

Bulletin de l'Association des anciens et des amis du CNRS n°72

Auteur(s) : CNRS

Les folios

En passant la souris sur une vignette, le titre de l'image apparaît.

92 Fichier(s)

Les relations du document

Ce document n'a pas de relation indiquée avec un autre document du projet.□

Citer cette page

CNRS, Bulletin de l'Association des anciens et des amis du CNRS n°72, 2018-printemps

Valérie Burgos, Comité pour l'histoire du CNRS & Projet EMAN (UMR Thalim, CNRS-Sorbonne Nouvelle-ENS)

Consulté le 13/01/2026 sur la plate-forme EMAN :

<https://eman-archives.org/ComiteHistoireCNRS/items/show/228>

Copier

Présentation

Date(s)2018-printemps

Genrepériodique

Mentions légalesFiche : Comité pour l'histoire du CNRS ; projet EMAN Thalim (CNRS-ENS-Sorbonne nouvelle). Licence Creative Commons Attribution – Partage à l'Identique 3.0 (CC BY-SA 3.0 FR).

Editeur de la ficheValérie Burgos, Comité pour l'histoire du CNRS & Projet EMAN (UMR Thalim, CNRS-Sorbonne Nouvelle-ENS)

Information générales

LangueFrançais
CollationA4

Informations éditoriales

N° ISSN1268-1709

Description & Analyse

Nombre de pages92

Notice créée par [Valérie Burgos](#) Notice créée le 05/10/2023 Dernière modification le 17/11/2023

A3 Magazine

Rayonnement du CNRS



De la chimie...

... et des chimistes

*Les femmes, les hommes, la vie,
les laboratoires, l'art, l'énergie...*

*Languedoc-Roussillon,
de la recherche aux applications
pharmaceutiques*

*Passions d'adhérents :
un homme de cœur*

« Petit déjeuner » avec l'A3 !



Magazine des Anciens et Amis du CNRS

N° 72 - PRINTEMPS-ÉTÉ - 2018

A3 Magazine - Rayonnement du CNRS - Prix : 8 €

Directeur de la publication : Liliane Gorrichon

Comité de rédaction

Françoise Balesté, Fabrice Bonardi, Martine Carrey, Jacques Coudere, Annie Demichel, Bernard Dupuis, Alain Foucault, Paul Gille, Christian Girault, Lysiane Huvé-Texier, Marie-Françoise Lafon, Edmond Liste, Véronique Maehelon, Claudius Martray, Michel Petit et Dominique Simon.

A3 Magazine - ISSN 1953-6542

Rédacteur en chef : Fabrice Bonardi

Éditeur : Paul Gille

Maquette, mise en page et numérisation : Bernard Dupuis

Secrétaire de rédaction : Annie Demichel

Remerciements aux autres contributeurs de ce numéro 72

Cécile Asselineau-Collin, Dominique Baillyaud, Abdelmalek Benzakni, Jean-Claude Bernier, Christiane Bourguignon, André Brack, Gilberte Chambaud, Jean-Patrick Comenard, Michèle Derrand, Audrey Dussutour, Sophie Félix, Michèle Ferrer, Françoise Guéritte, Lysiane Huvé-Texier, Rose-Agnès Jacquery, Eva Jakob Toth, Jacques Jamin, Jean-Noël Jeanneney, Martin Karplus, Ellen Keres, Muriel Le Roux, Jean-Claude Lehmann, Jean-Marie Lehn, Jacques Maddaluno, Patrick Maestro, Dominique Massiot, Patrick Midour, Claudine Neisson Vernant, Hélène Olivier-Boutigou, Nicole Pailhou, Annick Périllat, André Perrin, Françoise Pénat, Serge Rambal, Amélie Ranguin, Régis Réau, Jean-Pierre Sauvage, Alfred Schwartz, Yvan Ségué, Guy Vasseur, Philippe Walter, Samer Wasan, Stéphanie Younés et Pascale Zanéboni.

Comment recevoir le Magazine

A3 Magazine est destiné aux adhérents de l'A3.

