées sur les orbitales les plus basses, c'est-à-dire celles des ligands⁽⁵⁾.

Plus haut en énergie, on trouve trois orbitales dégénérées et strictement non liantes qui sont les orbitales d_{xz} , d_{yz} et d_{xy} . Immédiatement au-dessus se trouvent les deux orbitales dégénérées antiliantes qui se développent principalement sur

Figure 11 - Le « bloc d » du complexe MH_6 .**Encadré 3****Utilisation de la théorie des groupes**

L'établissement des OM de MH_6 est considérablement simplifié lorsqu'il est possible d'employer les résultats donnés par la théorie des groupes [7] (qui généralement enseignée au niveau L3). Dans le groupe de symétrie de l'octaèdre, O_h , les caractères associés à la représentation des six OA 1s sont :

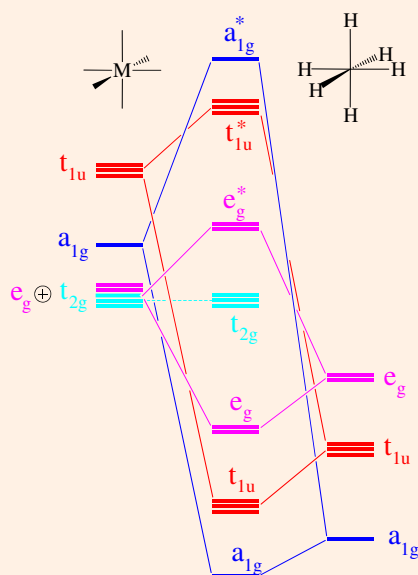
O_h	E	$8C_3$	$6C_2$	$6C_4$	$3C_2$	i	$6S_4$	$8S_6$	$3\sigma_h$	$6\sigma_d$
$\Gamma(s^6)$	6	0	0	2	2	0	0	0	4	2

Cette représentation se réduit selon :

$$\Gamma(s^6) = A_{1g} \oplus E_g \oplus T_{1u}$$

On retrouve ici que les OM de H_6 se répartissent selon un niveau non dégénéré (A_{1g}), un autre doublement dégénéré (E_g) et un troisième triplement dégénéré (T_{1u}).

Les OA du métal sont des bases des représentations irréductibles A_{1g} (4s), T_{1u} (4p) et $E_g \oplus T_{2g}$ (3d). En faisant interagir les orbitales qui sont des bases des mêmes représentations irréductibles, on retrouve le diagramme précédent :



L'intérêt essentiel de cette approche est que la dégénérescence des OM est directement démontrée par l'appartenance à une représentation irréductible d'ordre supérieur à un.

le métal, à l'inverse des orbitales liantes associées ; elles sont majoritairement constituées des orbitales d_{z^2} et $d_{x^2-y^2}$.

Les quatre dernières OM sont antiliantes entre le métal et les ligands ; elles sont de peu d'intérêt pour les propriétés chimiques des complexes.

Un résultat important de ce diagramme est la présence de cinq OM principalement constituées des OA d du métal : trois sont non liantes et deux antiliantes. Cet ensemble d'orbitales constitue ce qui est appelé le « bloc d » du complexe ; l'essentiel des propriétés chimiques et physico-chimiques de ces composés provient de la nature de ce bloc d (figure 11). Traditionnellement, on appelle Δ_0 (ou $10Dq$) la séparation énergétique entre ces deux groupes d'orbitales.

Obtenir le bloc d d'un complexe octaédrique par l'utilisation de propriétés de symétrie simples est bien sûr plus long que par la théorie des groupes (présentée dans l'encadré 3). Cela permet toutefois de montrer que les deux OM les plus hautes sont antiliantes entre le métal et les ligands, résultat qui ne peut pas être obtenu dans le cadre de la théorie du champ cristallin. Les conséquences de cette propriété ont déjà fait l'objet d'un article dans ce journal [6].

Notes et références

- [1] L'utilisation de ces deux plans est suffisante pour construire les orbitales de H_4 .
- [2] Symétrique signifie que l'orbitale est identique à son image par la symétrie plane, et antisymétrique que son image est l'opposée de l'orbitale de départ.
- [3] On peut trouver le résultat 2 en écrivant que l'OM antiliante est orthogonale à l'OM liante et le résultat 3 en calculant, dans chaque OM, les recouvrements entre proches voisins.
- [4] L'atome de zinc, de configuration $[Ar]4s^23d^{10}$, ne correspond pas *stricto sensu* à la définition d'un élément de transition puisque la sous-couche 3d est entièrement remplie. De ce fait, certains auteurs ne le classent pas comme élément de transition. Ses propriétés chimiques le rapprochent cependant plus d'un métal de transition que d'un élément du groupe principal.
- [5] Cette polarisation des OM, donc des liaisons, justifie en partie le « décompte ionique » où les deux électrons de la liaison métal-ligand sont attribués au ligand.
- [1] Nguyễn T.A., *Orbitales frontières : manuel pratique*, InterEdition/CNRS Éditions, 1995 ; Hiberty P., Nguyễn T.A., *Introduction à la chimie quantitative*, Éditions de l'École polytechnique, 2008 ; Chaquin P., Volatron F., *Chimie organique, une approche orbitale*, De Boek Supérieur, 2015. Voir également : Albright T.A., Burdett J.K., Whangbo M.-H., *Orbital interactions in chemistry*, Wiley, 1985.
- [2] Astruc D., *Chimie organométallique*, EDP Sciences, 2000.
- [3] Shriver D.F., Atkins P.W., *Chimie inorganique*, De Boek Université, 2001.
- [4] Jean Y., *Les orbitales moléculaires dans les complexes*, Éditions de l'École polytechnique, 2003.
- [5] Chaquin P., Fuster F., *OrbiMol*, www.lct.jussieu.fr/pagesperso/orbimol/fr/index-fr.shtml
- [6] Volatron F., Chaquin P., Introduction à la chimie inorganique : théorie du champ cristallin ou théorie des orbitales moléculaires ?, *L'Act. Chim.*, 2015, 396, p. 40.
- [7] Carter R.L., *Molecular symmetry and group theory*, Wiley, 1994 ; Cotton F.A., *Chemical applications of group theory*, 3^{ed}, Wiley, 1990.



F. Volatron

François Volatron est directeur de recherche au CNRS et **Patrick Chaquin**, professeur émérite au Laboratoire de Chimie Théorique, Université Pierre et Marie Curie, Sorbonne Universités, Paris*.



P. Chaquin

* Laboratoire de Chimie Théorique, UMR CNRS 7616, UPMC, LabEx MiChem, Sorbonne Universités, 4 place Jussieu, CC 137, F-75005 Paris. Courriels : volatron@lct.jussieu.fr ; patrick.chaquin@lct.jussieu.fr

Tous les Bup de 1907 à ce jour
en téléchargement gratuit pour toute adhésion et abonnement

Publication numérique mensuelle
avec impression papier trimestrielle



Consultation du Bup en ligne
par articles et par numéro avec BupDoc

- ◆ Pour tous : 1907 → 2008
- ◆ Pour les abonnés : 2009 → 2016



Un congrès organisé chaque année
par une académie différente



Dans
toute la France
des sections
académiques

Guadeloupe



La Réunion



Martinique



Mayotte



Guyane



Le site : <http://www.udppc.asso.fr>



Union des professeurs de physique et de chimie

Accueil | Adhérer | Le bulletin | Li et tests | Espace Labo | Espace Collège | Espace Lycée | Documents Thématiques | recherche...

Adhésion et abonnement en ligne
<http://www.udppc.asso.fr>



Espace Labo	Espace Lycée	Documents thématiques
Textes statutaires et documents	Enquêtes	Autour de la classification périodique
Gestion du laboratoire	Programmes	Météorologie
Sécurité	Documents de réflexion	Relativité
Préparation TP chimie	Sites incontournables	Spectroscopies
Préparation TP physique	Documents pédagogiques	Effet Doppler
	Corrigés du bac	Quantique
	L'arpenteur du web	Chimie : synthèses
Espace Collège		Couleurs
Programmes		Colloques, congrès, journées
Liens intéressants		



Synthèse et analyse du di-(acétylacétonato)cuivre(II)

Jean-Christophe Hannachi

Résumé	Cette activité expérimentale présente la synthèse d'un complexe, le di-(acétylacétonato)cuivre(II). Son obtention est aisée et laisse le temps de procéder à la purification et à l'analyse du composé par des méthodes de chimie analytique éprouvées, donnant ainsi une séance très complète. Enfin, une brève étude des orbitales de ce genre de molécules est abordée, permettant d'éclairer les observations faites lors de l'expérience.
Mots-clés	Enseignement, activité expérimentale, synthèse, recristallisation, titrage, transfert de phase, orbitales moléculaires, structure des complexes.
Abstract	Synthesis and analysis of di-(acetylacetonato) copper(II) This practical class presents the synthesis of a complex called di-(acetylacetonato) copper(II). It is easy to obtain and leaves enough time to purify and analyse the compound by using tried and tested analytical chemistry, for thus a very complete session. Finally, the orbital of this kind of molecules is briefly studied, which allows to shed light on the observations made during the experiment.
Keywords	Teaching, practical class, synthesis, crystallization, analysis by titration, phase transfer, orbitals, geometry of complexes.

Cet article propose une activité expérimentale autour de la synthèse et l'analyse du di-(acétylacétonato)cuivre(II), complexe noté $\text{Cu}(\text{Acac})_2$. Suite à la réforme des programmes des classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE), une nouvelle partie a fait son apparition sur l'étude des complexes des métaux de transition, leur structure, leurs orbitales moléculaires, leur réactivité et leur implication dans les cycles catalytiques. Celle-ci est assortie d'un volet expérimental : « Pratiquer une démarche expérimentale mettant en jeu la synthèse, l'analyse, la réactivité ou la caractérisation d'un complexe d'un métal de transition » [1].

Il existe beaucoup de synthèses assorties de diverses analyses, en particulier des complexes du fer avec des oxalates [2a], des complexes du nickel [2b] et aussi beaucoup de complexes du cuivre(II) [2c], avec des ligands tels que l'ammoniac, l'éthylène diamine, la glycine, et bien sûr le ligand issu de la pentane-2,4-dione. Dans cette lignée, nous proposons une séance qui éclaire par bien des aspects de nombreux points du nouveau programme et questionne les élèves dans l'interprétation des titrages.

Cette activité expérimentale a été testée avec des élèves de PC*. Elle dure quatre heures et laisse une grande part à la manipulation et à la réflexion. L'analyse qui en est faite suit les questions du texte (voir annexes⁽¹⁾).

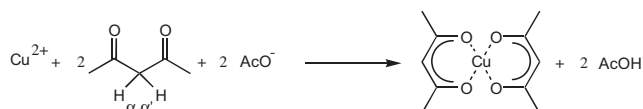
Obtention de $\text{Cu}(\text{Acac})_2$

Synthèse du complexe

L'obtention de $\text{Cu}(\text{Acac})_2$ est relativement rapide et aisée ; la synthèse, la purification et l'analyse peuvent être effectuées en une séance. Le réactif initial est du sulfate de cuivre pentahydraté qui est dissous dans l'eau, auquel on

ajoute de l'acétate de sodium trihydraté et enfin, sous agitation, le précurseur du ligand, la pentane-2,4-dione (AcacH). Les quantités ont été calculées pour introduire 1 mL de ce composé et être en léger excès en ligand. Pour les réactifs, les stœchiométries des hydrates sont bien déterminées car il s'agit également de complexes du cuivre(II) et du sodium(I).

On obtient la transformation globale suivante :



La transformation dure une quinzaine de minutes à température ambiante et il se forme rapidement un précipité. Au cours de la réaction, on note que la couleur évolue, passant du bleu de l'ion cuivre(II) solvaté dans l'eau à une teinte que l'on a qualifiée avec les élèves de « bleu orange ». Le solide est ensuite filtré sous pression réduite, lavé abondamment à l'eau puis à l'éthanol et enfin à l'acétone⁽²⁾ pour pouvoir disposer rapidement d'un produit brut sec (sa teinte devient alors d'un bleu plus clair).

De par sa structure et en particulier ses deux atomes d'hydrogène en α, α' , la pentane-2,4-dione permet d'obtenir assez facilement un carbanion stabilisé (Acac^-). Même avec une base faible, l'acétate, le rendement de la synthèse est bon. Cela peut s'expliquer par la stabilité intrinsèque du complexe et aussi parce que le produit, en précipitant, déplace l'équilibre. La littérature mentionne parfois des bases plus fortes (ammoniac concentré, voire de la soude), mais en élevant trop le pH, le risque est de précipiter le cuivre(II), ce qui finira par nuire au rendement de la synthèse (qui ne vaut que 30 % dans la référence [2c]).

Le complexe étant neutre, on déduit qu'il faut deux Acac^- pour compléter la charge du cuivre(II). La seule indétermination



Figure 1 - Le complexe $\text{Cu}(\text{Acac})_2$ recrystallisé dans l'éthanol.



Figure 2 - La cristallisation du complexe dans le butan-1-ol observée par transparence à l'aide d'une lampe.

est l'éventuelle présence du ligand aqua, hypothèse plausible si on cherche un complexe avec six sites de complexation (du type octaédrique). Cette question est importante car lors de l'analyse, la présence d'eau modifierait la masse molaire et donc les stœchiométries métal/ligand. La présence d'eau dans les complexes du cuivre(II) est classique. On peut citer l'acétate de cuivre(II) de formule $[\text{Cu}(\text{AcO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}]$. Pour l'identifier, un élève doit penser à la spectroscopie infrarouge, où la vibration de la liaison hydroxyle est un incontournable (avec le carbonyle). Sur l'exemple de l'acétate de cuivre(II) monohydraté, on retrouve les bandes caractéristiques autour de 3400 cm^{-1} [3]. Dans le complexe synthétisé, des bandes équivalentes sont absentes, ce que nous avons vérifié avec notre propre spectrophotomètre à infrarouge (en solution saturée dans CH_2Cl_2) et qui correspond aussi aux spectres disponibles [3]. Finalement, le ligand étant dibenté, la méthode VSEPR prédit plutôt une géométrie de complexe tétraédrique, mais avec ce type d'environnement, on peut avoir aussi des structures de type plan-carré, ce qui est le cas ici.

Purification par recristallisation

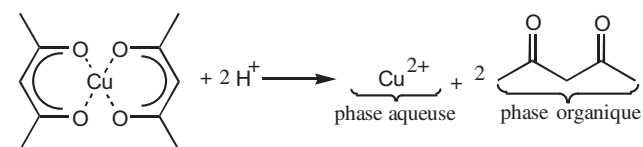
La deuxième étape consiste à purifier le composé, en utilisant comme méthode une recristallisation. Il était nécessaire de trouver un solvant adapté à un établissement scolaire. Après différents tests, il s'avère que ce solide est peu soluble dans l'eau et l'éthanol ; en revanche, les cristaux y sont très beaux, comme le montre la *figure 1*. Il est préférable d'utiliser du butan-1-ol. On montre l'intérêt qu'il y a à utiliser un solvant de température d'ébullition élevée (116 à $118 \text{ }^\circ\text{C}$) pour jouer de façon plus efficace sur la solubilité, qui atteint à reflux près de 1 g pour 50 mL de solvant. La phase liquide est alors d'un bleu très sombre. Pour vérifier qu'il n'y a plus de solide, on baisse le chauffe-ballon et on met une lampe sous la phase liquide. Si on prend la précaution de laisser la température baisser lentement, au bout de 15 minutes, il se forme de très beaux cristaux qui ont impressionné les élèves (*figure 2*).

Finalement, le produit est récupéré par filtration (les eaux-mères contenant le butanol onéreux sont recyclées par distillation), lavé à l'éthanol puis à l'acétone et mis à sécher à l'étuve. Les élèves récupèrent un peu moins de 1 g de complexe pur, soit un rendement typique de l'ordre de 80% . Les deux heures suivantes de l'activité expérimentale sont utilisées pour analyser le complexe. Il vaut mieux l'avoir préparé à l'avance, éventuellement par un groupe précédent, pour permettre une cristallisation lente très spectaculaire.

Analyse du complexe

Séparation des constituants

La première étape de l'analyse consiste à séparer les constituants du complexe et à les localiser dans deux phases différentes. Après avoir pesé précisément de l'ordre de $0,26 \text{ g}$ de complexe (1 mmol), celui-ci est mis sous agitation dans 20 mL d'une solution d'acide sulfurique à $2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$; on observe alors qu'il se dissout rapidement. La lixiviation acide du complexe est effectuée en protonant le ligand. La pentane-2,4-dione est reformée *in situ* et l'ion cuivre(II) est libéré ; la solution bleuit. Elle est alors refroidie à $0 \text{ }^\circ\text{C}$ pour éviter de trop vaporiser l'éther, avant l'ajout de celui-ci, l'objectif étant d'obtenir le ligand en phase organique et le cation en phase aqueuse :



Lors de la préparation de l'expérience, les premières tentatives de dosage du ligand ont échoué ; nous étions plus près de la stœchiométrie métal/ligand de 1 pour 1 que de 1 pour 2 . Le problème vient du fait que la quantité de dicétone non extraite par l'éther de la phase aqueuse acide n'est pas négligeable⁽⁹⁾. Ce fait, *a priori* inattendu, est peut-être lié à la particularité de notre ligand qui présente une forme énol relativement présente, car très stabilisée par une structure conjuguée et par une liaison hydrogène intramoléculaire :



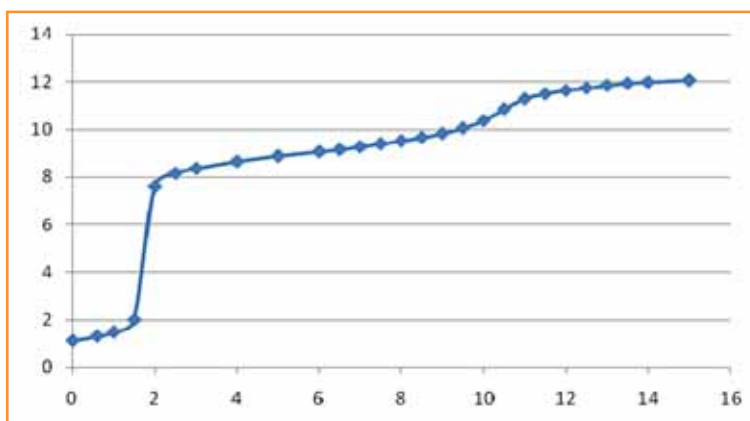


Figure 3 - Suivi pH-métrique du titrage de la phase organique par la soude.

Pour réussir cette extraction délicate, il est donc nécessaire de prendre des précautions. Ainsi, du chlorure de sodium est ajouté qui permet le relargage du ligand vers l'éther et on multiplie les petites extractions dont le rendement est meilleur qu'une seule importante. On verra tout de suite que même ainsi, le titrage sous-estime de façon systématique la quantité de ligand.

Analyse du ligand

Dans un erlenmeyer – verrerie toujours préférable quand une agitation vigoureuse est requise –, on ajoute 30 mL d'eau où trempera le couple d'électrodes de mesure de pH et où se déroulera la réaction de titrage. La phase organique est ajoutée ; il vaut mieux refroidir le tout pour limiter les vapeurs d'éther. Ensuite, on procède au titrage classique par la soude $2,00 \times 10^{-1} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en relevant le pH. Il est nécessaire de bien agiter pour faciliter le transfert du ligand de la phase organique vers la phase aqueuse où la réaction acido-basique a lieu. On obtient typiquement une courbe semblable à celle de la figure 3.

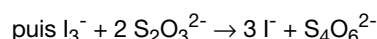
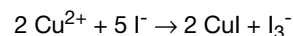
Du début jusqu'à $V_{\text{eq}1}$, qui vaut ici de l'ordre de 1,5 mL, on dose les protons résiduels liés à la présence de l'acide sulfurique lors de la destruction du complexe. Il n'est pas possible de prévoir ce volume équivalent, qui dépend du soin avec lequel on a séparé les phases avec l'ampoule à décanter. Comme la phase organique ne peut pas être lavée à l'eau, ce qui extrait en partie le ligand, ce premier titrage est inévitable.

Ensuite de $V_{\text{eq}1}$ à $V_{\text{eq}2} = 10,5 \text{ mL}$, on titre le ligand en formant Acac^- . On note à la demi-équivalence le pK_A apparent (la présence d'éther peut légèrement modifier la valeur) du couple qui avoisine 9. On obtient une valeur remarquable pour une liaison carbone-hydrogène, valeur qui confirme la facilité de produire le ligand en milieu faiblement basique. De façon systématique, on obtient pour l'équivalence une valeur inférieure à celle attendue : $V_{\text{eq}2} - V_{\text{eq}1}$ ne vaut pas 10 mL mais plutôt typiquement 9 mL. Ceci justifie bien les efforts faits pour optimiser l'extraction de la pentane-2,4-dione par l'éther. La stœchiométrie du complexe reste bien valable car on cherche une valeur entière.