Les modalités de l'adhésion sont disponibles sur le site internet de l'association

<https://www.a3cnrs.org/membres/inscription>

Cliquer en bas, à gauche de la page sur l'onglet :

Formulaire d'adhésion

Vous devrez y renseigner :

- Vos coordonnées personnelles
- La Région de votre résidence mais aussi les autres régions dont les activités vous intéressent
- Votre choix pour les activités qui vous intéressent
- Vos coordonnées professionnelles

Vous pouvez régler votre adhésion en ligne sur ce même site.

Il reste possible de régler :

- soit par chèque à l'ordre de « Rayonnement du CNRS » à l'adresse suivante :

Association A3 CNRS - Trésorier - 1, place Aristide Briand 92190 MEUDON

- soit par virement sur le compte ouvert à la SBE au nom de « Rayonnement du CNRS » - code IBAN : FR76 1767 0004 3200 0440 6656 986

Si vous préférez ce mode de paiement, merci de ne pas oublier d'indiquer votre nom et l'objet de votre virement sur le titre de paiement.



*Credit photo couverture : Pervenche de Madagascar, utilisés par Pierre Potier pour le développement de la Nevelbine®; médicament anticancéreux.
© Photothèque CNRS - Photo : Laurence Médard*

Impression : Clumic Art graphique - 70bis, rue de Romainville - 75019 Paris

A3 Magazine n°72 / PRINTEMPS - ETÉ 2018

L'éditorial de la Présidente Le mot de la rédaction	3	Les femmes, les hommes, les laboratoires	44
Dossier : Aspects du monde de la chimie	4	Collaboration Industrie - Monde académique : ensemble pour innover / Patrick Maestro / L'exemple de Solvay et du CNRS, les laboratoires mixtes et la médaille de l'innovation	
Introduction : Un magazine qui essaie la chimie / Gilberte Chambaud / La chimie française, une organisation unique Comité national de la chimie, Union des industries chimiques, Institut de chimie du CNRS, Société Chimique de France, Fédération Gay-Lussac, Fondation de la Maison de la Chimie		Un parcours de chimiste : Régis Réau De la recherche fondamentale au CNRS à la R&D d'Air Liquide	46
Les prochains grands événements de la chimie Année académique de la chimie, prix Potier des lycéens, Olympiades internationales, Année internationale du tableau périodique, IUPAC	6	Où est la place des femmes scientifiques en France ? / Rose-Agnès Jacquemay & Gilberte Chambaud / Un long et patient chemin, plein d'espoir, dans une dynamique plutôt favorable	48
Entretien avec Jacques Maddaluno, directeur de l'INC du CNRS / Gilberte Chambaud, Véronique Machelon, Jacques Couterec & Paul Gilie / Sa vision de la discipline au sein de l'Institut	8	Chimiste ? Non, sûrement pas ! / Françoise Péret / Comment vient la décision de devenir chimiste ?	51
La France et les prix Nobel de chimie / Liliane Gorrion, Hélène Olivier-Bourbigou, Gilberte Chambaud & Jacques Couterec / Des grands scientifiques : Jean-Marie Lehn, Yves Chauvin, Martin Karplus, Jean-Pierre Sauvage	14	Les 50 ans du Centre de biophysique moléculaire / Patrick Mollon & Eva Jakob Toth / Du décryptage des phénomènes biologiques aux biotechnologies et à la médecine	52
Pierre Potier, Homme de Science / Françoise Guéritte & Muriel Le Roux / Un pavant chaleureux et attentionné, déterminé, haut en couleur et direct dans ses propos	26	Le laboratoire de chimie-pharmacologie à Paris pendant la guerre / Cécile Asselineau-Colin / Un document historique : les bonheurs, les drames et les réussites d'une équipe de recherche	57
Chimie et transition énergétique / Jean-Claude Bernier / Les nécessités de recherche et innovation pour les transports, le chauffage, l'éclairage, l'industrie...	30	Des chimistes dans tous leurs états	61
Et la matière se met à vivre... / André Brack / De l'alchimie aux molécules prébiotiques dans l'espace	34	• Deux vocations, un nom : Alexandre Borodine, / Françoise Péret / Chimiste et musicien	
L'art-chimie / Philippe Walter / Expliquer les pratiques artistiques anciennes par la chimie moderne et une analyse non invasive	36	• Un autre visage des chimistes : Lacroix, Chevreul, Dumas, Berthelot / Marie-Françoise Lafon /	62
La Résonance magnétique nucléaire : un outil encore riche de promesses / Dominique Masciot / Une liaison radio entre l'expérimentateur et le monde des électrons et des noyaux	40	• De Marcelin Berthelot à Pierre Potier, la chimie et la paix en l'an 2000 / Paul Gilie /	64
		• Henri Sainte-Claire Deville, entre ENS, Sorbonne et SCI / Gilberte Chambaud / Le bicentenaire de la naissance du chimiste de l'aluminium et de l'industrie associée	65

Vie scientifique et culturelle

Le site dédié à Hubert Curien



/ Jean-Claude Lehmann /

Maintenir le souvenir de ce serviteur exemplaire de la science et de la nation

Le mystère et l'humour de Stephen Hawking



/ Jean-Patrick Connerade /

Une énergie miraculeuse pour chercher sur la nature du temps et une théorie complète de l'univers

Passion(s) d'adhérents



Le chant choral à la portée de tous

/ Alfred Schwartz /

Le cursus d'un choriste lambda



Pour la science, Anne-Lan ne pense pas qu'à soier

/ Fabrice Bonardi /

Kiosque : lu, vu, entendu

Le 1er roman de la Montagne Noire, Marlys 2 : les débuts,



de J.-M. Fabre, C. Domergue, F. Dabot

/ Liliane Garichon /

25 années de recherche pluridisciplinaire accessible à tous

À la découverte des sentiers de la Géologie, d'Alain Foucault



Plus de 100 sites naturels à découvrir, des roches, des minéraux, des fossiles

La chimie chantable & facile, en faveur des dames, de Marie Mourdic



Une femme et les premiers pas de la chimie en tant que discipline scientifique

Le fixe et le volatil, Chimie et alchimie



de Paracelse à Lavoisier, de Didier Kahn

/ Jacques Jarin /

Un long processus qui aboutira, un siècle et demi plus tard, à l'émergence de la chimie

Galilée dans l'histoire, science, religion, politique, de Jean-Paul Walch



Les idées nouvelles sur la Terre et l'Univers et les premières observations astronomiques

Critique de l'histoire des sciences, de Michel Blay



La science n'est pas universelle, détachée de tout substrat idéologique et culturel

Cahiers de l'Association

72

- Les Petits déjeuners de la science et de l'innovation / Fabrice Bonardi /
- Nos nouveaux adhérents
- Un nouveau représentant régional en Bretagne et Pays de la Loire

Vie des Régions

74

Ile de France / Véronique Machelon /

- Programme des activités proposées au 2^e semestre 2018
 - Excursion à Tours, aspects inédits de la cathédrale Saint-Gatien
 - Visites à Paris : Caravage, Miro, Notre-Dame, Kyoto, Picasso...
 - Conférences à Auteuil : P. Gueniffey, J.-L. Escudier, Y. Dubreuil
- Le plancher de Joachim : L'histoire retrouvée d'un village français
 - Jacques-Olivier Soudan /
 - Visite du Musée des moulages
 - Visite de l'Hôtel de la Monnaie

Languedoc-Roussillon

76



- Le long chemin, de la recherche aux applications pharmaceutiques / Serge Rambal /
- Le Centre spatial universitaire de l'université de Montpellier / Guy Valseur /

Midi-Pyrénées

79

- Sorties dans le Tarn : une usine de biogaz, le musée du cuir et la vieille ville de Graulhet / Nicole Pallous, Michèle Fetter /
- Conférence d'A. Benzécri et S. Wassin : Utilisations de l'outil informatique / Yvan Séguin /
- Conférence : Tout ce que vous avez voulu savoir sur le Blob / Audrey Dusoutour /

Alpes-Dauphiné / Christiane Bourguignon /

84



- Visite du laboratoire souterrain de Modane
- Visite du Lautaret et de la Galerie de l'Ape
- Découverte historique-volcanique du Cantal

Corse

85



- L'enquête corse
- Fabrice Bonardi /

Voyages

85

- Le Rajasthan et ses mille et une couleurs, mars 2018 / Ellen Kerc /
- A la découverte de Chypre, voyage inter-génération, automne 2018
- Projets 2019 des voyages A3 / Annick Périllet /