Analyse du cuivre

Le titrage colorimétrique de Cu^{2+} de la phase aqueuse est très classique [4] ; un excès d'iodure de potassium est ajouté, ce qui convertit le cuivre(II) en iodure cuivreux en générant du

diiodure ($0,5 \text{ mmol}$ théorique, sous forme de I_3^-), en accord avec les potentiels standard donnés. Ce dernier composé est ensuite dosé par le thiosulfate $1,00 \times 10^{-1} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en utilisant un indicateur de fin de réaction :



Lors de l'ajout de l'iodure de potassium, un brunissement de la solution est observé ainsi que la formation importante d'un précipité d'iodure cuivreux dont la présence complique un peu la perception visuelle de l'équivalence. La solution reste laiteuse ; elle est au départ de couleur « café au lait foncé » puis le brun devient jaune clair ; l'ajout d'empois d'amidon donne une teinte grisée. Ce titrage présente d'autres problèmes. La présence massive des halogénures cuivreux peut induire un titre systématiquement sous-estimé, le précipité adsorbant le diiodure [5]. L'erreur peut être limitée en dissolvant le solide, par l'ajout d'un large excès de thiocyanate ou mieux, d'iodure de potassium. Ceci justifie la grande quantité introduite de ce composé lors de l'expérience. On pourrait penser conduire le titrage lentement pour permettre la désorption de l'iode au degré (0) du précipité, mais l'agitation prolongée de la solution contenant l'iodure cuivreux en présence de dioxygène finit par reformer aussi du diiodure⁽⁴⁾ ; ceci fausserait aussi la détermination. Au final, on obtient un volume équivalent plus proche de 9,5 mL que de 10,0 mL, valeur attendue.

Ces analyses permettent ainsi de justifier la structure du complexe $\text{Cu}(\text{Acac})_2$. Elles montrent aussi qu'en chimie rien n'est simple, et que pour les deux déterminations, pour des raisons rationnelles, les valeurs expérimentales obtenues sont systématiquement légèrement en dessous des valeurs prévues.

Quelques mots autour des complexes du cuivre(II) [6]

Lorsqu'on étudie les complexes des métaux de transition, leur géométrie et leurs orbitales moléculaires, les exemples associés au cuivre(II) sont souvent cités car ce cation donne lieu à de nombreuses structures, en raison de sa configuration en d^9 . Et en effet, cette activité expérimentale permet d'en observer certaines au fil de l'expérience.

De façon simple, le sulfate de cuivre se dissout sous forme de $\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$, espèce hexacoordinée. Dans le cours, on justifie que pour une structure octaédrique avec des ligands σ -donneurs, la levée partielle de dégénérescence des orbitales issues du bloc d donne deux niveaux, e_g et t_{2g} . Pour l'ion cuivre(II), à l'état fondamental, toutes les sous-couches sont complètes sauf une, supérieure, simplement peuplée. Un électron du niveau t_{2g} peut changer de niveau en absorbant des longueurs d'onde de l'infrarouge au jaune, avec un maximum vers 800 nm (figure 4) ; la solution prend alors sa couleur bleue pâle caractéristique. Mais une observation attentive du spectre d'absorption montre une ébauche d'épaule liée à la superposition de deux pics très proches. La géométrie du complexe évolue pour le stabiliser : deux ligands axiaux s'éloignent du centre métallique par effet Jahn-Teller. Ceci induit un éclatement supplémentaire du bloc d et multiplie les possibilités de transition. Ce phénomène reste toutefois peu visible pour Cu^{2+} dans l'eau.

Lorsque cette déformation est poussée à la limite et que les deux ligands axiaux s'éloignent vraiment, on aboutit à une structure plan-carré. Ce genre de géométrie concerne

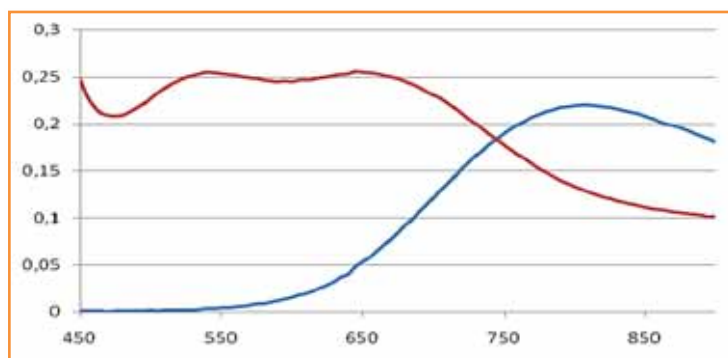


Figure 4 - Tracé de l'absorbance en fonction de λ (en nm) du sulfate de cuivre aqueux $0,02 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (en bleu) et du complexe $\text{Cu}(\text{Acac})_2$ à $1 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ dissous dans le dichlorométhane (en rouge).

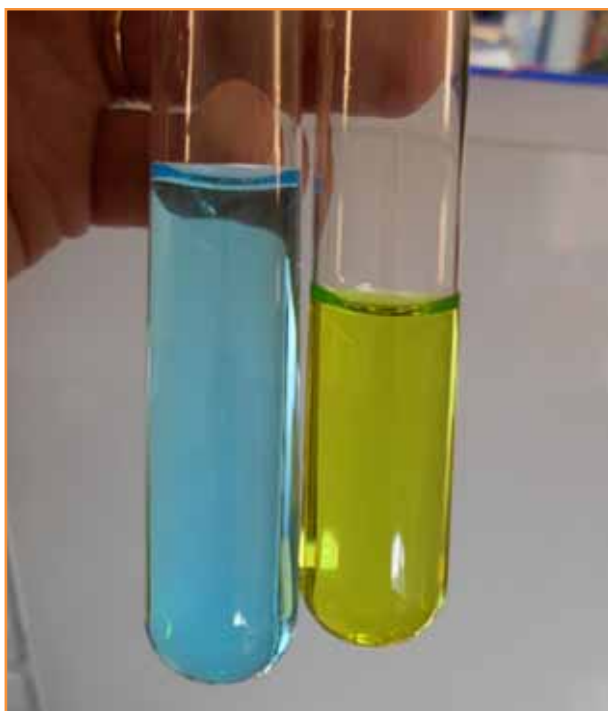


Figure 5 - Sulfate de cuivre dans l'eau (à gauche) et dans l'acide chlorhydrique $6 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (à droite).

idéalement les complexes en d^8 dont l'orbitale très antiliante issue de la $d_{x^2-y^2}$ est vide. On peut citer comme exemple emblématique le complexe de Wilkinson ($\text{RhCl}[\text{P}(\text{C}_6\text{H}_5)_3]_3$). Pour le complexe $\text{Cu}(\text{Acac})_2$, on obtient effectivement une structure plan-carré. L'évolution des orbitales issues du bloc d n'est pas évidente à prévoir du fait de la complexité du ligand, qui présente aussi des effets de type π . Mais comme souvent en chimie, l'expérience permet de mettre en évidence la nouvelle levée de dégénérescence des orbitales, par le biais du spectre d'absorption dans le visible⁽⁵⁾. On observe de façon claire deux pics qui se chevauchent avec des extremums estimés à 540 et 650 nm (figure 4), pics que l'on peut simplement associer aux transitions liées à la levée supplémentaire de dégénérescence du bloc d du fait de la géométrie plan-carré.

Pour finir, si on a été attentif au cours de l'activité expérimentale, une dernière structure intervient. En effet, pendant l'analyse du complexe, lors du relargage du ligand en phase éthérée par ajout massif de chlorure de sodium, on observe que la phase aqueuse devient verte. En réalité, cette couleur

est le résultat de la couleur bleu pâle habituelle de Cu^{2+} dans l'eau, mais aussi des complexes verts à jaunes du cuivre(II) avec les chlorures $\text{Cu}(\text{Cl})_{2+x}^{-x}$ (figure 5). Pour $x = 2$, le complexe jaune $\text{Cu}(\text{Cl})_4^{2-}$ est remarquable car il est le plus souvent tétraédrique mais peut parfois basculer vers une géométrie plan-carré suivant la nature du contre-ion [7].

Cette expérience illustre bien toutes les possibilités qu'offrent les complexes avec un métal en d^9 . Elle montre l'intérêt qu'il y a à faire le lien entre théorie et observations expérimentales. En particulier, par le biais du spectre d'absorption dans le visible, on obtient des informations sur la géométrie du complexe, informations que l'on peut justifier par les orbitales moléculaires ; tous ces aspects guident le cours associé.

Conclusion

Cette activité expérimentale présente la synthèse et l'analyse d'un complexe du cuivre fort connu. Elle permet de réinvestir les connaissances expérimentales de la chimie organique. L'analyse met en œuvre des techniques de titrage somme toute assez classiques. Mais l'interprétation des titres obtenus, systématiquement sous-estimés, oblige l'élève à rentrer dans le détail de l'analyse, aussi bien pour les méthodes que les réactions mises en jeu. L'expérience permet d'améliorer la compréhension des systèmes étudiés. Enfin, l'ouverture que l'on peut faire sur l'étude de la grande famille des dérivés du cuivre(II) permet de balayer les différentes géométries et structures électroniques des complexes des métaux de transition.

L'auteur remercie Cécile Perrin, professeur attaché au laboratoire du lycée, pour son aide précieuse lors des multiples expériences nécessaires à la mise au point de cette activité expérimentale, ainsi que Thomas Zabulon, professeur en CPGE, pour sa relecture attentive et amicale.

Notes et références

Pour faciliter la bibliographie associée à cet article qui concerne en premier lieu des enseignants du secondaire, l'auteur a privilégié au maximum les articles en version téléchargeable (souvent gratuite).

- (1) Annexes en libre accès sur le site Internet de la revue (www.lactualitechimique.org), page liée au sommaire de ce numéro.
 - (2) Il n'est pas nécessaire de refroidir les solvants de lavage, le complexe étant très peu soluble dans ceux-ci.
 - (3) Pour vérifier cela, j'ai déterminé la constante de partage de la pentane-2,4-dione entre l'eau et l'éther par un titrage pH-métrique. Cette molécule est près de quatre fois plus soluble en phase organique qu'en phase aqueuse. Une simple extraction ne permet donc pas de récupérer toute la dione de façon quantitative. Du fait de l'intérêt que présente cette expérience dans le programme de première année de CPGE, où un dosage dans un milieu biphasique assorti d'une constante de partage est demandé, le texte associé et les résultats sont disponibles en *annexe*⁽¹⁾.
 - (4) Ce phénomène peut être facilement observé en laissant le milieu réactionnel sous agitation ; l'équivalence juste atteinte, il revire en quelques minutes.
 - (5) L'acquisition de ce spectre est très simple et peut être faite lors d'un TP ou d'un cours autour des orbitales des complexes. Le complexe $\text{Cu}(\text{Acac})_2$ est relativement peu soluble dans le dichlorométhane. On obtient avec une concentration de 1 mg par mL (proche de la saturation) une absorbance maximale voisine de 0,25 ; absorbance maximale également obtenue avec le sulfate de cuivre aqueux à $0,02 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
- [1] *Partie 3 – Formation disciplinaire : 3-3 Orbitales moléculaires et structure des complexes*, programme disponible sur www.scei-concours.fr/CPGE/CPGE.php
- [2] Voir par exemple quelques articles issus du *Bulletin de l'union des professeurs de physique et de chimie (Le Bup)* sur <http://udppc.asso.fr/bupdoc/consultation/selections.php> ; a) Eastes R.-E., Une expérience de chimie organique adaptée aux classes de PC et PC*. (2) Analyse et préparation de l'oxalate de fer (II). Préparation du trioxalatoferrate (III) de potassium, *Le Bup*, **1998**, 805(2), p. 131, article n° 7465 ; b) Petitfaux C., Delanuy J., Un complexe facile à préparer et à analyser $\text{Ni}(\text{NH}_3)_6\text{Cl}_2$, *Le Bup*, **1994**, 765(1), p. 1003, article n° 4260 ; c) Languillier A.-F., Defranceschi M., Préparation et étude spectroscopique de quelques complexes du cuivre II, *Le Bup*, **1993**, 757, p. 1253, article n° 3548.

- [3] Banque de données spectroscopiques, complexe du cuivre(II) avec l'acétate (composé n° 15242) et l'acétylacétonate (n° 4120), http://sdfs.db.aist.go.jp/sdfs/cgi-bin/cre_index.cgi
- [4] Heinrich L., L'analyse d'un complexe monomoléculaire du cuivre(II), *L'Act. Chim.*, **2011**, 358, p. 32.
- [5] Donadini J.-C., Dosage du cuivre(II) par iodométrie, *Le Bup*, **1983**, 654, article n° 8910 sur <http://udppc.asso.fr/bupdoc/consultation/selections.php>.
- [6] Miessler G.L., Tarr D.A., *Inorganic Chemistry*, Prentice-Hall International Editions, **1991**.
- [7] Greenwood N.N., Earnshaw A., *Chemistry of the Elements*, Pergamon Press, **1984**, p. 1385-1386.



Jean-Christophe Hannachi
est professeur en PC* au lycée Pierre de Fermat, Toulouse*.

* Lycée Pierre de Fermat, Parvis des Jacobins, BP 7013, F-31068 Toulouse Cedex 7.
Courriel : jean-christophe.hannachi@ac-toulouse.fr



Société Chimique de France
Le réseau des chimistes

Depuis 1857, la SCF fédère et anime
le réseau des chimistes français

De multiples actions

du régional à l'international...



- Animation et consultance scientifiques
- Réseau des jeunes chimistes



- Réseaux européens



- Prix et distinctions

à son actif

- Sa revue généraliste
« L'Actualité Chimique »



*En 2014 : 350 auteurs
sur 750 pages*

www.lactualitechimique.org

- La collection de livres
« Chimie et... » (co-édition)
- Son site Internet et sa lettre d'info



www.societechimiquedefrance.fr

Eugène Chevreul (1786-1889), savant placide ?

Josette Fournier

Résumé	La longévité de célébrités a été attribuée à leur hérédité jointe à une aptitude à ne pas s'émouvoir ni à s'intéresser aux événements extérieurs. C'est le portrait que Berthelot prête à Chevreul ; néanmoins d'autres témoignages infirment ce jugement.
Mots-clés	Chevreul, savants centenaires, Nadar, Berthelot, Fouqué, Académie des sciences.
Abstract	Eugène Chevreul (1786-1889), a placid scientist? Long life of celebrities was attributed to heredity attached to their ability not to be affected or pay attention to external events. Thus Berthelot described Chevreul as a placid man without sensibility nor imagination, but other witnesses invalid this opinion.
Keywords	Chevreul, centenarian scientists, Nadar, Fouqué, French Academy of sciences.

Les facteurs de longévité

Chevreul est décédé le 9 avril 1889 dans sa 103^e année, et nombreux sont ceux qui s'interrogent encore sur les facteurs à l'origine de son exceptionnelle longévité [1]. Lui invoquait des causes génétiques, ses parents, Michel et Étiennette Bachelier, s'étant éteints respectivement à plus de 91 et 93 ans. Dans l'interview photographique qu'ils ont réalisée à l'occasion du centenaire du savant [2], Félix et Paul Nadar veulent percer le « secret de la longévité » : « *C'est ainsi que vous passez pour avoir trouvé chimiquement un secret de longévité, comme Flamel avait trouvé dans ses alambics, disait-on, un secret pour faire de l'or. [...] Trouver un centenaire n'est déjà pas chose commode. Le rencontrer doué de toutes les facultés et à un degré aussi éminent, cela nous échoit-il une fois par siècle ?* » Réaliste, Chevreul corrige : « *Il ne faut, d'autre part, rien exagérer ni se permettre de prétendre que n'importe quel homme avancé en âge conserve au même degré ses facultés.* » À la « transmission héréditaire », il ajoute le choix d'un régime adapté à ses aptitudes et fermement observé. Il évoque Fontenelle qui « *suivit cette recette...* ». Ses interlocuteurs répondent : « *Un peu plus mais moins bien que vous, puisque pour se ménager mieux, il put arriver à supprimer chez lui jusqu'à la sensibilité devant les souffrances des autres.* » Sur les photographies de cette interview, loin de manquer de sensibilité, le vieux savant montre en effet une exceptionnelle et étonnante vivacité de gestes et d'esprit.

En 1940, le chimiste George Sarton (1884-1956), l'un des fondateurs de l'histoire des sciences, reprend, avec les exemples de Fontenelle et de Chevreul, l'idée que la longévité est le fruit d'une hérédité adéquate, mais aussi d'un maintien volontaire à l'écart des nouvelles du monde, d'une « placidité » et d'une « tempérance » construites en réaction aux guerres et révolutions qui avaient marqué leurs jeunes années [3]. Sarton se fonde pour Chevreul sur la notice malveillante que Berthelot lui a consacrée quinze ans après sa disparition [4] : « *travaillant dans son laboratoire (1813-1815), sans paraître ni troublé, ni peut-être même ému par les*

ruines qui s'amoncelaient autour de lui », « *avec la placidité d'un sage que rien n'étonne, [Chevreul] ne témoignait guère à personne ni antipathie ni sympathie marquées* », « *avec une patience et une lenteur indéfiniment prolongées* », il jouissait au Muséum d'une vénération (que Berthelot ne dit pas justifiée mais) « traditionnelle ». Berthelot reconnaît quand même qu'en 1862, il « *prit avec vigueur la défense du Muséum* » attaqué par un général à la Chambre des députés ; alors qu'on peut relever la rapidité et la fermeté avec lesquelles Chevreul, âgé de 84 ans, réplique, en 1870, au bombardement du Muséum par les Prussiens, Berthelot parle à ce sujet du « *calme serein d'un sage* ». « *Dans son œuvre comme dans sa personne, il avait réalisé ce mot de l'un des hommes politiques d'autrefois : Il faut durer* », les années avaient passé sur sa figure « *sans en altérer beaucoup l'expression* ». « *C'était un grand vieillard [...] à figure intelligente [...] dont les lignes bien accusées manquaient peut-être de finesse et de vivacité. Sur ses lèvres régnait un sourire débonnaire, expression du contentement intérieur qui résultait [...] d'une carrière heureuse et tranquille.* » Bien qu'il lui reconnaisse « *d'innombrables communications sur les sujets les plus divers* », Berthelot assure que Chevreul vécut toute sa vie « *cantoné dans ses propres travaux [...] sans avoir été agité, comme les savants de notre génération, par l'évolution incessante des notions réputées définitives aux années de sa jeunesse ; sans avoir été troublé par la crainte ou tout au moins le regret mélancolique de se voir peu à peu dépassé [...] Il semblait arrêté et comme figé dans une sorte d'optimisme scientifique.* »

On sait avec quelle fidélité Chevreul soutint la famille d'Abel Niepce de Saint-Victor, inventeur de la photographie sur verre albuminé, décédé en 1870, et combien nombreux ont été ses anciens élèves polytechniciens dont, tels Charles de Freycinet (1828-1923) [5] ou Auguste Cahours (1813-1891) [6], il a accompagné la carrière. C'est donc au mépris de la vérité que Berthelot écrit : « *Chevreul absorbé dans sa propre personnalité, ne cherchait pas à comprendre celle d'autrui ; il ne portait guère aux gens d'intérêt profond, et il a disparu, sans former ni école ni élèves nombreux. Il n'en*



L'art de vivre cent ans : trois entretiens avec Monsieur Chevreul photographiés à la veille de sa cent et unième année, couverture du *Journal illustré*, 5 septembre 1886.

témoigna jamais le goût ni le désir. » « Il avait le débit tardif d'un homme dont la pensée est lente à se produire. » « Il accueillait les candidats (à l'Académie) avec les formes courtoises d'une bienveillance obligatoire. » On note encore selon Berthelot sa jeunesse passée dans un « milieu provincial », imprimée d'un « esprit sérieux, laborieux, conservateur ».

Berthelot se vengeait sans élégance du commentaire critique et pertinent que Chevreul avait publié dans le *Journal des Savants* à la parution de sa *Chimie organique fondée sur la synthèse* quarante-cinq ans auparavant [7].

Une lettre adressée par Chevreul à son père (1754-1845), directeur de l'École secondaire de médecine d'Angers, et la relation par Fouquet d'une séance d'élection à l'Académie des sciences, inédites, viennent contredire formellement cette image de savant tranquille et insensible aux événements extérieurs.