Avis de décès

88

L'éditorial de la Présidente

Chers collègues et amis,

C'est avec grand plaisir que je vous convie à découvrir ce nouveau numéro de notre magazine, principalement dédié au monde de la chimie. Sa conception et sa réalisation n'auraient pas été possibles sans l'investissement et le travail acharné de notre équipe de rédaction et ceux de Gilberte Chambaud, ancienne directrice de l'Institut de chimie (INC du CNRS), ex-rédactrice en chef du journal *L'Actualité Chimique* et actuelle présidente de la Société chimique de France (SCF). Mme Chambaud a assuré un triple rôle de coordinateur et référent scientifique, de chef de projet et de rédacteur. La présentation qu'elle nous donne (en p. 4) des « Aspects du monde de la chimie » explicite mieux que je ne saurais le faire, l'esprit qui a conduit à la préparation de ce numéro. Notre Association la remercie vivement pour son soutien et lui exprime sa profonde reconnaissance.

Nous adressons aussi nos chaleureux remerciements à tous ceux qui, malgré des programmes chargés, ont contribué à cette publication, notamment MM. Jean-Marie Lehn et Jean-Pierre Sauvage. Je n'aurais garde d'oublier : - Mme Hélène Olivier-Bourbigou qui, dans la filiation d'Yves Chauvin, nous a fait partager le brillant passé et le futur d'un laboratoire qui

concilie recherche et développement industriel ; - M. Jacques Maddaluno, actuel directeur de l'INC, qui a joué le jeu en recevant notre équipe, tout autant que plusieurs de ses prédécesseurs ; enfin - tous les contributeurs qui vous permettront d'apprécier quelques facettes et la créativité de ce domaine scientifique.

On nous dira sans doute : vous avez donné une belle image et évité les sujets qui fâchent ! Certes, il est des molécules toxiques qui ont donné de remarquables anticancéreux et des molécules conceptuellement superbes qui peuvent avoir des conséquences ravageuses. Il ont fallu un autre numéro pour lancer cette discussion ! Je finis en citant un autre commentaire, celui du Professeur Raphaël, invité à commémorer le centenaire de l'université de Genève, qui avait ainsi commencé son discours, lisant en substance - et en anglais - « *la chimie est un art et une science, j'en ai vu des idées géniales, des réflexions brillantes, des théories exceptionnelles, longuement élaborées et finalement ruinées par un petit fait expérimental minable...* ». Du recul et de l'humilité au quotidien, mais ici nous n'avons pas résisté au plaisir de vous faire partager notre passion et quelques réussites.

Liliane Garrichon

Le mot de la rédaction

La rédaction est heureuse de vous présenter dans ce numéro un dossier consacré à la chimie, destiné aussi bien aux spécialistes qu'aux curieux, incluant également des aspects transverses, voire marginaux ou humoristiques. Ce dossier, élaboré avec le concours de nombreux adhérents proches du monde de la chimie, propose ainsi quelques aspects de cette grande discipline, sans prétendre à l'exhaustivité : dans l'abondance de la thématique, il était bien sûr impossible d'aborder l'ensemble des sujets et d'ouvrir les colonnes du magazine à toutes les personnalités marquantes de la discipline. Afin d'atténuer d'éventuels regrets, de futurs numéros s'ouvriront volontiers à l'agrobiologie, à la pollution, à l'aéronautique et l'espace, ou encore au glyphosate ou aux phytolites ; à ce propos, la rédaction rappelle qu'elle est ouverte à une rubrique « controverse », au sein de laquelle ces sujets pourraient, par exemple, être abordés.

Vous retrouverez également dans ce numéro les rubriques habituelles, au sein desquelles on remarquera un nouveau rendez-vous intitulé « passion(s) d'adhérents » : après Claude Thomasset et ses peintures abstraites, vous pourrez ainsi découvrir en Alfred Schwartz un authentique homme de cœur ! Une nouvelle rubrique dans laquelle nous espérons retrouver par la suite nombre d'entre vous...

L'équipe éditoriale espère que vous trouverez autant d'intérêt à la lecture de ce numéro que nous avons éprouvé de plaisir à le préparer. S'il a été fait avec sérieux, il n'est certainement pas parfait, car c'est un travail de bénévoles, donc d'amateurs. Mais comme l'énonce avec humour un auteur dont la notoriété nous échappe : « *N'oubliez jamais que ce sont des professionnels qui ont construit le Titanic et des amateurs l'Arche de Noé* ».

Fabrice Borodt, Annie Demichel et Paul Gille

Erratum

M. Bernard Esambert, auteur de l'article « L'évolution de la France depuis un demi-siècle, un cristal et des perspectives » dans *A3 Magazine* n° 71 (automne-hiver 2017-18) nous prie d'introduire la rectification suivante, page 30, 5^e alinéa à gauche :

« C'est Georges Pompidou qui a dévalué le franc en 1969 et non Maurice Coum de Murville en 1968 ».

Aspects du monde de la chimie

Un magazine qui exalte la chimie

Une grande partie de ce numéro du Magazine de l'Association des Anciens et Amis du CNRS (AA) est dédiée à la chimie et nous avons sélectionné pour vous un large éventail de sujets, évidemment non exhaustifs mais qui apportent des témoignages et qui visent à donner une image actuelle de la chimie en France. Ce magazine a un lectorat très divers et c'est pour lui et également pour les institutions qui soutiennent l'Association, en particulier le CNRS, que nous avons conçu ce numéro spécial. Ce magazine n'est pas une revue scientifique et les spécialistes et chroniqueurs auxquels nous avons fait appel ont tous essayé de se prêter à l'exercice de la vulgarisation pour que la lecture vous en soit facile et agréable. Ce sera à vous de juger. Ce qui a été important dans la constitution de ce numéro était de construire un ensemble cohérent et que le lecteur y trouve non seulement une information mais aussi qu'il soit surpris par la diversité que propose la chimie.

En préambule, vous pourrez trouver une description des diverses composantes de la chimie française et comment elles sont structurées et fédérées depuis plusieurs années. Vous pourrez faire aussi plus ample connaissance avec les scientifiques qui portent haut la renommée de la Chimie française : évidemment nos prix Nobel, Jean-Marie Lehn, Yves Chauvin, Martin Karplus (scientifique international mais fortement ancré en France à Strasbourg depuis de nombreuses années) et plus récemment Jean-Pierre Sauvage. Nous souhaitons également mentionner deux médaillés d'Or du CNRS, Pierre Poëter, l'inventeur de la Navelbine® et du Taxotere®, médicaments mondialement utilisés dans le traitement du cancer qui sera évoqué dans ce numéro, et Gérard Férey, reconnu pour la construction de structures moléculaires remarquables, les *Metal-Organic Frameworks* (MOFs) à qui un hommage a été rendu à l'automne dernier. Même si certains individus hors du commun sont mis en lumière, la science avance grâce au travail de tous, chercheurs, enseignants-chercheurs, ingénieurs, techniciens, doctorants, pourquoi pas futurs prix Nobel. Ce sont ces avancées que nous avons souhaité vous présenter avec quelques morceaux choisis rassemblés dans un dossier scientifique sur la transition énergétique, la chimie pharmaceutique, la chimie dans l'Art, la chimie du pétrole, la chimie et l'industrie, la RMN, entre autres. On y trouvera aussi des parcours et vocations de chimistes entre université, administration de la recherche et industrie. Vous serez surpris par quelques chimistes, connus pour d'autres talents. Une évocation de la place des femmes en chimie et de façon plus large en science vous sera également proposée.

Jacques Médard, directeur de l'Institut de chimie du CNRS, s'est prêté à l'exercice de l'entretien et nous transmet ici les grandes lignes de la politique scientifique nationale de la chimie telle qu'elle est perçue, soutenue et guidée par le CNRS en liaison avec les politiques de site construites par les institutions au niveau régional.

Enfin soyez prêts à entendre parler de la chimie car de nombreux événements vont marquer la discipline en France dans les deux années à venir. En bref, voici un Magazine qui exalte la chimie.

Gilberte Chambeud, Présidente de la Société chimique de France

La chimie française, une organisation unique

Le Comité national de la chimie (CNC)

Au niveau national, les différentes composantes de la Chimie française se sont organisées autour du Comité national de la chimie, le CNC, afin de coordonner leurs actions. Les principales entités de la chimie sont présentées dans les encadrés ci-contre.