Lettre inédite de Chevreul à son père [8]

Museum d'histoire naturelle 9 janvier 1837
mon cher père,

je m'empresse de t'accuser la réception de ta lettre et du billet de 750 francs payable le 5 février pour le semestre de 1836 –

je profite de l'occasion de M. Honard qui veut bien se charger de ma lettre –

je suis occupé plus que jamais par tous mes travaux et de plus par la direction du Museum d'histoire naturelle dont j'ai été chargé de nouveau par mes confrères pour cette année 1837 c'est un grand sacrifice que je fais à mes devoirs que

d'avoir pris cette nouvelle charge, à la vérité bon gré malgré (sic), elle cessera de me peser l'année prochaine puisque la loi ne permet pas que la même personne conserve la direction une 3^e année

Je publie maintenant une suite de mémoires sur mes recherches chimiques en teinture.

Lundi, il y a huit jours, j'ai perdu en allant à l'Institut un des deux mémoires que je devais y lire, le plus volumineux j'ai été obligé d'improviser sur quelques notes, et ensuite j'ai passé toute ma semaine à refaire en partie de mémoire et en partie avec mes procès verbaux d'observation un travail que j'avais été trois grands mois à écrire –

heureusement demain j'en verrai la fin – mais c'est un retard de 8 jours –

Henri va bien je suis fort content de lui sous tous les rapports – il vous est bien attaché – quant à Sophie elle tousse toujours un peu, cependant elle est bien mieux depuis son retour à Paris – elle commence à prendre le lait d'anesse –

Je te félicite ainsi que ma mère de votre bonne santé, c'est un grand bonheur. Je commence à croire que je tiens de vous car malgré toutes mes occupations je ne sens point encore mes forces me manquer –

Je t'embrasse bien tendrement ainsi que ma mère
E Chevreul

P.S. je n'ai pas le temps de relire cette lettre

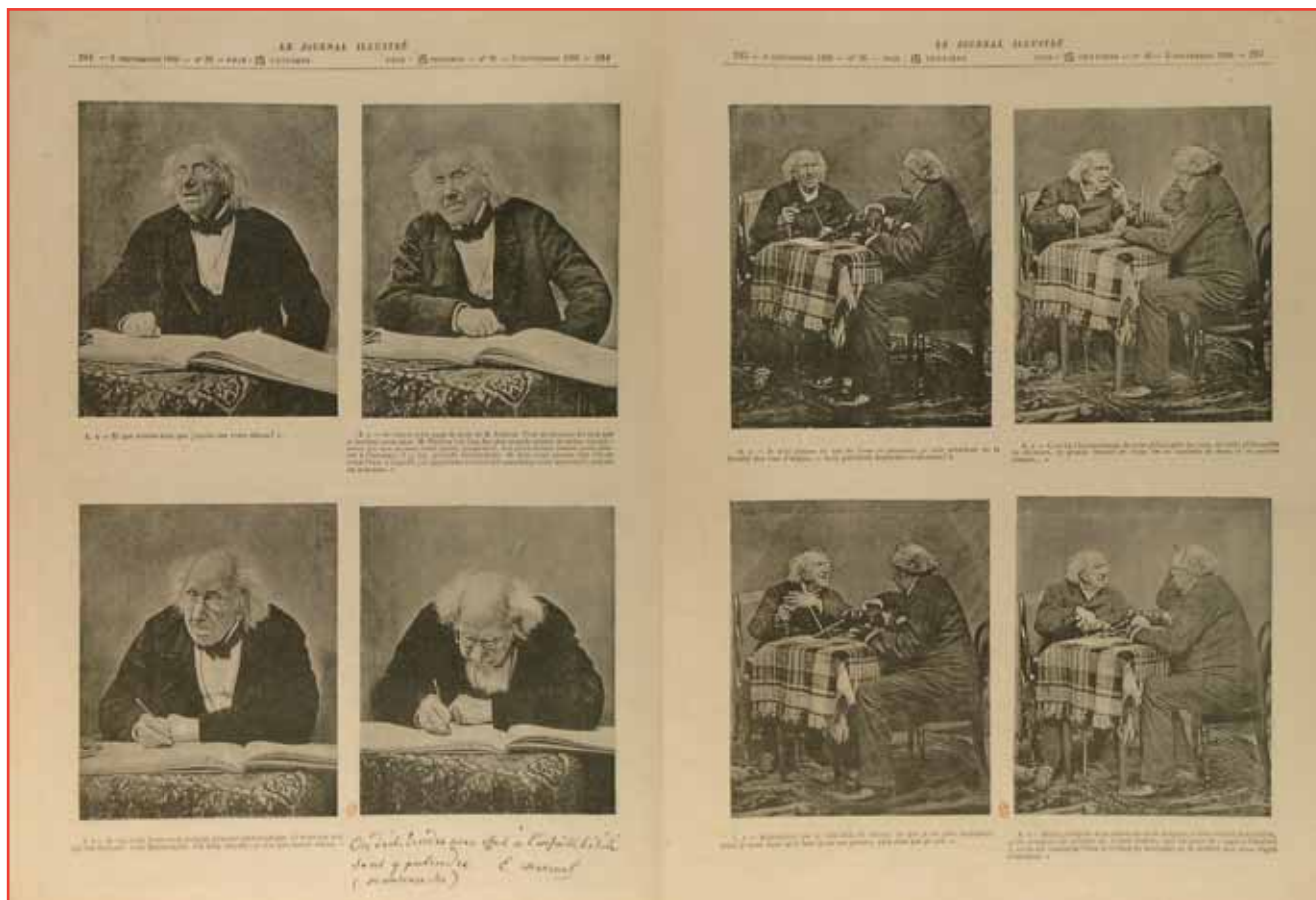
Dans cette lettre de trois pages, d'une écriture rapide peu soignée, Chevreul (51 ans) se plaît à prévoir que son hérité il le gardera en bonne santé ; il se décrit comme un fils affectueux et un homme débordé, que la perte d'un document et, par suite, de temps pour en reconstituer la teneur, rend anxieux.

Témoignage inédit de Ferdinand Fouqué

Le 27 août 1973, Jean Orcel (1896-1978), professeur de minéralogie au Muséum, faisait don à l'Académie des sciences de deux cahiers manuscrits du géologue Ferdinand Fouqué (1828-1904) dans lesquels celui-ci « relate en un style plein de vie et de remarques spirituelles » ses visites de candidature et ses souvenirs académiques [9].

Le premier récit conforte, certes, le souvenir de Berthelot au sujet de la manie qu'avait Chevreul de monologuer longuement, mais, aussi, il atteste d'un grand désir de partager sans délai ses découvertes avec les personnes présentes (loi du contraste) et d'un vif intérêt prolongé pour les méthodes et les recherches des autres (préparations minéralogiques). D'autre part, ce récit appuie l'opinion de Sarton sur la hantise des centenaires qui avaient été soumis, dans leur jeunesse, à des impressions dramatiques. La plupart des faits rapportés sont connus par d'autres récits de Chevreul qui les répétait [10].

À la succession d'Achille Delesse (1817-1881), en concurrence avec le géologue Albert Gaudry (1827-1908), Fouqué décrit sa visite à Chevreul (95 ans) : « La première eut lieu à son laboratoire des Gobelins. C'était une après-midi, par une journée pluvieuse du mois d'avril (1881). Après avoir traversé une longue cour bordée de bâtiments en ruine, et ouvert une porte vitrée je pénètre dans une pièce humide encombrée d'ustensiles de chimie en désordre. Personne n'est présent. J'avisé un petit escalier tortueux et monte au premier étage. Là je trouve un jeune homme qui me fait traverser plusieurs grandes pièces et me conduit vers mon



Interview de Chevreul par Félix et Paul Nadar, *Le Journal illustré*, n° 36, 5 septembre 1886, p. 284-285.

vénérable électeur. Le désordre et l'encombrement ne sont pas moindres au premier étage qu'au rez de chaussée. Tout est recouvert d'une épaisse couche de poussière. C'est ainsi que devaient être les cuisines au bout de cent ans dans le palais de la Belle au bois dormant. Dans la dernière pièce, Mr Chevreul est assis devant une petite table auprès de la cheminée, les pieds appuyés sur un bout de planche. Quelques tisons brûlissent sur l'âtre. En m'entendant venir, il lève la tête. Je lui dis mon nom, le sujet de ma visite. Il m'attendait, son vote m'était acquis. Je veux le remercier et lui parler de mes travaux, mais pst, il était parti ; durant deux heures je n'ai plus qu'à l'écouter. Il me raconte sa vie, me décrit les trois églises, St Pierre, St Maclou (sic, pour Saint-Michel) et St Maurice qui avant la révolution étaient près de la maison de son père, à Angers. Pendant la terreur il n'y avait pas loin de là à la guillotine. Il a vu passer plus d'une fois le fatal chariot. Une fois même il s'est trouvé au premier rang devant l'instrument du supplice. Un individu d'Angers, que connaissait sa famille, était avec un peloton de soldats de Maine et Loire chargé de garder l'échafaud ; cet homme le plaça devant lui en disant : il faut que ce petit bougre s'habitue à la vue du sang.

M. Chevreul me parle ensuite de ses études. Dans le laboratoire d'Haüy. Il paraît que l'illustre minéralogiste avait parfois de singulières faiblesses. Il avait chargé son jeune élève de déterminer la composition de la pyrite blanche ou plutôt de prouver que ce n'était qu'une variété de mispickel. M. Chevreul effectue l'analyse du minéral, constate qu'il ne renferme pas d'arsenic et fait part de ce résultat à son maître. Haüy, dont les prévisions minéralogiques se trouvaient ainsi déconcertées, reçoit la communication avec mauvaise humeur et dit que l'expérience doit avoir été mal faite ; ce qui

ne l'empêcha pas, quelques mois plus tard, de publier la découverte de son élève en se l'attribuant (note de l'auteur : Chevreul, élève de Vauquelin, faisait fonction d'aide-naturaliste, chargé à ce titre d'analyses pour d'autres professeurs).

Un des sujets dont Mr Chevreul parle le plus volontiers est l'histoire de la découverte du contraste des couleurs. C'était, dit-il, pendant une séance de l'Académie, l'abbé Mongez (abbé défroqué et marié, membre de l'Ac. des Inscr.*) faisait une communication très fastidieuse sur l'emploi du vinaigre par Annibal pour dissoudre les roches des Alpes ; tout d'un coup la loi du contraste des couleurs se présenta à mon esprit. Immédiatement j'en fais part à Ampère qui était assis près de moi et j'ai la satisfaction de voir comme il était enchanté de mon idée. Pendant tout le reste de la séance notre conversation roule sur l'utilité que les artistes pourraient tirer de ma trouvaille. J'étais encore tout entier à la joie qu'elle me donnait, lorsqu'en sortant dans la cour de l'Institut, je rencontre le peintre Hersent, mon confrère à l'Académie. Aussitôt je l'arrête et lui fais part de ma découverte. Il m'écoute avec attention, mais demande une démonstration expérimentale. Je la lui promets ; nous prenons rendez-vous à mon laboratoire pour un jour et une heure déterminés, puis nous nous quittons. Cependant, quelques pas plus loin, je songe que les artistes sont souvent infidèles aux rendez-vous qui leur sont donnés, c'est pourquoi j'inscris sur mon calepin la date de ma rencontre avec Hersent. Il est mort vingt ans après sans être venu au rendez-vous donné.

Mr Chevreul avait eu à se plaindre, à ce qu'il paraît, de Mr Gaudry dans les affaires d'administration du Museum. Cette circonstance pouvait bien contribuer un peu à l'intérêt qu'il portait à ma candidature ; cependant je dois dire qu'il

parut vivement impressionné par la vue de mes préparations microscopiques. Je dus lui consacrer plusieurs matinées de dimanche. C'était vraiment merveilleux de voir ce vieillard de quatre vingt quinze ans se passionnant pour ces recherches délicates. Quand je voulais clore la séance, il me retenait par le bouton de mon habit et réclamait encore un quart d'heure d'étude. »

Le second récit retenu ici se situe dans la section de minéralogie à la succession du chimiste Henri Sainte-Claire Deville (1818-1881), décédé le 1^{er} juillet 1881. Gaudry fut élu le 16 janvier 1882 au cours d'une séance « très émouvante ; c'était une vraie scène de comédie [...]. Le plus comique des membres de l'Institut était M. Chevreul. Furieux du résultat de l'élection, il flanquait des coups de pied aux fauteuils de l'Institut ; il a dû certainement en démolir quelques-uns. Son front s'était ridé et ses mèches de cheveux blancs semblaient avoir subi le souffle de la tempête. Je le savais mal disposé pour M. Gaudry, dont il appelait les œuvres des gaudrioles, mais je ne le croyais pas capable d'emportements aussi juvéniles. »

On ne peut donc pas souscrire à l'idée que la longévité de Chevreul serait due, outre à des facteurs génétiques, à sa placidité.

Notes et références

* Académie des inscriptions et belles-lettres.

- [1] Halay T., *Histoire des centenaires et de la longévité*, L'Harmattan, 2007.
 [2] L'art de vivre cent ans. Trois entretiens avec Monsieur Chevreul, *Le Journal illustré*, 23^e année, 5 sept. 1886, n° 36, p. 284-288 ; Kerouanton J.-L., L'art de vivre cent ans : Chevreul interviewé par Nadar, 303 *La Revue des Pays de la Loire*, 4^e trimestre 1986, p. 28 ; Reynes G.,

Chevreul interviewé par Nadar, premier document audiovisuel (1886), *Gazette des Beaux-Arts*, nov. 1986, VI^e période, t. XCVIII, 123^e année, p. 155.

- [3] Sarton G., Hoefler and Chevreul (with an excursus on creative centenarians), *Bulletin of the History of Medicine*, 1940, 8, p. 419.
 [4] Berthelot M., Notice historique sur la vie et les travaux de M. Chevreul, *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1904, XLVII.
 [5] Fournier J., Des interventions du chimiste M.-E. Chevreul (1786-1889) dans plusieurs questions d'hygiène publique, *Revue d'histoire de la pharmacie*, 2010, LVIII(368), p. 393.
 [6] Fournier J., Histoire des radicaux : contribution d'Auguste Cahours (1813-1891), *Revue d'histoire de la pharmacie*, 2006, 94(352), p. 453.
 [7] Chevreul E., *Journal des Savants*, 1860, p. 625-645 et 677-698 ; Jacques J., Chevreul et Berthelot, in *Michel-Eugène Chevreul : Un savant, des couleurs!*, G. Roque, B. Bodo, F. Viénot (coord.), Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 1997, p. 61-64.
 [8] Archives départementales de Maine et Loire, 4 D 16. Henri est son fils, Sophie son épouse.
 [9] Archives de l'Académie des sciences, carton Fouqué n° 192.
 [10] Chevreul M.E., *De la loi du contraste simultané des couleurs, et de l'assortiment des objets colorés, considéré d'après cette loi [...]*, Pitois-Levrault, Paris, 1839 ; Antier M., Sur quelques aspects méconnus ou inconnus de la vie de Chevreul (1786-1889), *C. R. Acad. Sci.*, 1997, séries IIB, 324(6), p. 405.



Josette Fournier*

est professeure retraitée hors classe des universités.

* 21 parc Germalain, F-49080 Bouchemaine.
 Courriel : josette.fournier4@orange.fr

Internships Engineers

THE CORPORATE RESEARCH CENTER OF LHOIST, one of the leaders in the production of lime and dolomite for the industry, based in Nivelles (Belgium), is made up of approximately 42 people, structured primarily by industrial application, each type of application, typically representative of an industry served by the group. R&D Engineers work in close interaction with their equivalent in Product Development. The Corporate Research Center includes a Laboratory / Technical Assistance team and a Documentation, Patents & Licensing team, both providing support across all applications / industries. In addition, the Nivelles center interacts closely with smaller research units, one based in Germany, the others in the US and Brazil.

Over the last few years a series of improvement initiatives have been defined and implemented in order to evolve towards a more modern, innovative and entrepreneurial R&D organization.

We are looking at offering internship opportunities to scientific students especially coming from abroad so as to enhance multicultural exchanges.

Interested? All cvs should be addressed to
 marie-france.weichselbaum@lhoist.com
 You will find more information on the
 group on www.lhoist.com



Les jeunes, la culture scientifique et les médias

Séverine Bléneau-Serdel



Le chimiste vu par Elena, 14 ans, élève en 3^e.

Les médias savent-ils parler de sciences aux jeunes, et d'ailleurs pourquoi faudrait-il parler de sciences aux jeunes ? C'est autour de ces questions que le 1^{er} février dernier, un public très diversifié, composé notamment de journalistes, communicants, enseignants et chercheurs de tous âges, était réuni pour la troisième édition de « Sciences et Médias » à la préfecture de Paris et d'Ile-de-France, édition retransmise en direct sur Internet et commentée par de nombreux tweets. Le sujet de cette troisième rencontre – organisée par six sociétés savantes⁽¹⁾ dont la Société Chimique de France, sous le parrainage de Cédric Villani, médaille Fields 2010 – : « Comment parler de sciences aux jeunes », plus précisément : « Quels outils médiatiques pour parler de sciences aux enfants et aux adolescents ? ». Plusieurs acteurs de différents médias sont venus témoigner de leurs expériences. Le programme détaillé de cette journée riche d'enseignements, lieu d'échanges privilégié entre les communautés impliquées dans la communication scientifique, et les vidéos des interventions sont disponibles sur le site de Sciences et Médias⁽²⁾.

Partout en Europe, le constat est le même depuis des années : les études scientifiques n'ont pas la cote auprès des jeunes générations et la science n'intéresse pas, voire engendre de la méfiance de la part du grand public (seul ce qui touche l'espace semble échapper à la règle, comme par exemple l'annonce le 11 février dernier par des physiciens américains de la découverte des ondes gravitationnelles largement relayée par les médias). En effet, alors que les sciences et la technologie évoluent rapidement et occupent une place de plus en plus importante dans notre vie, le grand public – et notamment le jeune public – semble au contraire s'en désintéresser. C'est un constat familier dans la communauté des chimistes notamment.

Il est pourtant essentiel d'initier les jeunes aux sciences, y compris à la démarche scientifique, afin qu'ils aient en main les atouts pour comprendre les enjeux de la recherche et des innovations et qu'ils puissent participer plus tard au débat public en tant que jeunes citoyens. D'autre part, les médias permettent de donner le goût aux sciences et de susciter des vocations. Face à ces défis, leur rôle est important.

L'information scientifique diffusée par les médias complète la formation reçue durant le cursus scolaire, et permet d'aborder les sciences différemment. Elle est également utile aux professeurs des écoles notamment, auxquels il est demandé d'éveiller leurs élèves aux sciences et aux problèmes environnementaux et qui peuvent s'appuyer sur les différents médias pour actualiser leurs connaissances. C'est ainsi que j'ai pu observer par exemple l'année dernière deux classes de CP – dont les maîtresses travaillaient avec la Maison de l'environnement voisine – aborder le problème des énergies fossiles et les énergies renouvelables avec beaucoup d'intérêt et d'enthousiasme. Ils ont tour à tour observé, écouté, manipulé, discuté pour comprendre et on sentait que ces élèves de six à sept ans étaient concernés par la question. Idem autour du recyclage des déchets, avec des applications concrètes comme le tri des bouchons en plastique dont on leur a montré que la poudre qui en était issue servirait à fabriquer de nouveaux objets (cette fois, c'est toute l'école qui était impliquée dans le projet). De véritables citoyens de demain qui avaient compris l'intérêt des démarches présentées, l'importance de l'impact de leurs actions... et qui étaient prêts à faire la leçon à leurs parents et à leurs grands-parents !

« La science, c'est réservé aux hommes »

Malgré tout, lorsque l'on pose la question aux plus jeunes et aux adolescents de l'image qu'ils se font du scientifique, certains stéréotypes reviennent très fréquemment, comme celui d'« un homme un peu fou, solitaire, vieux et moche »... Vous ne vous êtes pas vraiment reconnus, non ? Et les métiers scientifiques seraient donc réservés aux hommes... ?

C'est bien le constat qu'a exposé la sociologue Clémence Perronnet : lorsqu'on associe enfance et sciences, de grandes questions reviennent régulièrement, et en particulier celle des inégalités d'orientation qui se maintiennent. On en parle de plus en plus, mais on voit que ça ne bouge pas dans la plupart des professions. En effet, les jeunes filles sont tout aussi performantes que les garçons tout au long de leur formation scientifique, mais paradoxalement, il y a des métiers scientifiques qui semblent leur échapper. En vingt ans, la part des filles dans certaines filières n'a que faiblement progressé, et même reculé dans certains cas (par exemple en informatique). Notre système apparaît parmi les moins efficaces en matière d'égalité sociale sur ce point ; des stéréotypes sont ancrés dès la petite enfance.