Le CNC a été créé en 1953 sous les auspices de l'Académie des sciences, pour représenter la chimie française dans les instances internationales ; c'est ainsi qu'il fait partie du Comité français des unions scientifiques internationales (Cofusi) et qu'il est l'interlocuteur national de l'Union internationale de chimie pure et appliquée (Iupac). Il est aussi le correspondant privilégié des organismes d'État (Ministères, CNRS, etc.) pour traiter toutes questions relatives à la chimie. Son action fédérative nationale s'est beaucoup développée lors de l'année internationale de la chimie en 2011.

L'Union des industries chimiques (UIC)



L'UIC est l'organisation professionnelle qui rassemble les entreprises de la chimie en France. Porte-parole du secteur chimique auprès des pouvoirs publics nationaux, européens et des instances internationales, son rôle est de mieux faire connaître la chimie et ses applications et mettre en valeur le rôle éminent qu'elle joue au sein de la société. Elle est présente en régions, à travers 14 entités réparties sur l'ensemble du territoire.

L'industrie de la chimie en France se situe en 2016 au 2^e rang européen des pays producteurs en chimie et au 7^e rang mondial. Avec un chiffre d'affaires de 71,2 milliards d'euros en 2016 et 165 000 salariés, elle représente l'un des tout premiers secteurs industriels en France.

L'Institut de chimie du CNRS (INC)



En France et à l'étranger, l'Institut de chimie du CNRS impulse et coordonne les recherches de ses laboratoires avec ses partenaires académiques et industriels autour des travaux allant de l'atome au matériau. Les travaux de ses chimistes conduisent notamment à des prix Nobel en recherche fondamentale ou sont couronnés par d'autres distinctions dans des champs plus appliqués.

L'INC gère 133 laboratoires qui fédèrent environ 12 000 personnes employées par le CNRS et ses partenaires : 4 840 chercheurs et enseignants-chercheurs, 2 952 ingénieurs et techniciens, 3 954 doctorants et post-doctorants, et de nombreux administratifs.

Avec de nombreux brevets et 160 start-up, l'INC s'illustre régulièrement dans la valorisation et l'innovation au travers de nouveaux produits et procédés. Les résultats impactent directement la société et font l'objet d'applications concrètes dans de multiples secteurs : transports, BTP, électronique, pharmacie, cosmétique, etc.
<http://www.cnrs.fr/inc/>

La Société Chimique de France (SCF)



Société Chimique de France

C'est une association (Loi 1901) à but non lucratif, reconnue d'utilité publique, dont l'objectif est la promotion de la chimie dans ses aspects scientifiques, académiques et appliqués, éducatifs et sociétaux.

Créée en 1857, la Société Chimique de France a pour vocation de rassembler toutes les personnes physiques et morales quels que soient leurs secteurs d'activité (organismes publics ou privés) concernées par les sciences de la chimie et leurs applications, de représenter les intérêts des chimistes et de promouvoir le rôle des sciences chimiques.

La SCF rassemble une communauté d'environ 5 000 chimistes, dont un cœur d'environ 3 000 membres, elle est structurée en 56 entités : 9 divisions scientifiques et 15 groupes thématiques, 15 sections régionales réparties sur tout le territoire et leurs clubs de jeunes sociétaires fédérés dans le réseau des jeunes chimistes SCF, JU-SCF.

<http://www.societechimiquedefrance.fr/>

La Fédération Gay-Lussac (FGL)



Créée en 1994, c'est le plus ancien réseau thématique dans le monde des écoles d'ingénieurs centrées sur la chimie. La Fédération Gay-Lussac c'est 20 écoles et 3 associations professionnelles, 6 000 élèves-ingénieurs en formation, 1 600 diplômés par an, 120 laboratoires de recherche, 1 000 doctorants, 300 thèses soutenues par an, 30 000 heures de formation continue.