Pour illustrer son propos, Clémence Perronnet a examiné des exemples concrets parmi tout ce qui est proposé aux jeunes en matière de culture scientifique : livres, revues, audiovisuel, musées et expositions, pratique amateur, clubs et associations,

jeux et jouets, colonies à thèmes... Sur les couvertures des encyclopédies scientifiques destinées aux jeunes, on trouve peu de femmes, et souvent il y a des « rôles stéréotypés » en fonction du sexe. Même constat suite à l'examen de 72 couvertures du magazine de vulgarisation scientifique *Sciences et Vie Junior* parues entre 2012 et 2015 : parmi ces couvertures, elle en a dénombré 27 représentant des hommes/garçons, trois mixtes, mais seulement deux avec des « femmes » (en fait une statue et une femme robot créée par un homme...). Dans les expositions scientifiques, l'histoire des sciences est très souvent présentée sans femmes, alors qu'il y a de nombreuses figures « fortes » comme la biologiste moléculaire britannique Rosalind Franklin qui a participé de manière déterminante à la découverte de la structure de l'ADN, régulièrement citée comme la « Marie Curie anglaise ». Parmi le « top ten » des prix Nobel les plus populaires, on retrouve bien sûr Marie Curie, mais elle reste une exception. Clémence Perronnet s'est également penchée sur l'émission scientifique de référence *C'est pas sorcier* : entre 2012 et 2013, 70 % des scientifiques interrogés étaient des hommes. Enfin, dans les dessins animés, les scientifiques sont souvent des hommes, seuls et fous, voire dangereusement fous et mégalomanes...

Parallèlement, elle a suivi pendant trois ans, de 2013 à 2016, un groupe de 32 élèves de quartiers populaires du CM1 à la 6^e. Premier constat : ils étaient tous très intéressés par les sciences ! Si peu lisait, beaucoup étaient fans des émissions *C'est pas sorcier*, *On n'est pas que des cobayes*... Deuxième constat : dans les discussions, l'égalité filles/garçons était une évidence pour tous, mais dans la pratique, lorsqu'il s'agissait par exemple de répartir les rôles pour faire un petit film, ils se mettaient tous d'accord rapidement pour que le garçon joue le vétérinaire et la fille... la secrétaire du vétérinaire. Ils étaient aussi d'accord qu'ingénieur, créateur de jeux vidéo, astronaute... sont des métiers « masculins » ; chercher, construire, créer, inventer, « c'est réservé aux hommes ». Ce sont d'ailleurs les filles qui semblaient le plus convaincues de cela.



Le jeu de cartes « Femmes de science », projet rendu possible grâce à un financement collaboratif, propose de former des « labos » avec 44 femmes de sciences remarquables et souvent méconnues. Il peut être commandé ou imprimé gratuitement sur : <https://www.luana-games.com/fr/wp-content/uploads/2015/08/Women-In-Science-DIY-kit-FR.1.01.pdf>

Les stéréotypes d'une science « genrée » sont donc là très tôt et perdurent, le décrochage a lieu après envers les « sciences dures ». La représentation genrée est très certainement une des causes de la désaffection et du peu d'intérêt des jeunes femmes pour les sciences. La lutte contre ce stéréotype est donc une priorité, mais *in fine*, elle doit élargir l'accès pour tous. Il faut fixer de nouveaux standards. Des émissions télévisées comme la série médicale américaine *Grey's Anatomy* donnent une représentation très diversifiée des scientifiques et permettent une multiplication des identifications. D'autres modèles peuvent être explorés, tel le jeu de cartes « Femmes de science » qui permet de se familiariser avec 44 femmes de science remarquables et souvent méconnues en s'amusant.

Quels outils pour parler de sciences aux jeunes ?

Les interventions suivantes ont permis d'aborder différents outils médiatiques qui peuvent permettre de faire connaître les sciences aux jeunes, que ce soit par des médias largement diffusés – le magazine *Sciences et Vie Junior*, les ouvrages jeunesse de la collection Le Pommier, l'émission *On n'est pas que des cobayes*, le site *l'Esprit Sorcier* –, ou par des expériences plus ponctuelles et locales, où les acteurs sont en contact direct avec les enfants et les adolescents *via* des ateliers, la création d'un journal avec des lycéens...

Les sciences par la lecture

Sciences et Vie Junior est quasiment le seul journal scientifique généraliste s'adressant à des adolescents en Europe. La formule suivie : travailler autant le texte que l'image (50/50 en termes de ressources) et trouver des contenus en lien avec l'actualité mais sans « catastrophisme », en proposant des solutions et pas seulement des constats, et avec un équilibre des matières. Jean Lopez, son rédacteur en chef, a souligné que dans le contexte de perte de vitesse de l'ensemble de la presse écrite, ce journal lancé en 1989 continue de bien fonctionner : avec 155 000 abonnés, 25 000 ventes en kiosque pour chaque numéro et des hors-série très suivis tous les deux mois, il continue à



Suite à la lettre d'une petite fan de 7 ans qui se demandait pourquoi chez Lego®, « Tout ce que les filles font, c'est de rester assises à la maison, aller à la plage ou au supermarché. Elles n'ont pas de travail, alors que les garçons ont des aventures, des emplois, sauvent des gens et nagent même avec les requins », la firme a promis de féminiser et moderniser ses figurines et a sorti en septembre 2014 un « Institut de recherche » mettant à l'honneur les femmes scientifiques (vendue une quinzaine d'euros, la boîte a rapidement été en rupture de stock).



Deux des titres proposés dans le catalogue des éditions du Pommier⁽³⁾ qui mettent en avant la chimie.

progression, douce mais régulière. Une partie de la jeunesse lit donc volontiers de la science, même si beaucoup semblent s'arrêter à 17 ans ! Seulement, selon les études réalisées par le journal sur ses abonnés, la composition du lectorat reste fixe depuis sa création : deux tiers de garçons, dont 80 % issus d'une catégorie sociale plutôt favorisée. Cette prédominance masculine est encore plus marquée dans le concours « Innovez » destiné aux jeunes inventeurs lancé par le magazine : 90 % des dossiers sont déposés par des garçons. Cela rejoint l'analyse présentée auparavant par Clémence Perronnet (son message concernant le manque de représentation féminine sur les couvertures de la revue semble avoir été entendu, à suivre donc...). Pourtant, Jean Lopez a souvent constaté que « ce sont les mamans qui ont une fonction de prescriptrice très forte pour ce média et qui veillent aussi à son contenu. »

Les éditions du Pommier, qui existent depuis 17 ans, proposent des livres de vulgarisation scientifique écrits par des scientifiques. Pour Marie-Agathe Le Guet, une des éditrices de la section jeunesse, la devise, qui vaut pour petits et grands, est de « donner aux lecteurs les moyens pour qu'ils se forment leur propre opinion et développent leur esprit critique, et alimenter leur curiosité. » Plusieurs collections ont été développées suivant les tranches d'âges, à partir de quatre ans, en trouvant l'angle d'attaque qui correspond à chaque tranche. Par exemple, les ouvrages « Les minipommes » sont réalisés avec des classes de CM1 à partir des questions des élèves sur des sujets précis. Cette démarche pédagogique originale que l'on peut qualifier de « science participative » regroupe plus de cinquante titres illustrés avec humour, dont *Tout est chimie* !⁽³⁾. Une autre collection « Sur les épaules des savants » montre que la science avance étape par étape, qu'il reste encore beaucoup de choses à découvrir... et que l'on aura donc besoin de nouveaux chercheurs pour prendre la relève. Avec « Romans & plus junior », le jeune lecteur, plongé au cœur d'une histoire, apprend « sans s'en rendre compte ». De tous les titres jeunesse disponibles, le plus gros succès a été *Les maths qui tuent...* difficile de s'en inspirer du côté des chimistes.

Rappelons ici la naissance récente de « **Chimie et... junior** » coéditée par la Fondation de la Maison de la Chimie et EDP Sciences. Cette déclinaison de la collection « Chimie et... » destinée à un public niveau collège pour comprendre la chimie dans la vie quotidienne et les métiers qui en découlent, compte maintenant deux ouvrages : *La chimie dans le sport* (nov. 2014) et *La chimie dans les TIC* (oct. 2015).

Les sciences tiennent une place importante dans de nombreux romans de science-fiction destinés aux jeunes, à commencer par ceux de Jules Verne ou d'Isaac Asimov, basés sur les solides connaissances scientifiques des auteurs (Asimov était docteur en biochimie). Mais ce genre de littérature souffre de ses formes populaires ou commerciales et ne se retrouve pas à l'école. Or selon l'enseignant Daniel Tron, insérer les sciences dans une histoire est un bon moyen de les rendre attractives, motivantes, et de créer des « héros scientifiques » dans lesquels les jeunes peuvent se projeter. Il y a tous les ingrédients de l'aventure dans la science.

Les sciences par l'audiovisuel

Les sciences n'ont que peu de place dans les chaînes de télévisions françaises, même si on y trouve des émissions de très haut niveau. L'émission de référence en matière de culture scientifique pour les jeunes est sans aucun doute *C'est pas sorcier*, qui a été diffusée sur France 3 depuis 1993 – année où les chaînes publiques avaient l'obligation légale de proposer des émissions scientifiques – jusqu'à sa déprogrammation en février 2014. Elle expliquait les choses, enquêtait sur le terrain et démontrait les mécanismes grâce à des maquettes. Ses vidéos sont certainement parmi les plus diffusées dans les écoles et rares sont les élèves qui ne connaissent pas ses animateurs, Fred, Jamy, Sabine et la « petite voix » qui ont fait découvrir les sciences à toute une génération et ont suscité des vocations, comme en témoignaient les commentaires dans le public. Fred Courant, cofondateur de *C'est pas sorcier*, a voulu poursuivre cette expérience commencée à la télévision en créant l'émission **L'Esprit sorcier** qui est diffusée sur Internet depuis fin septembre 2015⁽⁴⁾. À un rythme qui devrait devenir hebdomadaire, on y trouve un nouveau dossier pédagogique qui « démonte la mécanique » sur le modèle de l'émission télévisée. Ce dossier est prolongé par des émissions débats, sortes de cafés des sciences. Le site fourmille également de nombreuses ressources, dont un « Zap'In Sciences » ou encore une rubrique « Encyclopé-DIY » (en partenariat avec l'association *Les Petits Débrouillards*) qui regroupe des vidéos expliquant des expériences pouvant être réalisées facilement, par exemple capturer une bulle de savon. Fred Courant avait envie « de continuer à s'amuser et à prendre du plaisir à en donner au public. » Mais pour lui, éveiller les jeunes à la curiosité pour les sciences et transmettre le savoir devrait faire partie des missions du service public ; la connaissance devrait être accessible à tous et c'est pour cela que l'accès à ce nouveau site est volontairement gratuit et que l'on n'y trouve pas de publicité. L'association qui s'occupe du site a bénéficié d'un financement collaboratif et de subventions (notamment de la Région Ile-de-France) pour pouvoir se lancer. L'équipe a de nombreuses idées, mais étant donné les contraintes financières, il faut trouver « les priorités ». Répondant à un intervenant dans la salle qui lui demandait comment les sociétés savantes pourraient s'impliquer, Fred Courant a répondu qu'il serait ravi que celles-ci participent et rejoignent l'aventure.

Parmi l'offre actuelle, l'émission familiale **On n'est pas que des cobayes**, apparue sur les écrans de France 5 il y a cinq ans, a très vite su plaire aux jeunes par son approche ludique, décomplexée, faite de défis. Emmanuelle Sudre, rédactrice en chef de l'émission, précise que cette approche ludique prend appui sur une approche très rigoureuse. Ici, la place principale est occupée par l'expérimentation, la démarche de construction : « L'expérience, c'est central ; on montre aussi les erreurs, c'est important. Ça marche ou ça ne marche pas, on essaie de comprendre pourquoi. » C'est le côté défi et « aventure » qui semble séduire avant tout les jeunes ; l'émission ne répond pas aux « pourquoi ? » mais aux « peut-on ? ». Elle montre que la science est partout et que tout est sujet à expérience. Pour Emmanuelle Sudre, l'émission doit beaucoup au fait que face à ces expériences, l'émotion de

l'équipe n'est pas feinte, l'enthousiasme est perceptible sur le tournage, et que quasi tous les scientifiques rencontrés sont généreux de leur savoir et enthousiastes. Cela leur permet d'avoir accès à des équipements hors de portée du grand public comme l'un des plus gros électroaimant au monde, à Grenoble, pour... retrouver une aiguille dans une botte de foin. Entre 30 et 35 émissions sont produites par an, nécessitant chacune six à sept semaines de préparation. L'audience moyenne est de 500 000, mais les sites de vidéos en ligne (YouTube, Dailymotion) offrent une deuxième vie à ces émissions.

Signalons aussi la série animée diffusée par Arte depuis janvier et adaptée de la BD signée Marion Montaigne **Tu mourras moins bête**. En trois minutes, le professeur Moustache et son assistant Nathanaël démystifient la science au quotidien en répondant avec humour aux questions scientifiques que de faux lecteurs envoient par carte postale : à quand le sabre laser ?, peut-on greffer une tête sur un corps ?, pourquoi un ado est-il mou ?... Le ton est drôle mais les réponses très sérieuses !

Les sciences « par le contact »

Plusieurs intervenants nous ont présenté un échantillon du foisonnement d'initiatives émanant d'acteurs très divers, souvent du milieu associatif, qui font découvrir les sciences aux jeunes hors du milieu scolaire, comme l'atelier BD/Sciences pour des adolescents amoureux de la BD et curieux de sciences conçu et animé par le collectif **Stimuli**⁽⁵⁾ qui regroupe des scientifiques, des artistes, des médiateurs et des didacticiens. La médiation scientifique y passe à travers le récit.

À l'occasion des Fêtes de la science, de salons, de conférences dans les établissements scolaires, de stages, de manifestations organisées par les municipalités⁽⁶⁾, etc., des chercheurs viennent à la rencontre des jeunes pour leur « montrer la science différemment ». Les objectifs sont divers et liés à la fois : avant tout faire partager sa passion, parler de son parcours, transmettre l'idée que la science est pertinente pour comprendre le monde, éduquer le raisonnement, surmonter les stéréotypes (exclusion sociale, question

de genre)... Pour ces scientifiques qui vont à la rencontre des jeunes, la « récompense » est de voir l'appétit de science naître dans le regard brillant des enfants.

Et pour la chimie ?

Les actions sont nombreuses. Pour les plus grands, on peut citer par exemple les **Olympiades de la chimie**⁽⁷⁾, concours scientifique ouvert aux lycéens qui en est à sa 32^e édition cette année et qui est accompagné depuis quelques années d'un concours de communication, « **Parlons Chimie** », confiant la communication de la chimie à des lycéens⁽⁸⁾, ou encore le « **Chemical World Tour** »⁽⁹⁾, concours dans lequel des binômes d'étudiants – l'un en chimie et l'autre en journalisme – partent réaliser des reportages dans des industries chimiques pour faire découvrir les innovations. D'autres événements, comme le **Village de la Chimie**⁽¹⁰⁾, permettent aux jeunes de découvrir les métiers, les formations et les professionnels de la chimie.

Un autre rendez-vous annuel, organisé depuis 2008 par le comité national de Chimie & Société avec une forte implication



Exposition « De la cave aux arômes », Rencontres Chimie & Terroir, Beaune 2011.
© Chimie et société.



Atelier d'apprentissage de la science avec l'art en milieu scolaire.
Avec l'aimable autorisation d'Olivier Leogane.



Fabrication d'un shampoing, atelier proposé par des « mamans chimistes » membres de la SCF au sein d'une classe de CM1.
© S. Bléneau-Serdel.

Rencontre avec une professeure de physique-chimie



Mme Prinsaud enseigne la physique-chimie au collège Pasteur à Villejuif (94) depuis maintenant sept ans. Elle décrit ce collège de la banlieue sud de Paris comme très ouvert, les professeurs y sont très dynamiques, de nombreux projets et sorties sont mis en place. En ce qui concerne les élèves, « c'est à peu près comme dans tous les collèges, il y a des bonnes classes et des moins bonnes, mais si cela fait sept ans que je suis là, c'est que je suis assez contente » nous dit-elle.

Lorsque vous aviez 14 ans, quel était votre avis sur la chimie ?

Je n'avais pas vraiment d'avis ; c'est vrai qu'au collège, ce n'est pas encore très pointu. Tout ce que je sais, c'est que j'aimais bien la physique-chimie, surtout grâce à ma professeure que j'appréciais, mais à cet âge-là, je n'avais aucune idée de ce que je voulais faire plus tard.

Quel a été le « déclic » qui vous a amené à poursuivre des études dans cette voie ?

J'ai d'abord voulu continuer des études de sciences, et après le bac, j'hésitais beaucoup entre la SVT et la physique-chimie, parce que j'aimais les deux. J'ai même tendance à dire que je préférerais la SVT, mais je me suis dit qu'en physique-chimie, ce serait peut-être plus facile de réussir parce qu'il y avait moins de choses à apprendre par cœur, même si j'aime toujours la SVT. Il y avait aussi ce petit côté « difficile » en physique-chimie : je ne comprenais pas tout et j'étais surtout curieuse de savoir comment ça marchait. Quand les professeurs me répondaient « Ça marche comme ça, tu comprendras plus tard », ça m'intriguait et c'est ce qui m'a poussée à faire des études de physique-chimie. C'est vrai qu'à l'entrée en faculté, il n'y avait pas directement une option chimie, c'était l'option sciences physiques, soit des mathématiques, des sciences naturelles et de la physique-chimie.

Vous êtes plutôt chimiste ou physicienne ?

Chimiste, clairement ; la physique, c'est très vaste et il y a plein de domaines dans lesquels je ne suis pas du tout à l'aise, alors qu'en chimie oui. C'est aussi plus proche de la SVT au final.

Pensez-vous que les élèves voient la chimie au même titre que le français, les mathématiques ou même la SVT ?

J'espère que pour eux c'est plus « facile » que les mathématiques, parce que déjà, il y a le côté expériences. C'est vrai qu'au collège, on n'en fait pas beaucoup, mais au lycée il y en aura plus. Je pense que les élèves voient ça comme la SVT, peut-être un peu plus compliqué car il y a parfois des calculs...

Pensez-vous que les élèves voient ce que la chimie leur apporte dans la vie de tous les jours ? Par exemple en voyant un surligneur ou un ballon de football, ont-ils idée que c'est un procédé chimique qui a permis son élaboration ?

À mon avis pas du tout, surtout au collège. On ne voit pas le lien entre un habit de tous les jours et la notion de sciences qu'il y a

derrière. C'est ce que l'on essaye justement de faire en leur donnant des exemples concrets. Quand on est professeur de physique-chimie au collège, on essaye d'apporter le plus d'exemples possibles pour leur prouver que finalement, même sans le savoir, ils font de la physique ou de la chimie un peu tous les jours.

Pensez-vous que l'on parle assez bien de la physique-chimie dans les médias ?

Je n'en sais rien, même si en ce moment c'est plutôt physique vu qu'il y a plein de découvertes par rapport à l'espace. Ça fait plus rêver les gens à mon avis. La chimie, les gens l'associent à des choses négatives, quand on parle de nourriture, on dit souvent que ça a « un petit goût chimique ». Je pense qu'ils ont un a priori lié aussi à la pollution. Je ne pense pas que ce soit forcément positif pour eux l'industrie de la chimie, mais en dehors de ça, je ne pense pas qu'ils ont une idée concrète de ce que fait un chimiste tous les jours.

Quand des élèves pensent au « chimiste », vous pensez qu'ils l'imaginent comment ?

Ils ont toujours ce cliché de la personne en blouse blanche dans son laboratoire qui fait des explosions et de la fumée. C'est d'ailleurs ce que me disent souvent les élèves : « Quand est-ce que l'on fait des explosions madame ? » Donc ils sont déçus...

En continuant sur les médias, est-ce que vous conseillez aux élèves des émissions de sciences ?

Moi, c'est le grand classique *On n'est pas que des cobayes* que je passe tout le temps aux élèves ; c'est pour moi le *C'est pas sorcier* moderne. Cela reste quand même un programme divertissant et très ludique que je conseille à mes élèves en tout cas.

Et au niveau de vos cours, qu'est-ce que ça apporte ?

Cela sort un peu de la classe ou du collège, c'est-à-dire que pour eux, les seules personnes qui leur parlent de physique-chimie, c'est leurs professeurs. Là, ils se rendent compte qu'il y a des gens qui passent à la télévision et qui essayent de rendre ça plus divertissant. Ça « dédramatise » la notion de sciences et de physique-chimie. En dehors du cliché qui suppose que je passe ma vie à regarder ce genre d'émission, à mon avis, ça leur prouve que dans n'importe quel phénomène assez basique, il peut y avoir des notions de sciences.

Propos recueillis par **Elena Sider**, élève en 3^e au collège Pasteur, en stage d'observation à la Rédaction de *l'Actualité Chimique*.



de la Société Chimique de France, connaît un franc succès : « **Chimie & Terroir** »⁽¹¹⁾. Ces rencontres ont pour objectif de réunir scientifiques, jeunes, grand public, acteurs de l'artisanat et de l'industrie locale afin de susciter des échanges sur des thèmes régionaux où la chimie est illustrée. Deux journées y sont balisées pour la participation des scolaires, collégiens et

lycéens, puis le samedi est ouvert à tout public, et très souvent les enfants reviennent ce jour-là accompagnés de leur famille pour leur montrer les ateliers qu'ils ont découverts. Différentes activités sont proposées : des démonstrations et ateliers, des conférences grand public sur des sujets de société, des spectacles et des occasions de rencontres et d'échanges avec des

scientifiques qui ont à cœur de faire partager leur passion aux jeunes et au grand public (comme « Dîner avec un chimiste »). Une des particularités de cet événement est le choix volontaire de lieux où l'offre en matière de vulgarisation scientifique est peu présente, et ce public a semblé d'autant plus intéressé. Les prochaines rencontres auront lieu à Saint-Nazaire du 19 au 21 mai 2016.

Dans un article récent⁽¹²⁾, les membres du Réseau des Jeunes chimistes de la Société Chimique de France (RJ-SCF) ont mis en avant la participation des clubs de jeunes des différentes sections régionales à de tels événements où le public « (découvre) la chimie, (interagit) avec elle et (ouvre) les yeux sur un monde qui peut être fascinant », source d'une grande fierté pour les jeunes chercheurs impliqués, qui acquièrent aussi eux-mêmes de nouvelles compétences grâce à ces échanges. Faire découvrir le monde de la chimie aux jeunes est une des missions que s'est données la Société Chimique de France et qu'elle continue à mener via différentes actions, et elle motive nombre de ses membres passionnés, jeunes ou moins jeunes. À quand *L'Actualité Chimique Junior* ?

Notes

- (1) La journée a été organisée par la Société Chimique de France (SCF), la Société Française de Physique (SFP), la Société Française de Statistique (SFdS), la Société Informatique de France (SIF), la Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles (SMAI) et la Société Mathématique de France (SMF), avec le soutien du CNRS, du CEA, de l'INRIA et de la Préfecture de Paris et d'Ile-de-France.
- (2) www.sciencesetmedia.org
- (3) *Tout est chimie ! (Nouvelle édition)* de Catherine Rabbe et Christophe Jousot-Dubien, Collection Les minipommes, Le Pommier, 2014 (voir l'analyse : *L'Act. Chim.*, 2015, 395, p. 58). *De la Joconde aux tests ADN,*

jusqu'où ira la chimie ? de Stéphane Sarrade, Collection Les + grandes petites pommes du savoir, Le Pommier, 2015, est destiné au grand public et à conseiller aux lycéens (voir *L'Act. Chim.*, 2015, 397-398, p. 129).

- (4) www.lespritsorcier.org
- (5) www.stimuli-asso.com
- (6) Par exemple « Les sciences, des livres » : l'ASTS (Association Science Technologie Société, <http://asts.paris>), en partenariat avec le Conseil départemental du Val-de-Marne, organise des rencontres avec des auteurs scientifiques dans les bibliothèques du département et des goûters-sciences. La 5^e édition a eu lieu du 8 janvier au 13 février dernier, et à la médiathèque de Villejuif, les bibliothécaires étaient heureux de voir de plus en plus de public assister aux animations d'année en année.
- (7) www.olympiades-chimie.fr
- (8) <http://parlons-chimie.olympiades-chimie.fr>; voir aussi les articles présentant deux des sujets de l'édition 2015 : Sobooti Iran S., Uruthirasigamani M., Le Chaudron de la Chimie, un kaléidoscope entre sciences et arts : un duo de lycéens au concours « Parlons Chimie », *L'Act. Chim.*, 2016, 404, p. 44 ; et Maréchal F., La chimie d'aujourd'hui marque des points pour demain : un projet d'enseignement qui plonge les lycéens au cœur de la démarche scientifique, *L'Act. Chim.*, 2015, 399, p. 50.
- (9) www.chemicalworldtour.fr
- (10) www.villagedelachimie.org
- (11) www.maisondelachimie.asso.fr/chimiesociete; voir aussi l'article présentant le bilan des cinq premières rencontres : Ouali A., Les Rencontres Chimie & Terroir, une passerelle entre chimie et grand public, *L'Act. Chim.*, 2015, 396, p. 47.
- (12) Addamiano C., Chatel G., Pourquoi adhérer à la Société Chimique de France ?, *L'Act. Chim.*, 2015, 402, p. 6.



Séverine Bléneau-Serdel*
est rédactrice en chef adjointe de *L'Actualité Chimique*.

* Courriel : bleneau@lactualitechimique.org



Abonnez votre lycée à L'Actualité Chimique

Tarif 2016 spécial lycée
11 numéros par an (y compris les numéros spéciaux)

• Abonnement papier + électronique		140 €
France	Étranger	
120 €		
• Abonnement électronique seul		70 €
France/Étranger		

(pour les abonnements multiples, contactez le service Abonnements)

L'Actualité Chimique, le journal de la Société Chimique de France, vous informe sur le monde de la chimie française, particulièrement en ce qui concerne la recherche scientifique, académique et industrielle et l'enseignement. Elle traite aussi des interfaces avec la chimie, comme le médicament, les matériaux et le génie des procédés.

Par ses numéros réguliers et ses numéros thématiques, cette revue est un outil indispensable pour tous, scientifiques et étudiants, notamment dans le cadre de la préparation des TPE ou TIPE. Elle fournit également pour les enseignants une source irremplaçable d'articles scientifiques, d'informations et de réflexions sur la vie et l'évolution des sciences chimiques, qu'ils seront heureux de trouver pour construire leur enseignement.

L'Actualité Chimique

Abonnements et adhésions :
SCF, 250 rue Saint-Jacques, F-75005 Paris – Tél. : + 33 (0)1 40 46 71 66 – Fax : + 33 (0)1 40 46 71 61.
adhesion@societechimiquedefrance.fr – www.societechimiquedefrance.fr

Rédaction :
SCF, 28 rue Saint-Dominique, F-75007 Paris – Tél. : + 33 (0)1 40 46 71 64.
redaction@lactualitechimique.org – www.lactualitechimique.org

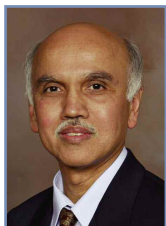


Société Chimique de France
Le réseau des chimistes



Prix et distinctions

Prix international Henri Moissan 2015



Le prix Henri Moissan récompense tous les trois ans un chercheur de stature internationale ayant œuvré dans les domaines du fluor et des produits fluorés. Ce prix a été

créé en 1986 à l'occasion du centenaire de l'isolement du fluor par Henri Moissan en 1886, découverte qui avait valu à son auteur le premier prix Nobel de chimie décerné à un Français. Depuis 2006, la Fondation de la Maison de la Chimie en assume la gestion, donnant ainsi une structure pérenne à cette récompense prestigieuse.

Lors du 21^e symposium international sur la chimie du fluor qui s'est tenu en août 2015 à Côme (Italie), le prix Moissan a été remis à **G.K. Surya Prakash**, professeur au Département de Chimie de l'Université de Californie du Sud (Los Angeles, E.-U.), titulaire de la chaire «George A. and Judith A. Olah Nobel laureate in hydrocarbon chemistry» à l'Institut Loker de Recherches sur les Hydrocarbures.

Les travaux de recherche de G.K. Surya Prakash couvrent de nombreux sujets dans des domaines très variés tels que fluorations sélectives, oxydations, matériaux énergétiques, réductions, réactions stéréosélectives, synthèse électrochimique, électrolytes de batteries au lithium-ion, électrochimie, chimie des polymères, réactions superacides catalysées, chimie des carbocations stables, application des calculs *ab initio*... Il est particulièrement connu pour ses travaux sur le trifluorométhyltriméthylsilane CF_3SiMe_3 (TMSCF3). Son premier article sur le sujet, co-écrit avec Georges Olah, traitait de la réactivité exceptionnelle du TMSCF3 sur des composés totalement organiques, en particulier les aldéhydes et cétones. Cette découverte a eu un impact considérable. Aujourd'hui connu sous le nom de « reagent Ruppert-Prakash », le TMSCF3 est la source de CF_3 la plus largement utilisée dans les réactions du trifluorométhylation. Il a développé de nombreux protocoles de fluoration basés sur les fluorures polyhydrogénés de pyridinium (liquides ioniques) comme agents de fluoration nucléophile à température ambiante.

Ses centres d'intérêt incluent également l'utilisation de superacides pour des réactions électrophiles et des

Produits chimiques : de nouvelles contre-vérités

On se souvient de l'émission de France 2 du 5 mars 2015 qui a été rapportée par *SCF Info*, un focus sur le site de la Société Chimique de France [1] et un article de *L'Actualité Chimique* [2] et les contre-vérités avérées l'ayant émaillée. Dans sa nouvelle émission, *Cash Investigation* diffusée le 2 février dernier, France 2 poursuit dans la même veine avec « Produits chimiques : nos enfants en danger ». Voici quelques mises au point parues depuis indiquant la poursuite de mauvaises pratiques :

- réactions de l'Union des Industries Chimiques : www.uic.fr/Actualites-et-publications/Actualites/Sante-securite-environnement/Cash-Investigation-reaction-de-l-UIC ;
- éclaircissements de l'Union des Industries de la Protection des Plantes : www.uipp.org/Actualites/CASH-INVESTIGATION-L-UIPP-APPORTE-DES-ECLAIRCISSEMENTS-SUR-UNE-EMISSION-ORIENTEE ;
- réponse de Bayer France : <https://www.bayer.fr/reaction-nos-enfants-en-danger> ;
- point de vue de l'Association Française pour l'Information Scientifique : www.pseudo-sciences.org/spip.php?article2589

À vous de juger et de le faire savoir !

[1] www.societechimiquedefrance.fr/1/breve/de-l-interpretation-de-faits.html

[2] Jacquesy R.A., Redlove® et SmartFresh™, ou « peut-on encore manger des pommes ? », *L'Act. Chim.*, 2015, 396, p. 53, www.lactualitechimique.org/Redlove-R-et-SmartFresh-TM-ou-peut-on-encore-manger-des-pommes

catalyseurs acides solides tels que le Nafion-H®.

Le professeur G.K. Surya Prakash a reçu des mains de Bernard Bigot, président de la Fondation de la Maison de la Chimie et président du Comité scientifique du prix Moissan, la médaille Moissan 2015, spécialement conçue pour cette occasion, lors du colloque organisé le 17 février 2016 à Paris par la Fondation.

• Source : Fondation de la Maison de la Chimie, 27/08/2015.

Le CNRS honoré en Guyane par la Fondation Air Liquide

Le CNRS a reçu en janvier dernier le Trophée pour la Recherche Scientifique de la Fondation Air Liquide pour un projet scientifique conduit en Guyane par **Émeline Houël**, ingénieure de recherche chimiste au sein du Laboratoire Écologie des forêts de Guyane (CNRS/Université des Antilles/CIRAD/AgroParisTech/INRA/Université de Guyane). Le projet récompensé, financé par le fonds européen de développement régional (FEDER), la Région Guyane et la Fondation Air Liquide, a été mené durant trois ans par des équipes du CNRS, de l'Institut Pasteur de la Guyane, des Universités de Guyane et des Antilles ainsi que de Guyane Développement Innovation (GDI), agence régionale de développement et d'innovation.

Centré sur l'exploration de la biodiversité guyanaise, le projet intitulé « **Insecticides** » avait pour objectif d'identifier des insecticides naturels en Amazonie pour lutter contre les moustiques et les termites. Les insecticides

utilisés aujourd'hui sont soit formulés à partir de molécules de synthèse, soit victimes du développement des résistances. Ils présentent des inconvénients en raison de leur usage massif et d'une nocivité parfois trop élevée. C'est pourquoi le CNRS a développé un projet visant à identifier des molécules naturelles, produites par les plantes qui ont développé au fil des années des défenses contre les insectes, capables de remplacer les molécules de synthèse et ayant potentiellement des modes d'action innovants.

Terminé pour sa partie recherche, le projet se poursuit actuellement dans une démarche de valorisation industrielle avec un dépôt de brevet. Par sa mise en œuvre en Guyane, ce projet aura également contribué à renforcer les filières locales de valorisation des bioressources végétales.

• Source : Air Liquide, 14/01/2016.

Prix Pierre Potier 2016

Appel à candidatures



La Fondation internationale de la Maison de la Chimie et l'UIC (Union des Industries Chimiques), sous la tutelle du ministre de

l'Économie, de l'Industrie et du Numérique, Emmanuel Macron, reconduisent la dixième édition du prix scientifique et technologique Pierre Potier pour « l'innovation en chimie en faveur du développement durable ».

Les candidatures sont ouvertes à toutes les entreprises (grands groupes, PME/PMI, start-up).

Le jury est composé de personnalités référentes du monde académique, du monde industriel et des autorités concernées. La 10^e édition sera présidée par Bernard Meunier, président de l'Académie des sciences. Armand Lattes, à l'initiative de la création du prix, en sera le président d'honneur. **Les dossiers de candidature sont à adresser avant le 31 mars 2016.**

• Pour en savoir plus : www.prixpierrepotier.fr

Prix Irène Joliot-Curie 2016

Appel à candidatures



Le ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et Airbus Group lancent la 15^e édition du prix Irène Joliot-Curie qui comporte trois catégories :

• La **catégorie « Femme scientifique de l'année »** récompense une femme ayant apporté une contribution remarquable dans le domaine de la recherche publique par l'ouverture de son sujet, l'importance de ses travaux et la reconnaissance dans son domaine scientifique tant au plan national qu'international – dotation : 40 000 euros.

• La **catégorie « Jeune Femme scientifique »** met en valeur et encourage une jeune femme qui se distingue par un parcours et des travaux qui en font une spécialiste de talent dans son domaine – dotation : 15 000 euros.

• La **catégorie « Femme, recherche et entreprise »** récompense une femme qui a développé des innovations scientifiques et/ou techniques dans une fonction de R & D en travaillant au sein d'une entreprise ou en contribuant à la création d'une entreprise – dotation : 15 000 euros.

Date de clôture des candidatures : 22 mars à minuit.

• Pour en savoir plus : www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid9827/prix-irene-joliot-curie-lancement-de-l-edition-2016.html

Recherche et développement

Les ciseaux moléculaires : la découverte du siècle ?

Par un processus proche de la vaccination, les bactéries peuvent constituer, dans leur génome, de véritables banques de données des attaques

virales qu'elles ont subies. Cette aptitude, appelée en anglais système CRISPR (« courtes répétitions palindromiques groupées et régulièrement inter espacées ») contient outre des gènes viraux, ceux d'endonucléases Cas9. Celles-ci ont la propriété, via de petits ARN complémentaires dits tracr, propres à l'enzyme, de couper un ADN viral en un point précis de sa séquence, permettant ainsi d'insérer un gène. Les applications de CRISPR/Cas9 sont multiples comme la création d'un modèle animal de maladie, la thérapie génique (bloquer l'infection par le virus du sida), l'abaissement du taux de cholestérol, le ciblage des gènes de résistance aux antibiotiques et la fabrication de nouveaux médicaments ultra sélectifs.

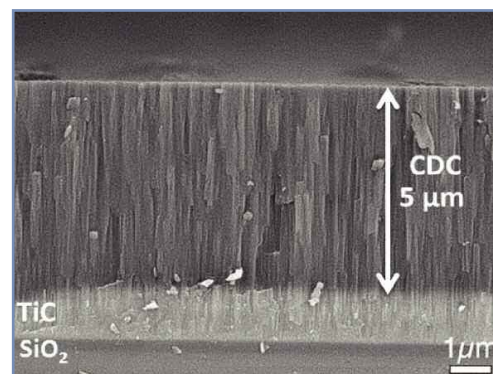
La technique de manipulation CRISPR et ses résultats ont été publiés le 28 juin 2012 dans la revue *Science* par l'américaine **Jennifer Doudna** (UC Berkeley) et la française **Emmanuelle Charpentier**, une microbiologiste formée à Pasteur qui travaillait alors à l'Université de Vienne, **lauréates 2016 du prix L'Oréal/Unesco pour les femmes et la science**. De nombreux laboratoires se sont emparés de cette découverte partout dans le monde.

• Pour en savoir plus : voir la conférence donnée par Emmanuelle Charpentier (Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung, Braunschweig Hannover Medical School, Allemagne) en février 2015 à l'Académie des sciences, www.academie-sciences.fr/fr/Colloques-conferences-et-debats/journee-arn-en-hommage-a-marianne-grunberg-manago.html

Pour en savoir encore plus, rendez-vous **mardi 22 mars 2016** à 14 h 30 à la **séance « La révolution CRISPR/Cas9 »** à l'Académie des sciences avec Emmanuelle Charpentier et Jennifer Doudna (www.academie-sciences.fr/fr/Seances-publiques/la-revolution-crispr-cas9.html).

Micro-supercondensateurs : un procédé de fabrication compatible avec l'industrie, adaptable aux supports flexibles

Les micro-supercondensateurs stockent l'énergie électrique et présentent des puissances et durées de vie plus élevées que les micro-batteries. Si de nombreux prototypes sortent des laboratoires, les procédés de fabrication ne sont pas forcément compatibles avec ceux de l'industrie. Dans le cadre du Réseau sur le stockage électrochimique du CNRS (RS2E), plusieurs équipes* autour des chercheurs du Cirimat menés par Patrick Simon, Médaille d'argent 2015 du CNRS, ont développé un procédé de fabrication de micro-supercondensateurs adaptés aux standards industriels.



Vue en coupe du dispositif : supercondensateur (CDC), support et collecteur de courant (TiC) et wafer de silicium. © A. Demortière/LRCS.

Ces dispositifs miniatures de stockage ont été décrits dans la revue *Science* [1].

Le concept est à la fois compatible avec les procédés de production actuels, permet une très bonne adhésion sur le substrat de silicium (puce) grâce à une structure originale : une couche « support » de carbure de titane (TiC) présente entre le carbure (supercondensateur) et la puce de silicium. Le groupe a également observé une très bonne uniformité structurale de ses supercondensateurs. Au final, ils obtiennent le meilleur rapport énergie surfacique/puissance surfacique du moment.

Mieux, si la réaction de synthèse est poussée à son terme, toute la couche « support » de TiC est transformée en supercondensateur, qui se décolle alors du substrat de silicium. Ce film autosupporté, mécaniquement stable et micrométrique, est potentiellement utilisable pour des applications flexibles ou « portables » («wearable»). Au-delà de l'application pour le stockage de l'énergie, ces matériaux offrent des perspectives pour la mise au point de revêtements élastiques à faible coefficient de frottement ou encore pour la réalisation de membranes pour la filtration de gaz.

• Source : CNRS, 12/02/2016.

* Centre inter-universitaire de recherche et d'ingénierie des matériaux (Cirimat, CNRS/Université Toulouse III - Paul Sabatier/INP Toulouse), Institut d'électronique, de microélectronique et de nanotechnologie (IEMN, CNRS/Université de Lille/Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis/ISEN Lille/École Centrale de Lille), Laboratoire de Physique et Chimie de Nano-Objets (LPCNO, CNRS/INSA Toulouse/Université Toulouse III - Paul Sabatier), Laboratoire de réactivité et chimie des solides (LRCS, CNRS/Université de Picardie Jules Verne), Drexel Nanomaterials Institute (Université de Drexel).

[1] Huang P. *et al.*, On-chip and free-standing elastic carbon films for micro-supercapacitors, *Science*, 2016, 351, p. 691.

Des liquides poreux, c'est possible !

Tous les liquides présentent des espaces libres entre les molécules qui les constituent. Ces espaces, qui se forment et disparaissent de manière dynamique, sont souvent trop petits pour pouvoir accueillir des quantités importantes d'autres espèces chimiques comme des gaz. Au contraire, des pores volumineux et pérennes existent le plus souvent dans des matériaux solides, tels que les zéolites, qui sont utilisés dans de nombreuses applications. Malheureusement, ces matériaux solides sont souvent difficiles à mettre en forme pour des utilisations variées.