La FGL offre une meilleure visibilité et permet de mener des actions concrètes qui apportent un vrai plus à la formation des ingénieurs, en particulier pour :

- Dispenser une formation scientifique, technologique, humaine et managériale innovante et adaptée au monde industriel
- Sensibiliser les étudiants à la culture de l'entreprise et développer leur sens de l'autonomie, de l'initiative et des responsabilités
- Assurer une formation solide à la recherche dans des domaines d'excellence
- Offrir aux étudiants un large éventail de spécialisations grâce à un dispositif souple de mobilité inter-écoles
- Élargir l'horizon international des étudiants par la pratique des langues étrangères, des stages et des cursus de double diplôme dans le monde entier

Les classes préparatoires intégrées (CPI Gay-Lussac à Rennes, Lille, Pau, Strasbourg ou Clermont-Ferrand), ou le programme international Chem.1ST (CHEMistry International Studies), au niveau du BAC, sont spécifiquement construits pour préparer l'entrée, après 2 ans de classes prépas et sur contrôle continu, dans l'une des 20 écoles de la Fédération. Une réflexion permanente est menée sur la formation, les débouchés : des enquêtes sont réalisées pour suivre l'insertion des diplômés. Les relations étroites avec le monde économique permettent de proposer un enseignement scientifique et technique innovant.

La Fondation de la Maison de la Chimie



Fondation de la Maison de la Chimie

Elle a une double vocation, être à la fois un lieu d'accueil et un lieu de travail qui puisse :

- Être un centre de ralliement des chimistes de tous pays
- Réunir, en un faisceau compact, toutes les sociétés savantes et tous les organismes qui, dans le domaine de la chimie, se proposeraient un but de recherche, de documentation et d'expression
- Disposer de locaux réservés aux divers groupements nationaux et internationaux en particulier pour l'organisation de congrès
- Développer les relations entre savants, techniciens et industriels
- Contribuer à l'avancement de la science chimique dans toute l'étendue de son domaine et de ses applications et, en général, toutes opérations immobilières, mobilières et financières se rapportant directement à cet objet. Sa durée est illimitée et son siège est à Paris, au 28 rue Saint-Dominique.

Les prochains grands événements de la chimie en France

A partir de septembre 2018 et pendant toute l'année 2019, un grand nombre de manifestations nationales et internationales sont prévues en lien avec la chimie. Pour assurer la réussite de tous ces événements sur 2018-2019, l'ensemble de leurs partenaires a décidé de coordonner ses actions de communication afin d'établir un dialogue entre les forces vives de la chimie (enseignement, recherche et industrie) et le public.

2018 - 2019 : Année de la chimie, de l'école à l'université

L'année 2018-2019 a été désignée par le ministère de l'Éducation nationale et le ministère de l'Enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation comme l'Année de la chimie, de l'école à l'université. De l'école maternelle jusqu'aux formations post-baccalauréat des lycées (CPGE et STS) ainsi que dans les formations universitaires et les grandes écoles, l'ensemble des acteurs de la communauté éducative et scientifique est concerné. Cette action est coordonnée par Anne Szymczak, inspectrice générale de l'Éducation nationale.
<http://eduscol.education.fr/ict/23019/annee-de-la-chimie-2018-2019.html>

2019 : prix Potier des lycéens

A l'occasion de cette Année de la chimie, de l'école à l'université, un prix Pierre Potier des lycéens est créé cette année et il sera lancé à l'automne 2018. Dédié aux lycéens, ce prix s'inspire du prix Pierre Potier qui récompense chaque année les initiatives de l'industrie de la chimie en faveur du développement durable. Ouvert aux classes de seconde, de première et terminale des filières générales, technologiques et professionnelles, le prix Pierre Potier des lycéens a pour vocation de sensibiliser les lycéens aux enjeux de l'innovation industrielle dans le secteur de la chimie.

2019 : Olympiades internationales de chimie (IChO France 2019)

Les Olympiades internationales de chimie sont une compétition scientifique internationale de haut niveau destinée à un public scolaire et étudiant, typiquement des élèves de classes de terminale scientifique et de première année des classes préparatoires scientifiques. Elles sont organisées depuis 1968 et rassemblent des élèves de moins de 20 ans motivés par la chimie, provenant de 70 à 80 pays. La France y participe depuis 1981. Le ministre de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la recherche a fait part en décembre 2014 de son soutien à la candidature de la France pour l'organisation des 51^{es} Olympiades internationales de chimie en 2019 (IChO France 2019). Cette candidature a été retenue en 2015 et les Olympiades internationales de chimie seront donc organisées du 21 au 30 juillet 2019 à Paris sous les auspices de l'Inspection générale de l'Éducation nationale.