Une équipe de l'Institut de chimie de Clermont-Ferrand (CNRS/Université Blaise Pascal/ENSCCF), en collaboration avec des chercheurs de la Queen's University Belfast (Royaume-Uni), vient de montrer que contrairement à ce que l'on pensait, un liquide pouvait être poreux. L'idée de synthétiser un liquide présentant des pores permanents n'est pas nouvelle, mais les chercheurs ont réussi pour la première fois à préparer et à caractériser de tels liquides, par des expériences et des simulations numériques de dynamique moléculaire qui intègrent l'évolution des molécules du liquide au cours du temps. Le nouveau liquide poreux qu'ils ont mis au point est constitué de molécules creuses fonctionnalisées en surface par des groupes éther-couronne, solubles à grande concentration (1:12), dans un solvant trop encombrant pour pénétrer dans les pores. Une porosité 500 fois plus grande que celle du solvant pur a ainsi pu être obtenue. Les cavités de ces molécules peuvent être exploitées pour accueillir de plus petites molécules comme du méthane : on constate qu'il est alors huit fois mieux absorbé que dans un solvant pur.

L'équipe de recherche propose donc une méthode de synthèse facile de molécules creuses fonctionnalisées, à partir de produits commerciaux, et dresse ainsi les bases pour construire de nouvelles classes de matériaux poreux liquides et fonctionnels, utilisables en chimie des procédés pour l'extraction d'espèces chimiques. Ces résultats sont parus dans la revue *Nature* [1].

* Source : CNRS, 05/02/2016.

[1] Giri N. *et al.*, Liquids with permanent porosity, *Nature*, 2015, 527, p. 216.

Retrouvez toutes les brèves de l'Institut de chimie du CNRS sur www.cnrs.fr/inc

Industrie

Un nouvel outil pour la mise en œuvre de REACH

Le règlement européen REACH, destiné à assurer un niveau élevé de protection de la santé humaine et de l'environnement, impose qu'à l'horizon 2018, les propriétés physico-chimiques, toxicologiques et écotoxicologiques des substances chimiques employées ou fabriquées dans l'Union européenne (à plus d'une tonne par an) aient été évaluées avant leur mise en œuvre dans des procédés ou des produits. Cela nécessite donc d'ici là le déploiement à grande échelle de tests de conformité. Une question importante se pose alors : peut-on utiliser des méthodes prédictives, au lieu d'expériences parfois lourdes et coûteuses, pour évaluer les propriétés physico-chimiques des produits dans le cadre de REACH ?

Le projet ANR PREDIMOL, piloté par l'INERIS et auquel IFPEN a pris part, a eu comme objectif principal de répondre à cette question. Le travail de recherche mené dans ce projet a fourni un état des lieux des méthodes et modèles prédictifs, regroupés en familles, qui sont utilisables comme alternative aux essais expérimentaux pour l'estimation des propriétés physico-chimiques : corrélations et approches par contributions de groupes ; relations structure/propriété (QSPR) ; équations d'état moléculaires (de type « statistical associating fluid theory ») ; modèles de coefficient d'activité et de solvation (COSMO) ; simulation moléculaire (Monte Carlo, dynamique moléculaire).

À l'issue de cet inventaire, un travail de revue, cosigné par IFPEN, l'INERIS, le Laboratoire de Chimie-Physique de l'Université Paris Sud, l'Institut de Recherche de Chimie Paris et la société Materials Design SARL, a été publié dans *Chemical Reviews* [1]. Cette publication offre un accès rapide et pratique aux informations issues des derniers développements et travaux de recherche portant sur la prédiction des propriétés physico-chimiques listées dans les annexes de la directive REACH : point de fusion, température d'ébullition, densité relative, pression de vapeur, tension superficielle, hydro-solubilité, coefficient de partage n-octanol/eau, point d'éclair, inflammabilité, propriétés explosives, température d'auto-inflammation, propriétés comburantes, constante de dissociation, viscosité. La description des différentes

méthodes prédictives permet de guider l'utilisateur vers une utilisation appropriée des méthodes, en fonction des propriétés à prédire et du système donné.

Deux autres points importants ont été abordés dans le cadre du projet PREDIMOL : la reconnaissance de ces méthodes par les instances réglementaires et les industriels, ainsi que le développement d'outils automatisés pour la prédiction des propriétés physico-chimiques.

Au-delà des aspects réglementaires (caractérisations et dangers physico-chimiques), ces méthodes prédictives contribuent à l'identification précoce des propriétés des composés d'intérêt industriel. Elles peuvent donc être appliquées dans le développement de nouveaux produits, en amont de l'étape expérimentale, dans le cadre d'approches de type « safety by design » ou pour la substitution de substances dangereuses, qui est un autre axe du règlement REACH.

* Source : IFPEN, 08/02/2016.

[1] Nieto-Draghi C. *et al.*, A general guidebook for the theoretical prediction of physico-chemical properties of chemicals for regulatory purposes, *Chemical Reviews*, 2015, 115, p. 13093.

Enseignement et formation

Simplification pour l'accueil des doctorants étrangers en France

Le visa long séjour « scientifique-chercheur », souvent d'une durée d'un an renouvelable, mis en place il y a quelques années, avait grandement facilité l'accueil des doctorants ; la carte de séjour pluriannuelle récemment adoptée par l'Assemblée nationale est un progrès supplémentaire.

C'est important pour l'ensemble des doctorants accueillis en France qui représentent plus de 40 % des chercheurs en formation doctorale, mais notamment dans le cadre du dispositif CIFRE (convention industrielle de formation par la recherche). Celui-ci finance environ 700 doctorants étrangers (hors communauté européenne et algériens) devant détenir un titre de séjour leur permettant d'exercer un emploi à temps plein. Cette mesure facilitera les démarches des entreprises qui accueillent des doctorants étrangers.

Parmi les CIFRE, si on exclut l'Union européenne, la première origine des doctorants CIFRE est l'Afrique, suivie de l'Asie puis de l'Amérique latine.

Les CIFRE, intégralement financées par le ministère de l'Éducation nationale,

de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, sont gérées par l'Association Nationale de la Recherche et de la Technologie (ANRT). Elles permettent de soutenir financièrement, par une subvention annuelle de 14 000 €, les entreprises qui embauchent un doctorant au minimum salarial de 23 484 € brut/an. Pour une durée de trois ans, elles confient à ce « salarié doctorant » un sujet de recherche de niveau doctoral, réalisé en partenariat avec un laboratoire de recherche publique. Ces travaux de recherche seront l'objet de la soutenance de sa thèse de doctorat.

• Source : ANRT, 16/02/2016.

Faire sa thèse avec l'Ademe

Appel à candidatures

INVENTEZ LE MONDE DE DEMAIN : FAITES VOTRE THÈSE AVEC L'ADEME.

DANS LE CADRE D'UN PARTENARIAT ENTRE UN ÉTUDIANT, SON LABORATOIRE D'ACCUEIL ET UN COFINANÇEUR PUBLIC OU PRIVÉ, L'ADEME FINANCE VOS THÈSES PENDANT 3 ANS POUR CONSTRUIRE UN MONDE PLUS DURABLE.

www.ademe.fr/theses

CONCEPTION & RÉALISATION GRAPHIQUE : OLIVIER HENRI

L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) encourage les recherches accompagnant la transition énergétique et écologique dans le contexte du changement climatique. Dans le cadre de ce programme, l'Agence sélectionne et finance chaque année une cinquantaine de projets sur une base moyenne de 200 candidats. Depuis 1992, plus de 1 500 étudiants ont ainsi bénéficié de ce programme de formation.

Parmi les thèmes retenus pour l'année 2016 :

- Villes et territoires durables ;
- Production durable et énergies renouvelables (production, gestion et stockage de vecteurs énergétiques issus de sources renouvelables, captage et valorisation du CO₂, recyclage et valorisation des déchets) ;
- Agriculture, forêt, sols et biomasse (valorisation de la biomasse, réhabilitation des sites pollués, stockage géologique du CO₂) ;

- Qualité de l'air, impacts sur la santé et l'environnement ;

- Énergie, environnement et société.

Date de clôture des candidatures : 31 mars 2016.

• Pour en savoir plus : www.ademe.fr/theses

Saisie en ligne des candidatures : www.thesenet.ademe.fr

Grande enquête « Les ingénieurs français et les langues »

Les établissements de formation d'ingénieurs ont besoin d'indicateurs leur permettant de prendre des décisions justifiées. Or les données concernant l'utilisation des langues étrangères en milieu ingénieur sont rares, voire inexistantes, et souvent très parcellaires. Afin de compléter les renseignements déjà disponibles, dans le cadre de ses recherches, le professeur Marcelo Tano de Metz (ENIM-Lorraine INP), membre du groupe « Langues », commission « Formation » de la Conférence des Grandes Écoles (CGE) dont fait partie la Fédération Gay Lussac, effectue une grande enquête nationale intitulée « Les ingénieurs français et les langues », avec l'intention de fournir des données quantitatives et qualitatives plus détaillées.

Le sondage*, d'une vingtaine de minutes, cible des ingénieurs français en exercice de leur profession (en France ou à l'étranger), que nous invitons à le remplir. Les résultats seront communiqués une fois les données recueillies, croisées et analysées.

• Contact : tano.marcelo@bbox.fr

* <https://docs.google.com/forms/d/1IJ2YNZpkGRBa256yRxEncwpdqMBoj9jb6pqtOxZWwk/viewform>

Une chaire d'enseignement et de recherche Volvo-INSA

Dans le cadre de son programme mondial de partenariat avec l'enseignement supérieur, qui porte sur le recrutement de talents, la recherche et la formation, le groupe Volvo a officiellement lancé avec l'INSA Lyon une chaire d'enseignement et de recherche intitulée « Solutions for the future of urban transport ».

Cette chaire a pour objectif de développer la connaissance et les compétences sur ce que sera le transport urbain de demain. Les principales activités de recherche porteront sur l'efficacité énergétique durable (nouvelles énergies, alimentation et stockage), la conception et la fabrication innovantes (design fonctionnel du véhicule, fabri-

cation additive) et le recueil et le traitement de données (transports connectés, véhicules autonomes, productivité optimisée).

• Source : INSA Lyon, 27/01/2016.

Sécurité et environnement

Bouillie bordelaise et agriculture bio



La bouillie bordelaise (solution aqueuse de sulfate de cuivre et chaux) est prônée régulièrement par les défenseurs de l'écologie et du naturel pour le traitement de plantes infectées par un grand nombre de « pestes ». À l'origine, elle servait à lutter contre le mildiou du vignoble bordelais, d'où son nom. Inventée par Alexis Millardet et Ulysse Gayon dans les années 1880, la bouillie, comme d'autres mélanges à base de cuivre, est utilisée pour traiter les arbres fruitiers et diverses autres cultures. On a très rapidement observé que les sels de cuivre s'accumulaient dans les sols, en contradiction avec l'objectif de préservation de la biodiversité. Comme ses analogues, tout aussi chimiques, c'est pourtant un intrant classique de l'agriculture biologique, au même titre que des biofertilisants « faits maison », particulièrement favorables à la contamination microbienne (400 intrants officiellement autorisés). On cherche certes des alternatives moins écotoxiques, et l'Europe a décidé de quantités à ne pas dépasser : 6 kg à l'hectare par an en vigne bio. En effet, une exposition respiratoire peut provoquer des dommages pulmonaires chez l'homme.

R.A. Jacquesy

Signature d'un accord de partenariat public/privé pour lutter contre la drogue

La Mission nationale de contrôle des précurseurs chimiques de drogues (MNCPC) et les principales organisations représentant les industries



Les signataires du Code national de conduite (Paris, 8 février 2016).
© Ministère de l'Économie.

chimiques, pharmaceutiques et aromatiques* ont signé le 8 février dernier un accord de partenariat visant à prévenir le détournement de précurseurs chimiques et d'équipements pouvant servir à la production illicite de drogues.

Au sein de la DGE (Direction générale des entreprises, sous l'autorité du ministre de l'Économie, de l'Industrie et du Numérique), la MNCPC a pour mission principale d'assurer le contrôle de la production et des échanges commerciaux des substances chimiques susceptibles d'être détournées pour alimenter les réseaux de fabrication illicite de drogues. Cette action ne vise pas à interdire l'usage de ces produits qui ont des utilisations licites multiples et bien souvent incontournables dans l'industrie, que ce soit pour la fabrication de médicaments, d'arômes pour les industries agroalimentaires, de parfums, de peintures ou dans de très nombreuses compositions largement commercialisées. L'enjeu est d'assurer une surveillance et un encadrement de leur commerce licite afin d'éviter des détournements pouvant conduire à la fabrication clandestine de drogues.

Cette surveillance est aujourd'hui de plus en plus difficile compte tenu de l'utilisation croissante, par les organisations criminelles internationales, de nouveaux précurseurs (précurseurs de précurseurs, précurseurs fabriqués sur mesure...) et autres substances chimiques utilisées pour la fabrication de drogues de synthèse (notamment pour les nouveaux produits stupéfiants comme les cannabinoïdes de synthèse).

Dans ce cadre, la signature de ce nouveau code national de conduite, qui relève d'une démarche collective, partenariale et volontaire, a pour objectif de renforcer la collecte de déclarations de soupçons et de fournir, dès les premiers signaux, des informations sur l'utilisation de nouveaux produits chimiques ou équipements, et ainsi de pouvoir prévenir en amont le développement de nouvelles drogues de

synthèse.

En complément de ce code national de conduite, une brochure sera diffusée afin de sensibiliser l'ensemble des opérateurs économiques aux risques de détournement des produits chimiques.

- Source : DGE, 08/02/2016.
- * UIC (Union des Industries Chimiques), UFCC (Union Française du Commerce Chimique), PRODAROM (Syndicat national des fabricants de produits aromatiques), SNIAA (Syndicat national des industries aromatiques alimentaires), AFIPA (Association française de l'industrie pharmaceutique pour une automédication responsable), SIMV (Syndicat de l'industrie du médicament et réactif vétérinaires), LEEM (Les entreprises du médicament).

Chimie et vie quotidienne

Fête de la Science 2016 Appel à projets



La 25^e édition de la Fête de la Science se déroulera **du 8 au 16 octobre 2016**. Contactez dès à présent le correspondant Fête de la Science de votre département pour déposer un projet... demander un financement... diffuser l'information... et faire découvrir les mystères de la chimie au plus grand nombre !

- www.fetedelascience.fr
Pour déposer un projet :
www.fetedelascience.fr/pid25790/deposer-un-projet-le-mode-d-emploi.html

Concours

« Filmer sa recherche »

Vous êtes chercheur ? Vous voulez réaliser un film court sur votre recherche ? Le concours « Filmer sa recherche » est pour vous !

Organisé dans le cadre du **Festival du Film de Chercheur** de Nancy qui se tiendra **du 31 mai au 5 juin 2016** (un événement CNRS et Université de Lorraine où l'on pourra assister à des projections de films, des spectacles, des expositions et des ateliers scientifiques), ce concours s'adresse à tout personnel rattaché administrativement à un laboratoire ou à une structure d'enseignement supérieur et de recherche.

À l'issue d'une sélection faite par un jury de chercheurs et de professionnels de l'image, dix projets seront retenus en vue d'une audition, puis deux prix seront attribués :

- Le « Prix CNRS Images » : la communication retenue fera l'objet d'un film court d'actualité d'environ 5 minutes, faisant état d'une recherche en France métropolitaine, réalisé et produit par le CNRS Images d'une valeur d'environ 10 000 euros.

- Le « Prix Festival du Film de Chercheur » : dotation de 3 000 euros destinée à permettre au lauréat de développer son projet à travers un scénario, de préparer une production, de collecter de la matière visuelle pour étayer le dossier ou une aide au montage.

Date limite pour concourir : 1^{er} avril 2016.

- En savoir plus : www.filmdechercheur.eu
Voir le teaser :
www.dailymotion.com/video/x3s8ly4_a-voir-et-a-manger-festival-du-film-de-chercheur-2016-teaser_shortfilms

Prolongation de l'Année de la lumière 2015

Ouverte le 8 janvier 2015, lors d'une manifestation de lancement dans le grand amphithéâtre de la Sorbonne, l'Année de la lumière en France a été un grand succès populaire. Plus de 700 événements ont été labellisés dans tous les domaines (arts, culture, éducation, jeunesse, astronomie, éclairage et vision, recherche et industrie, santé...). L'ensemble des régions se sont impliquées dans ces manifestations, majoritairement orientées vers les jeunes et le grand public.

Devant le nombre important de demandes d'organisation d'événements, au-delà du 31 décembre 2015, le Comité national de l'Année de la lumière en France a décidé de prolonger cette année exceptionnelle **jusqu'au 31 juin 2016**.

- www.lumiere2015.fr

Diffusion de la culture scientifique

La Ville de Paris lance un appel à projets aux associations, coopératives, fondations, organismes publics, organismes de recherche et universités, visant à favoriser la diffusion et le partage de la culture scientifique au plus grand nombre au travers de projets mis en œuvre en 2016 sur le territoire parisien.

Dépôt des candidatures jusqu'au 1^{er} avril 2016.

- www.paris.fr/live/diffusion-de-la-culture-scientifique-un-appel-a-projets-est-lance-3366

Chimistes de moins de 35 ans



Rejoignez le Réseau
des Jeunes chimistes de la
Société Chimique de France,
le RJ-SCF !



Réseau des Jeunes Chimistes
Société Chimique de France

Étudiants, doctorants, post-doctorants,
ATER, techniciens, ingénieurs, enseignants,
chercheurs, concepteurs, opérateurs,
assistants techniques dans les secteurs
académique ou industriel, *rejoignez-nous !*



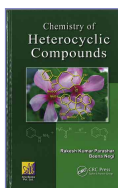
Déjà plus de
1 000 membres !

- **Un réseau professionnel national** sur mesure sur tout le territoire !
- **Un accompagnement** pendant les études et en début de leur carrière !
- **Des activités auprès du grand public et des scolaires !**
- **Une aide indispensable** à la recherche de stages, de thèses et d'emplois !
- **Une meilleure visibilité** de la chimie française !



Adhérez en ligne sur www.societechimiquedefrance.fr

Livres



Chemistry of heterocyclic compounds

R.K. Parashar, B. Negi
389 p., 62,04 £
CRC Press, 2015

Les dérivés hétérocycliques jouent un rôle prépondérant dans de nombreux domaines, notamment dans les sciences du vivant. La chimie de ces composés est certes enseignée à l'université, mais souvent de manière rapide et superficielle ; or ce domaine, important par le grand nombre de ses applications, mériterait un enseignement plus approfondi.

Le livre proposé répond à ce besoin car il aborde la chimie des principaux hétérocycles sous ses différents aspects : propriétés physico-chimiques (pK_A , déplacements RMN, point de fusion...), réactivité, stabilité, principales applications des composés de base. Il est destiné aux chimistes ayant déjà une bonne connaissance de la chimie organique et particulièrement des mécanismes réactionnels.

Il commence par donner des notions de base de la nomenclature des hétérocycles ; il est en effet primordial de maîtriser un minimum cette nomenclature complexe pour comprendre aisément les publications et conférences de cette discipline. Le deuxième chapitre démontre l'importance des hétérocycles en thérapeutique humaine et en agrochimie. Les autres chapitres, douze au total, sont organisés de manière classique : les hétérocycles sont classés en fonction de leur taille de cycle et du nombre d'hétéroatomes qu'ils contiennent. Les comportements spécifiques à chaque classe sont très bien décrits, notamment en ce qui concerne les mécanismes réactionnels. Les méthodes de synthèse des hétérocycles de base ainsi que certaines réactions (substitutions électrophiles ou nucléophiles, oxydation, réduction...) sont détaillées et permettent au lecteur d'envisager des voies d'accès à des dérivés substitués.

On peut regretter par contre que peu de références aient été fournies à l'occasion de ces descriptions ; ceci aurait permis à des personnes intéressées d'accéder rapidement à des revues

ciblant des points précis de la discipline. Un aspect très positif de cet ouvrage est la présence d'exercices bien conçus à la fin de chaque chapitre ; accompagnés de leurs réponses, ils permettent aux débutants de vérifier leur acquisition des connaissances. En conclusion, cet excellent livre est dédié à tout chimiste organicien, débutant ou expérimenté, désirant entrer dans la chimie des hétérocycles. Il lui donnera les bases pour pouvoir ensuite explorer cet ensemble vaste et varié dont les applications se retrouvent dans de nombreuses disciplines telles que les sciences de la vie, l'électronique ou les colorants. C'est aussi un excellent ouvrage pour les enseignants qui y trouveront toutes les bases de ce domaine.

Jean-Marc Paris



Chimie organique Une approche orbitale

P. Chaquin, F. Volatron
290 p., 29 €
De Boeck Supérieur, 2015

Ce livre d'enseignement est destiné aux étudiants de premier cycle universitaire. Les auteurs, connus en particulier pour leur qualité pédagogique, nous proposent une approche purement orbitale de la chimie organique, avec un minimum de chimie quantique et sans calcul puisque les résultats théoriques sont donnés facilement par des logiciels d'accès libre, en particulier « OrbiMol », développé par l'un des auteurs (Patrick Chaquin) et Frank Fuster.

Comme les auteurs l'indiquent dans l'avant-propos, cette présentation de la chimie orbitale ne doit pas se limiter aux réactions non facilement interprétables par les mécanismes classiques des « flèches » telles que les réactions de Diels-Alder ou en général des réactions péri-cycliques avec les règles de Woodward-Hoffmann. La limite de ce modèle est bien indiquée quand la réaction est sous contrôle de charge par exemple, ou lors des substitutions électrophiles aromatiques, ou encore pour les influences des solvants dans les réactions.

Après un premier chapitre d'une trentaine de pages sur ce qu'il faut savoir sur les orbitales moléculaires, le plan de l'ouvrage est celui des grandes fonctions de la chimie organique, un dernier

chapitre présentant avec précision et une grande concision les grandes idées de raisonnements des méthodes de calcul telles que la signification physique des énergies moléculaires, les méthodes de Hückel et de Hartree-Fock. Un index détaillé d'une quinzaine de pages termine le livre.

Le livre est d'une très grande clarté : un soin particulier a été pris pour expliquer les points délicats avec des « LPS » (Le Point Sur) et des « PC » (Pour Comprendre) explicitant ces points ; citons par exemple l'hyperconjugaison, les stabilités des carboradicaux, la tension de cycle du cyclopropane en particulier, la polarisabilité d'une liaison ou d'un atome ou ion, la stabilité des carbocations, les effets Pi et sigma de substituants sur la liaison C=C, les borane et diborane, les stabilités thermodynamique et cinétique des carbanions, les effets sigma et Pi sur les ions carboxylate et une très belle discussion de la règle d'acidité.

Une attention particulière a été donnée par les auteurs dans le chapitre sur les polyènes conjugués avec d'abord un « PC » qui explique comment la conjugaison est stabilisante, une présentation très claire des réactions de Diels-Alder, les cycloadditions [2+2] photochimiques des alcènes, des additions de dipôles 1-3 et de cycloadditions [3+2], les réactions d'électrocyclisation du butadiène, triène. Les réactions de transposition sigmatropique sont ensuite abordées, d'abord [1-3] comme la transposition d'un groupe méthyle ou d'un atome d'hydrogène, les transpositions [1-2] des carbocations, ou les réactions sigmatropiques [3-3] des diènes non conjugués lors des réactions type Cope-Claisen.

S'il faut donner quelques points négatifs à ce travail, on peut regretter parfois l'absence de références bibliographiques plus précises sur certaines réactions, tout comme le côté trop succinct de certains points comme celui de la chimie du silicium où les auteurs auraient pu présenter les effets stabilisants α et β du silicium sur les carbanions et carbocations.

Une suggestion toute personnelle : l'absence d'exercices d'application, car certains points abordés un peu rapidement pourraient y être développés dans des « pour aller plus loin »...

En conclusion, voilà un livre très agréable à lire de bout en bout et très novateur dans l'enseignement qui met à la disposition des étudiants, mais aussi des chargés de cours, dans un même ouvrage, un modèle simple d'accès pour apprendre différemment, comme disent les auteurs, la chimie organique !

Jean-Pierre Foulon

29^e Prix Roberval

Appel à candidatures

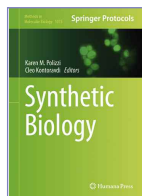


Le prix Roberval, organisé par le service des Cultures scientifique, technique et industrielle de l'Université de Technologie de Compiègne, est ouvert aux livres et productions audiovisuelles francophones rédigés en français et dédiés à l'explication de la technologie. Le prix est décerné pour quatre catégories : Grand public, Enseignement supérieur, Jeunesse, Télévision.

Après sélection par le jury dans le courant du mois de juin, les finalistes sont désignés en septembre après analyse des œuvres sélectionnées par le jury assisté d'experts universitaires et industriels pour le prix Enseignement supérieur, et d'experts scientifiques et de professeurs des collèges pour le prix Jeunesse.

Inscriptions ouvertes jusqu'au 1^{er} mai 2016.

• Pour en savoir plus : <http://prixroberval.utc.fr>

**Synthetic biology**

K.M. Polizzi, C. Kontoravdi (eds)

224 p., 100,21 €

Humana Press/Springer Protocols, 2013

Part of the highly successful *Methods in Molecular Biology* series (Springer), this book provides an insight on the latest molecular biology techniques developed for synthetic biology. It contains eighteen specific chapters dealing with DNA assembly, genome engineering as well as the computational tools needed for the modelisation of biological systems.

This book has eighteen chapters grouped in four parts written by thirty five contributing authors.

The first part provides a brief introduction to synthetic biology, offering a definition of the field and focusing on the different types of research practiced therein. The second part presents four

step by step protocols on gene synthesis and DNA assembly methods for the engineering of new biological systems. Part 3 contains nine detailed protocols for the building of biological parts, biological pathways and genome engineering. The final part focuses on the computational tools for modeling biological systems and presents a framework for the development of predictive models for biological processes as well as a general-purpose modeling software.

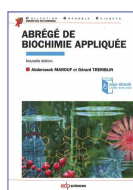
Synthetic biology is a rapidly growing field. In the past decade, many books and journal papers have been published on the subject. This recent book contains very up-to-date and detailed information on the newest procedures used in synthetic biology.

Each chapter is clearly written and well presented with comprehensive figures, detailed information on vector constructions, primer sequences, computer screen shots, etc. Although more computational tools may have been presented, this book is of great value for introducing the field and discussing some of the key examples that underlie the molecular biology techniques essential to engineering new biological systems.

This book is clearly written with detailed protocols and useful troubleshooting information. It presents inclusive interdisciplinary tools that molecular biologists, biochemists, bioinformaticians and other scientists of different fields may benefit from.

Deniz Pekin

À signaler

**Abrégé de biochimie appliquée**

A. Marouf, G. Tremblin

578 p., 59 €

EDP Sciences, Collection Grenoble Sciences, 2015 (n^{elle} éd.)

L'ouvrage est un outil clair destiné à un public varié possédant des connaissances de base de biochimie générale. Il fait le lien vers les matériaux d'origine biologique, les technologies de transformation « bio » et bon nombre d'applications industrielles.

Le site web en libre accès propose de nombreux compléments d'information, des exercices corrigés, un lexique français-anglais, etc.



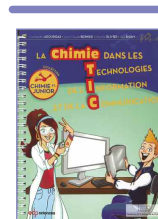
Idées de science, idées sur la science
Pour enseigner les sciences de la maternelle à la 3^e
Pour éclairer la mise en œuvre du Socle commun

W. Harlen (dir.)

190 p., 15 €

Éducation Le Pommier/Belin, 2015

Publié à l'occasion des 20 ans de la Fondation « La main à la pâte », l'ouvrage éclaire les objectifs et la mise en œuvre du nouveau Socle commun de connaissances, de compétences et de culture, ainsi que des programmes scolaires adoptés en 2015 par l'Éducation nationale.



La chimie dans les technologies de l'information et de la communication

C. Agouridas, J.-C. Bernier, D. Olivier, P. Rigny (coord.)

Collection Chimie et... Junior

134 p., 12 €

EDP Sciences/Fondation de la Maison de la Chimie, 2015

La collection Chimie et... Junior est destiné principalement aux collégiens. Son but est d'expliquer de façon simple, agréable et même amusante, les applications des sciences de la chimie dans notre vie quotidienne. La chimie dans les TIC, ce sont les objets connectés (smartphones, tablettes...).



La lumière en lumière
Du photon à l'Internet

B. Boulanger, S. Guellati-Khélifa, D. Hennequin, M. Stehle (coord.)

160 p., 29 €

EDP Sciences, 2016

Cet ouvrage, destiné à un large public et édité à l'occasion de l'Année internationale de la lumière, révèle et expose les mille et une facettes de la lumière, des objets du quotidien à l'astronomie, en passant par l'environnement et la santé.

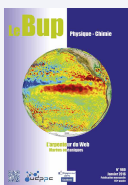


Le fixe et le volatil
Chimie et alchimie,
de Paracelse à Lavoisier
 238 p., 22 €
 CNRS Éditions, 2016

L'œuvre de Paracelse (1493-1541) marque le point de départ d'un long processus qui aboutira, un siècle et demi plus tard, à l'émergence de la chimie clairement conçue comme une discipline scientifique autonome. Il faudra cependant attendre la révolution chimique de Lavoisier (1787-1789) pour la consacrer définitivement, imposant désormais la chimie comme une science incontournable. Un ouvrage à rebours des idées reçues.

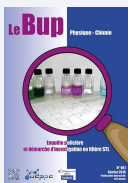
Bulletin de l'Union des professeurs de physique et de chimie (« Le Bup »)

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



N° 980 (janvier 2016)

- Une année importante pour les enseignants de physique-chimie, par V. Parbelle.
- Les difficultés en sciences physiques liées à l'utilisation de l'outil mathématique, par F. Holst.
- Application Internet pour l'évaluation du risque toxicologique des espèces chimiques dans les laboratoires d'enseignement, par J. Varlet, N. Bonnin et P. Sanchez.
- Partage d'idées : exemples d'EPI [enseignement pratique interdisciplinaire] pour la rentrée 2016, par R. Primout.
- Sensibiliser les étudiants des classes préparatoires aux enjeux de la recherche contemporaine en sciences physiques : un défi relevé par l'ENSIC de Nancy, par B. Vitoux, A. Père-Gigante et R. Privat.



N° 981 (février 2016)

- YouTube and the discovery of scientific trades: a fee and interesting approach to teaching scientific English: « Enseigner utile » en anglais – sciences physiques en première, par B. Boullil et L. Suco-King.
- Les technologies du cinéma au service de la pédagogie, par C. Raynaud.
- Enquête policière et démarche d'investigation en filière STL : introduction à l'analyse des spectres UV-visible et infrarouge, par C. Lucas-Valmalle.
- Filtrage optique à absorbance variable : verre photochromique pour lunettes, par K. Médjahdi.

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

Chimie et expertise

Santé et environnement

M.-T. Dinh Audouin, D. Olivier, P. Rigny (coord.)
 230 p., 25 €
 EDP Sciences/Fondation de la Maison de la Chimie/L'Actualité Chimique

La santé et l'environnement sont des préoccupations majeures des citoyens. Les progrès du XX^e siècle ont changé la nature des problèmes car les maladies les plus évidentes sont prises en compte de manière satisfaisante. Restent les maladies moins faciles à caractériser car liées à des causes faibles mais répétitives. On s'inquiète de la composition de notre alimentation, de la qualité de l'air et de l'eau, susceptibles d'être corrompus par la dégradation de l'environnement, et qui constituent des dangers souvent insidieux.

Rien n'est simple dans l'évaluation de ces dangers, et le recours à l'expertise se développe, comme le montrent le développement des agences d'expertise scientifique, l'établissement de normes et l'adoption, au niveau international, de réglementations nouvelles telles que REACH au niveau européen.

Ces exigences sollicitent au premier plan la recherche scientifique, et particulièrement dans la chimie. Cet ouvrage montre l'explosion des techniques de détection et d'analyse de substances chimiques, des méthodes d'interprétation des résultats, qui permettent de déceler les risques dès leur origine, ainsi que des études des laboratoires de biologie sur les effets des substances sur la santé humaine et l'environnement.

31 mars-2 avril 2016

ESAS-2016*European symposium on atomic spectrometry*
Eger (Hongrie)

- www.esas2016.mke.org.hu

5 avril 2016

Science: how close to open?

Amsterdam (Pays-Bas)

- www.euchems.eu/euchems-invites-science-close-open

6-7 avril 2016

« Les matériaux composites biosourcés »*Journées jeunes chercheurs*

Clermont-Ferrand

- www.ifma.fr/Recherche/evenements/pid/3017

6-8 avril 2016

Chemistry in*the urban atmosphere**Faraday discussion*

Londres (Royaume-Uni)

- www.rsc.org/events/detail/18145/chemistry-in-the-urban-atmosphere-faraday-discussion

25-26 avril 2016

8^e Journées franco-italiennes de la chimie

Avignon

- www.journee-chimie-paca.fr

2-4 mai 2016

New frontiers for biotech processes

Coblence (Allemagne)

- www.dechema.de/BioTec16.html

2-6 mai 2016

European Materials Research Society (E-MRS) 2016 spring meeting

Lille

- www.european-mrs.com/meetings/2016-spring-meeting

4 mai 2016

RCO 2016**14^e Rencontres de chimie organique**

Paris

- <http://rco2016.societechimiquedefrance.fr>

4-5 mai 2016

Renewable & bio-based chemicals summit

Chicago (IL, États-Unis)

- www.wplgroup.com/aci/event/renewable-and-bio-based-chemicals-summit

10-13 mai 2016

Analytica

Munich (Allemagne)

- www.analytica.de/index-2.html

11-12 mai 2016

10th Drug design & medicinal chemistry conference

Berlin (Allemagne)

- www.gtcbio.com/conferences/drug-design-medicinal-chemistry-overview

16-20 mai 2016

Gecom-Concoord

Obernai

- <http://gecom2016.chimie.unistra.fr>

19-21 mai 2016

« Chimie et Terroir »

Saint-Nazaire

- www.maisondelachimie.asso.fr/chimiesociete/index.php/toutes-les-actualitmainmenu/a-la-une-mainmenu/416-chimie-terroir-2016

23-25 mai 2016

Electrochemistry in nanosciences 7

Lille

Thème : Nanomaterials for sensing and energy driven applications.

- www.elecnano.fr

23-27 mai 2016

FCCat 1**French conference on catalysis**

Fréjus

- <http://fccat.sciencesconf.org>

29 mai-4 juin 2016

SECO 53**53^e Semaine d'études en chimie organique**

Sulniac

- www.congres-seco.fr

7-10 juin 2016

CBSO 2016**Colloque biennal du Club de biocatalyse en synthèse organique**

Evian-les-Bains

- <http://cbso2016.univ-lyon1.fr>

9-10 juin 2016

JNOEJC 2016**Journées Nord-Ouest européennes des jeunes chercheurs**

Villeneuve d'Ascq

Congrès organisé par les sections Nord-Pas-de-Calais-Picardie et Normandie.

- www.univ-valenciennes.fr/congres/JNOEJC/index.html

19-24 juin 2016

GPE 2016**5th International congress on green process engineering**

Québec (Canada)

- www.engconf.org/conferences/civil-and-environmental-engineering/green-process-engineering

27 juin-1^{er} juillet 2016**RCTF 2016****15^e Rencontre des chimistes théoriciens francophones**

Lyon

- <http://rctf2016.univ-lyon1.fr/fr>

27 juin-1^{er} juillet 2016**SpectroCat 2016****Summer school on vibrational spectroscopy for catalysis**

Caen

- www.spectrocat.ensicaen.fr

3-6 juillet 2016

ExTech & ISSS 2016**18th International symposium on advances in extraction technologies & 22nd International symposium on separation sciences**

Torun (Pologne)

- www.extech-iss2016.pl

3-6 juillet 2016

ICCC 2016**42nd International conference on coordination chemistry**

Brest

- <http://iccc2016.sciencesconf.org>

3-7 juillet 2016

Bremen fluorine days**5th International symposium on organofluorine compounds in biomedical, organic materials and agricultural sciences**

Brême (Allemagne)

- www.bremenfluorinedays.com/navi/home.html

3-8 juillet 2016

ICPOC 23**23rd IUPAC conference on physical organic chemistry**

Sydney (Australie)

- www.icpoc23.unsw.edu.au

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



6th
EuCheMS
Chemistry Congress

SEVILLE Spain
11th-15th September 2016

www.euchems-seville2016.eu

Join us for the largest Chemistry celebration in Europe,
you can't miss it

Chemistry:
Shaping the
FUTURE

Scientific
Excellence



Knowledge
& Innovation



Outreach & Promotional
Opportunities



New Talents
& Young Scientists



Career
Development



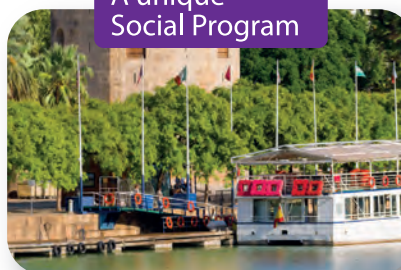
Networking



Exhibition



A unique
Social Program



Get our
Newsletter
for constant updates



PRE-REGISTER
NOW

Sponsorship
opportunities

Organized by





6th
EuCheMS
Chemistry Congress
SEVILLE Spain
11th-15th September 2016

Organized by
ANQUE
ASOCIACIÓN NACIONAL DE QUÍMICOS DE ESPAÑA
EUROPEAN CHEMICAL SCIENCES
EuCheMS

www.euchems-seville2016.eu

Bourses de voyage pour le 6^e congrès de l'EuCheMS

Le Bureau de la Société Chimique de France renouvelle son programme d'attribution de bourses de voyage pour le prochain congrès de l'EuCheMS qui se tiendra à **Séville du 11 au 15 septembre 2016**. Ces bourses, d'un montant de 400 euros, sont proposées aux jeunes sociétaires de la SCF ayant acquitté leur cotisation 2016 : doctorants, post-doctorants et jeunes professionnels âgés de moins de 35 ans au 15 septembre 2016.

Le formulaire de demande de bourse sera disponible auprès du président de la section régionale de rattachement, ou pourra être téléchargé depuis la page dédiée au congrès sur le site de la SCF ou du réseau des jeunes chimistes (RJ-SCF). Il devra impérativement être remis au président de la section régionale de rattachement **avant le 1^{er} avril 2016**. Les résultats seront notifiés aux jeunes sociétaires sélectionnés par un comité d'évaluation réunissant quelques présidents de sections régionales, de divisions et du RJ-SCF avant le **1^{er} juin 2016**. Un complément de bourse de 50 euros pourra être accordé dans le cas où une candidature pour l'European Young Chemist Award* serait retenue par le comité de sélection de cette compétition qui se déroulera lors du congrès lui-même.

Le Bureau de la SCF

*Dossier de candidature à ce concours sur www.eyca2016.org

Prix des divisions 2015

Enseignement-Formation

En 2015, la division Enseignement-Formation (DEF) a décidé d'honorer deux lauréats présentant des profils très différents mais complémentaires, et qui ont tous deux grandement contribué à l'enseignement de la chimie. Le prix leur a été remis au cours des Journées pour l'innovation et la recherche dans l'enseignement de la chimie (JIREC) en janvier dernier. Les présentations des activités des deux lauréats peuvent être retrouvées sur le site web des JIREC⁽¹⁾.

• Didier Astruc



Professeur émérite, Didier Astruc a développé tout au long de sa carrière d'enseignant des enseignements originaux, que ce soit lors de la création de l'IUT

de Saint-Nazaire ou plus tard à Bordeaux lors de la création d'enseignements en chimie organométallique, catalyse, et les applications des métaux de transition à la synthèse organique en second cycle et en formation continue. Une contribution majeure et reconnue de Didier Astruc pour l'enseignement et la formation est la parution en septembre 2013 de son ouvrage pédagogique *Chimie organométallique et catalyse*, destiné aux étudiants de chimie et chimie physique (L3, M1, M2, ingénieur), mais aussi aux enseignants, enseignants-chercheurs et chercheurs des universités et aux professionnels de l'industrie, qui constitue un ouvrage de référence dans ce domaine.

• Freddy Minc



Professeur au lycée général et technologique Galilée, lycée des métiers de Gennevilliers, Freddy Minc contribue grandement à l'attractivité de la chimie auprès des jeunes et du public. En effet, sa passion pour les arts, l'histoire et la chimie l'a conduit à élaborer des enseignements sur projets dans divers domaines avec ses élèves : arômes, couleurs et matières, cartes postales, paysages de verre, couleurs et transparences, hommage à Mendeleïev, championnat de France de rugby, Paris de sciences, rouge, kémie, arts et pavages, jardin pédagogique, Année internationale de la chimie, prix Nobel de chimie, brou de noix et henné, centenaire de la Guerre 14-18, indigo blue⁽²⁾. Fort de ces expériences, Freddy Minc a aussi proposé des stages de formation pour les enseignants au Palais de la découverte, au Musée d'arts et d'histoire du judaïsme et à l'Institut du monde arabe.

(1) www.jirec.fr/index.php/les-jirec/programme-2016

(2) Voir le film sur <https://www.youtube.com/watch?v=yPDHcBPIYXQ>

Groupe Français des Polymères (GFP)

Prix de thèse 2015

• Mohamed Boularas



Mohamed Boularas a effectué sa thèse sous la direction de Laurent Billon au Laboratoire universitaire IPREM-EPCP (CNRS, Université de Pau et des Pays de

l'Adour) et de Jean-François Tranchant et Valérie Alard, responsables industriels chez LVMH Recherche Parfums et Cosmétiques.

Son travail de thèse portait sur l'élaboration de microgels biocompatibles et multi-stimulables à base de méthacrylate d'oligo(éthylène glycol) et de nanoparticules magnétiques d'oxyde de fer. Ces microgels complexes capables de gonfler ou se contracter sous l'action de stimuli externes tels que le pH, la température et le champ magnétique ont été élaborés par un procédé simple en deux étapes intégrant les contraintes industrielles et environnementales : la synthèse des colloïdes microgels biocompatibles ont été synthétisés par polymérisation en milieu aqueux dispersé, et l'élaboration de microgels magnétiques a été réalisée par simple imprégnation d'une dispersion aqueuse de nanoparticules magnétiques d'oxyde de fer au sein des microgels. Par un contrôle de la chimie de synthèse, un contrôle de la structure interne des microgels permettant de moduler très finement leur capacité de gonflement et de contraction sous l'action d'un stimulus extérieur (pH, température) a été mis en évidence. Cette transition volumique est un élément clé pour l'encapsulation ou le relargage de molécules. La structure interne spécifique des microgels synthétisés dans cette étude s'est avérée être un élément clé. En effet, pour la première fois, les nanoparticules magnétiques d'oxyde de fer sont intégrées de manière quantitative, homogène et sans relargage par une simple loi de mélange et un contrôle du pH. De plus, contrairement aux microgels thermosensibles décrits dans la littérature qui requièrent la création de pontages chimiques ou des interactions ioniques de couches de charges

opposées, les microgels de cette étude s'auto-assemblent spontanément *via* un procédé simple de séchage pour former des films transparents et cohésifs. Une étude prospective des propriétés optiques et mécanoélectriques des films à base de microgels hybrides et non hybrides auto-assemblés par évaporation de solvant a permis de mettre en évidence un potentiel électrique induit lors de la compression des films. Mohamed Boularas est aujourd'hui ingénieur de recherche appliquée au sein du groupe L'Oréal, avec comme missions de créer des formules cosmétiques innovantes.

Prix de thèse 2016 de la division Chimie du solide

Appel à candidatures

La division Chimie du solide souhaite encourager et mettre en avant des jeunes thésards de l'année qui ont réalisé un travail de thèse de très grande qualité dans le domaine de la chimie du solide. Le Prix de thèse, d'un montant de 1 000 € (divisé par deux en cas d'ex-æquo) est décerné sur proposition au Bureau de la division. Peuvent candidater pour le prix 2016 les jeunes chercheurs, membres de la SCF, ayant soutenu leur thèse entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre 2015.

Date limite d'envoi des candidatures : 1^{er} mai 2016 (minuit).

• Pour en savoir plus : www.societechimiquedefrance.fr/IMG/pdf/appel_candidature_prix_de_these_dcs_2016-2.pdf

Avez-vous pensé à renouveler votre cotisation et/ou votre abonnement à *L'Actualité Chimique* ?

La Société Chimique de France, le réseau des chimistes, est votre association.
Faites-la vivre, faites-la connaître autour de vous !

• www.societechimiquedefrance.fr/1/adherer-a-la-scf-les-avantages

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

Analytical and Bioanalytical Chemistry
Springer
the language of science

WILEY-VCH
Les journaux de ChemPubSoc*
* ChemPubSoc regroupe 16 sociétés de chimie européennes, dont la SCF

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

**nouveau !
ChemistrySelect**

L'Actualité Chimique
Société Chimique de France

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

© www.magdesign.info

Les précurseurs organiques de céramiques

Un objet céramique est obtenu à partir d'une préforme « crue », une assemblée de grains mis en contact intime qui acquerra son état définitif et stable par un traitement thermique conduisant à la soudure des grains (densification), et si besoin à la disparition complète de la porosité. Selon l'application visée, une céramique est mono- ou multiphasée. Cette consolidation résulte soit de la fusion de certains grains (frittage réactif en phase liquide, phénomène rapide par mouillage et réaction en surface des grains ; typiquement les phases liquides apparaissent entre 800 et 1 200 °C), soit des diffusions atomiques, principalement en surface des grains (frittage réactif ou non, en phase solide, lent). Les liaisons covalentes métal-oxygène (oxydes), métal-azote (nitrides) et métal-carbone (carbures) étant très fortes, les céramiques sont très réfractaires et leurs températures de fusion approchent ou dépassent souvent 2 000 °C. Quand les grains deviennent submicroniques, la température de frittage passe typiquement de 0,8 Tf (Tf : température de fusion) à 0,6 ou même 0,5 Tf.

Les avantages des voies chimiques

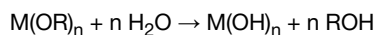
Les deux opérations coûteuses en énergie sont le broyage et la cuisson. Dans de nombreux cas, la céramique doit finir monophasée pour maximiser la ou les propriétés recherchées. Les contacts entre grains augmentent avec la finesse de ces derniers, aussi des poudres fines, voire ultrafines sont désirables. Le broyage au grade submicronique est lent et entraîne une pollution significative qu'il n'est pas facile d'éliminer ou de prendre en compte dans la formulation. Aussi dès les années 1950, un effort important a été réalisé pour préparer des poudres fines (microniques) d'oxydes, voire ultrafines (submicroniques) de composition contrôlée, sans broyage, par des voies « chimiques » nommées selon les époques coprécipitation ou sol-gel, ces poudres étant mises en œuvre par voie liquide (dépôt, coulage) ou solide (pressage), techniques céramiques classiques [1-2]. L'objectif était d'obtenir des poudres aussi fines et réactives que celles des nanoparticules offertes par la nature et base de la céramique « traditionnelle » : les feuillets argileux [1], et d'obtenir déjà en « cru » des densifications élevées [3]. À partir des années 1970, à l'exemple des premières couches de silicate poreux (xérogel) préparées par hydrolyse-polycondensation d'alcooates ($M(O-R)_n$ avec M : métal et R : branche organique) déjà avant la Seconde Guerre mondiale [1], des tentatives ont été menées pour préparer directement à partir de précurseurs organiques gazeux ou liquides des céramiques de compositions variées – oxydes, carbures et nitrides – sous différentes formes : couches, fibres, monolithes ou composites, directement à partir du précurseur métal-organique, sans passer par l'étape de poudre, à l'imitation de la préparation des fibres de carbone par filage du brai. Ces procédures étant onéreuses, elles ont principalement été explorées pour des applications dans les domaines aérospatial et nucléaire (à base de composition simple : Al_2O_3 , UO_2 , $SiC...$), ainsi que pour certaines applications en électronique (diélectriques/piézoélectriques à base de titanates, de zirconates...) ou en optoélectronique (optoferroélectriques) de compositions complexes, multiéléments/non stœchiométriques beaucoup plus difficiles à obtenir [2-3]. Les opales synthétiques ont été préparées par sédimentation contrôlée de billes de silice nanométriques auto-organisées [1].



Figure 1 - Exemple de première céramique transparente obtenue par la voie sol-gel en 1974 (LCR Thomson CSF-ENSCI, cliché de l'auteur, DR). La pastille (épaisseur 1 mm) de PLZT ($Pb_{0,91}La_{0,09}Zr_{0,65}Ti_{0,35}O_3$) est obtenue par frittage naturel d'une pastille compactée (presse hydrostatique) à base de poudre préparée par sol-gel (hydrolyse sous forte agitation en présence de poudre de PbO d'une solution d'alcooates de titane et de zirconium par une solution aqueuse acidifiée à l'acide acétique de lanthane puis séchage à 200 °C). Ce type de composition PLZT présentant de remarquables propriétés optoferroélectriques a servi à réaliser les lunettes de protection (cellule Kerr) des pilotes des escadres de forces de frappe nucléaire dans différents pays. Le mélange en phase liquide des alcooates garantit une homogénéité aux échelles nanométriques des éléments Ti et Zr, homogénéité indispensable pour conserver la qualité de vision du pilote sous fortes accélérations.

Les précurseurs polymères de céramiques « oxydes »

Les principaux précurseurs d'oxydes utilisables pour la fabrication de couches, de fibres, voire de monolithes, mais aussi de poudres sont les alcooates de formule $M^{n+}(O-R)_n$ où le métal M est Si, Ge, Al, Ti ou Zr [1, 4-5], c'est-à-dire un élément formant une unité covalente forte (Si/GeO_4 , $AlO_{4/6}$, TiO_6 , $ZrO_{7/8}$) susceptible de polymériser dès la phase liquide [1]. Des ajouts significatifs d'alcooates de P, Ta, Nb... peuvent être faits, le plus difficile étant l'incorporation des métaux de transition. La transformation liquide/solide via un état gel (voie polymère visqueuse) ou sol (voie aqueuse diluée) selon la quantité d'eau utilisée résulte des réactions simultanées d'hydrolyse :



et de polycondensation (tridimensionnelle) :



En fait, le produit obtenu est un réseau oxyde micro/mésoporeux dont la surface très développée (surface spécifique de 50 à 1 000 m^2/g) [2, 6] est hydroxylée en surface et interagit avec les molécules d'eau formant des entités $[(MM')O_{1-x}(OH)_x]_n H_2O$. Dans le cas où des ions sont présents en solution, ils peuvent être piégés dans les nanopores et/ou adsorbés sur les surfaces, permettant ainsi d'élaborer des compositions complexes à base d'éléments non formateurs de gel : alcalins et alcalinoterreux, ions de transition... La composition finale doit être contrôlée et tout changement d'échelle (lot de 20, 100, 1 000, 10 000 g, etc.) impose une nouvelle optimisation de la procédure. Le produit

final peut être une poudre, une couche, une fibre ou un monolithe [1, 3, 6]. Le remplacement des branchements O-R alkyle par des homologues vinyle ou carboxylate donne des propriétés très utiles pour la mise en œuvre avant cuisson : plasticité, polymérisation à l'état « cru » non cuit, tenue mécanique, etc. On peut même remplacer le branchement complet O-R par des groupements C-R' ; le précurseur, alors à moitié alcoolate à moitié silicium, est intéressant pour réaliser des couches.

À température ambiante, la viscosité de l'alcoolate augmente avec la longueur de la chaîne R (il peut même devenir solide) et la vitesse d'hydrolyse est généralement ralentie. La viscosité et la mouillabilité sont des paramètres importants pour l'infiltration de structures poreuses, par exemple pour le renforcement de matériaux composites et pour la mise en forme en couche sur substrat, la préparation de fibres par filage, etc. L'hygroscopie est telle que certains alcoolates (M = Al, Ge, Ti...) doivent être mis en œuvre en boîte à gant ultra sèche ($H_2O < \text{quelques ppm}$) ou en utilisant un médium exempt d'eau (hexane par exemple). L'utilisation d'alcoolates mixtes, comme $Bu_2-Al-O-Si-Et_3$, permet une manipulation plus aisée en moyennant la vitesse d'hydrolyse (instantanée pour l'alcoolate d'aluminium, lente pour celui de silicium). Une opération de mélange d'alcoolates doit être effectuée en milieu anhydre avant l'hydrolyse afin de garantir une meilleure homogénéité. Comme en céramique traditionnelle où l'on disperse parfaitement des poudres sans interaction vis-à-vis de l'eau dans la barbotine visqueuse d'argile (quartz, feldspath), d'autres produits, non solubles, peuvent être dispersés dans un gel issu d'alcoolates [7]. Ils pourront réagir intimement lors de la cuisson [3], élargissant le champ des compositions pouvant être préparées, mais aussi minimisant la quantité de réactifs coûteux.

Avec les voies chimiques ci-dessus, des fibres et des abrasifs d'alumine, de mullite ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), et de zircone sont produits industriellement. Des compositions plus complexes à base de zirconates, titanates, niobates... sont aussi préparées. Les propriétés opto/ferro/piézoélectriques de ces céramiques dépendent fortement de la composition et de l'homogénéité à l'échelle des liaisons chimiques, le dipôle étant formé par le décentrement de certains atomes. Le mélange en phase liquide garantit une homogénéité subnanométrique et permet ainsi la préparation de céramiques transparentes ($Pb_{1-y}La_y[Zr_xTi_{1-x}]O_3, 0 \leq x \leq 1$ appelé PLZT) [3] constitutives d'obturateurs ultrarapides (figure 1).

Les précurseurs polymères de céramiques « non oxydes »

Si l'alumine est certainement l'oxyde le plus utilisé sous forme de céramique technique, le carbure de silicium est son pendant non oxyde de par sa haute réfractarité, sa remarquable conductivité électrique, sa très forte conduction thermique et sa haute dureté. Son frittage est par contre difficile et nécessite, comme pour la plupart des céramiques non oxydes, l'utilisation de phases secondaires pour contrôler/activer les réactions aux joints de grain. Cette difficulté de réaction a pour contrepartie une très bonne résistance chimique et à l'oxydation, la couche de silice de surface étant passive. Sa relative faible densité en fait un matériau adapté aux applications aérospatiales et aéronautiques. Aussi dès les années 1960, des précurseurs organiques de type silanes liquides ou volatiles ont été étudiés par différents groupes pour préparer des couches, en particulier pour enrober des fibres de carbone et même réaliser des matrices de composite par infiltration/condensation à l'intérieur d'une préforme fibreuse [8]. Cependant, du fait du colmatage en surface, des

séquences d'usinage pour réaccéder à la porosité ouverte rendent cette filière longue et coûteuse. Aussi, dès les années 1980, Okamura et coll. ont développé des polysilanes ayant la « bonne » viscosité pour obtenir par filage et traitement thermique (1 000-1 300 °C) des fibres de SiC de faible diamètre, la dizaine de μm typiquement (plus une matière est rigide, plus fine doit être la fibre pour pouvoir la courber, la tisser sans la casser) – un diamètre de 5 à 15 μm est nécessaire pour les céramiques à haut module d'Young comme SiC ($E = 450 \text{ GPa}$, à comparer avec les valeurs du diamant (1 000 GPa), des fibres de carbone (400-650 GPa), de l'alumine (400 GPa), de l'acier (200 GPa), des verres (70 GPa) et des polymères (2-30 GPa) –, mais aussi pour infiltrer des préformes poreuses. Il a été démontré que les polymères de poids moléculaire moyen étaient les mieux appropriés. Ces polymères sont linéaires avec une chaîne Si-C-Si qu'il convient de réticuler tridimensionnellement. Plusieurs solutions ont été tentées : création de pont O-Si-O par oxydation contrôlée, irradiation gamma pour former des ponts C-Si-C, addition de Ti, Al, Zr pour former des ponts oxyde ou carbure. Le contrôle de la stœchiométrie est le point clé : la présence de traces de silicium est à proscrire (« faible » température de fusion, oxydation facile) et donc ces matériaux sont excédentaires en carbone, la stœchiométrie 1:1 étant quasiment obtenue pour les dernières générations de fibres utilisées comme renfort de composites à matrice oxyde ou SiC ou comme matrice de composite.

Les polysilazanes ($[R_2SiNH]$, $[RSi(NH)_{1,5}]$ et/ou $[R_3Si(NH)_{1/2}]$, R étant un branchement de type varié (aryle, vinyle, méthyle, etc.) [8], permettent l'obtention de fibres, de couches, ou par infiltration de préformes fibreuses de composites, de nitrures et d'oxy-nitrures de silicium utilisés dans la réalisation de microactuateurs, d'éléments de réacteurs chimiques ou de valves.

Les efforts des céramistes des années 1960 et 70 pour appliquer aux céramiques avancées les avantages de la technologie traditionnelle sol-gel (passage d'un liquide homogène à un solide homogène, frittage basse température, microstructure submicronique...) aux compositions non silicatées demandées par le développement des céramiques à hautes propriétés électriques, électroniques et/ou thermomécaniques ont conduit à de nombreuses innovations telles que le développement de matériaux piézoélectriques indispensables aussi bien pour l'automobile (injection), les téléphones (son), l'échographie, les déplacements de précision (AFM, imageries), etc. Un autre avantage de ces procédés est d'obtenir des matériaux nanocristallins combinant en quelque sorte l'homogénéité des matériaux amorphes (recherche pour les applications (thermo)mécaniques) et la plus forte densité en liaisons fortes des phases cristallines.

- [1] Colombari P., Gel technology in ceramics, glass-ceramics and ceramic composites, *Ceramics Int.*, **1989**, 15, p. 23.
- [2] *Chemical Processing of Ceramics*, 2nd ed., B. Lee, S. Komarneni (eds), CRC/Taylor & Francis, **2005**.
- [3] Snow G.S., Fabrication of transparent electronic PLZT ceramics by atmosphere sintering, *J. Am. Ceram. Soc.*, **1973**, 56, p. 91 ; Colombari P., Frittage de céramiques transparentes PLZT, *L'Industrie Céramique*, **1976**, 697, p. 531.
- [4] Bradley D.C., Mehrapotra R.C., Gaur D.P., *Metal Alkoxides*, Academic Press, **1978**.
- [5] Okamura H., Bowen H.K., Preparation of alkoxides for the synthesis of ceramics, *Ceramics Int.*, **1986**, 12, p. 161.
- [6] Pierre A.C., *Introduction to Sol-Gel Processing*, Springer, **1998** ; *Sol-Gel Processing for Conventional & Alternative Energy*, M. Aparicio, A. Jitianu, L.C. Klein (eds), Springer Science/Business Media, **2012**.
- [7] Barringer E.A., Bowen H.K., Formation, packing and sintering of monodisperse TiO_2 powders, *J. Am. Ceram. Soc.*, **1982**, 65, p. C199.
- [8] Colombari P., in *Silicon Carbide – Materials, Processing and Applications in Electronic Devices*, M. Mukherjee (ed.), InTech, Rijeka, **2011**.

Cette fiche a été préparée par **Philippe Colombari**, directeur de recherche au CNRS (pôle 2 Nanomatériaux, UMR 8233 MORARIS, philippe.colombari@upmc.fr).

Les fiches « Un point sur » sont coordonnées par un comité éditorial mené par Jean-Pierre Foulon et Séverine Bléneau-Serdel (contact : bléneau@lactualtechimique.org). Elles sont regroupées et téléchargeables librement sur www.lactualtechimique.org/spip.php?rubrique11.

Abonnement 2016 (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"/> 105 €	<input type="checkbox"/> 110 €	<input type="checkbox"/> 55 €		(pour les lycées et les institutions)	
Lycées	<input type="checkbox"/> 120 €	<input type="checkbox"/> 140 €	<input type="checkbox"/> 70 €		<input type="checkbox"/> 420 €	
Institutions	<input type="checkbox"/> 205 €	<input type="checkbox"/> 220 €	<input type="checkbox"/> 155 €		<input type="checkbox"/> 420 €	

* 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

Tous les articles et numéros de plus de cinq ans sont téléchargeables gratuitement

Numéros spéciaux également disponibles en **version électronique** sur le site à un tarif préférentiel

- L'électrochimie au cœur des sciences (oct.-nov. 2015) : 32 €
- La chimie fête la lumière (juin-juil. 2015) : 32 €
- Chimie organique et moléculaire : les défis du XXI^e siècle (fév.-mars 2015) : 32 €
- La chimie et la ville de demain. Colloque Recherche de la Fédération Gay-Lussac (nov. 2014) : 24 €
- 2014, Année internationale de la cristallographie (juil.-août-sept.-oct. 2014) : 32 €
- 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) : 15 €
- Chimie et société : construire un dialogue (sept. 2011) : 15 €
- La chimie prépare notre avenir, vol. 2 (juin-juil.-août 2011) : 15 €
- La chimie prépare notre avenir, vol. 1 (janv.-fév. 2011) : 15 €
- 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 €

Retrouvez tous les numéros thématiques précédents sur www.lactualitechimique.org

Achat à l'unité hors numéros spéciaux

11 € pour les numéros avant 2013 ; 20 € à partir de 2013
(également disponibles en version électronique sur le site)

Numéro(s) souhaité(s) :

Collection "Chimie et...", co-éditée et diffusée par EDP Sciences

Dernières parutions :

- Chimie et expertise : santé et environnement (janv. 2016) : 25 €
- Chimie et cerveau (sept. 2015) : 25 €
- Chimie et expertise : sécurité des biens et des personnes (janv. 2015) : 25 €
- Chimie et technologies de l'information (sept. 2014) : 25 €
- 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 €

À commander
chez votre libraire
ou directement sur
laboutique.edpsciences.fr



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.
abonnement@lactualitechimique.org - www.lactualitechimique.org



Société Chimique de France
Le réseau des chimistes

Une association fondée en 1857 par des chimistes pour les chimistes !

INFORMER



Revue mensuelle et réseaux de publication



Les actualités de la chimie sur le site et les réseaux sociaux



METTRE EN RESEAU



Une communauté de chimistes ouverte sur le monde



© Aldo Soares -
Nicolas Guerbe

SOUTENIR



Réseau Jeunes
Aide à l'emploi
Manifestations scientifiques



VALORISER



Prix et distinctions régionaux, nationaux et binationaux