Signature de l'engagement de l'IChO au MEIESR. Les partenaires sont (de gauche à droite) : • SOF : G. Chémouil, • Fondation de la Mission de la Chimie, M. Dugert, • IChO : J. Pelin ; en présence de : D. Bourrisou (président du Conseil scientifique), A. Szymczak (inspectrice générale) et N. Marques.

2019 : Année internationale du tableau périodique

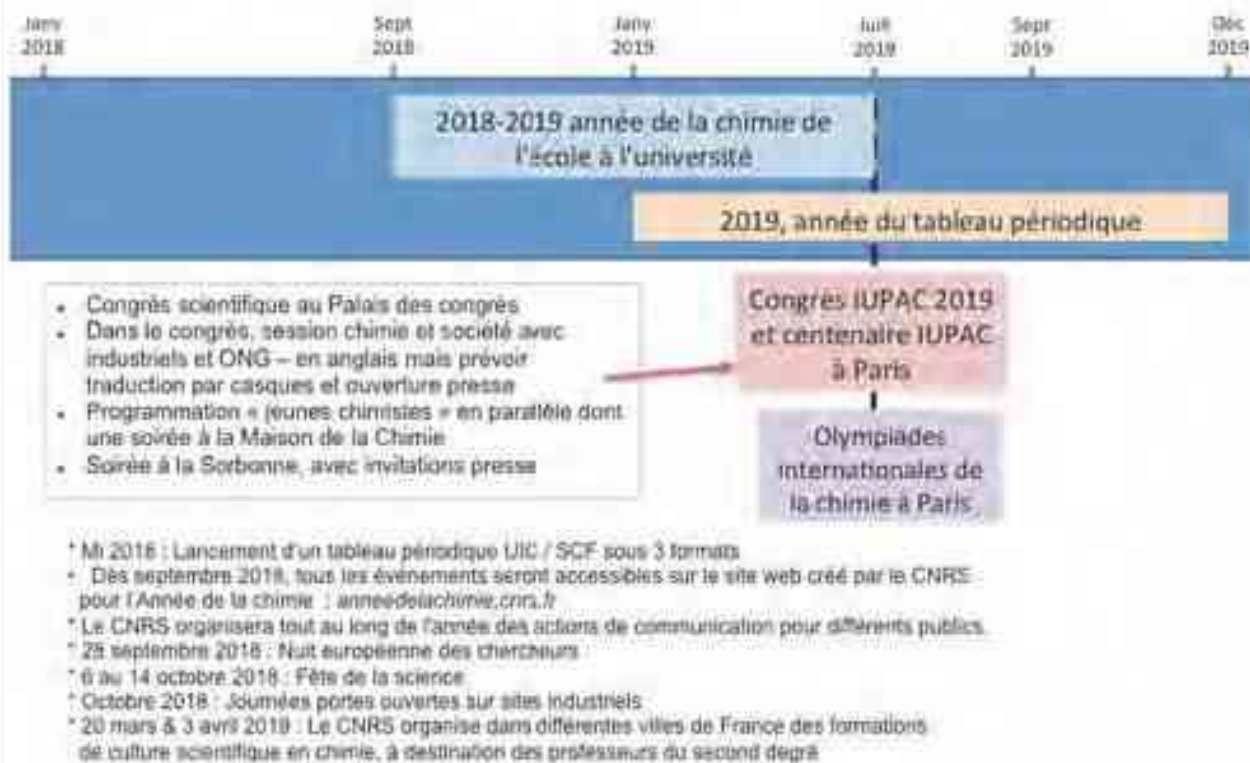
L'Assemblée générale des Nations unies a proclamé lors de sa 74^e séance plénière, le 20 décembre 2017, que 2019 serait l'Année internationale du tableau périodique des éléments, afin de sensibiliser l'opinion mondiale à l'importance des sciences fondamentales et de renforcer les connaissances et la recherche-développement dans ce domaine, l'accent étant mis sur l'amélioration des conditions de vie dans les pays en développement, et invite l'Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (Unesco), agissant en collaboration avec d'autres organismes compétents et dans la limite des ressources disponibles, à jouer le rôle de chef de file lors de cette Année internationale. Dans le cadre de cette Année, la SCF et l'UIC construisent un tableau périodique qui sera disponible sous différents formats papier et également en interactif.

IUPAC 2019

L'année 2019 célébrera le centenaire de l'Union internationale de chimie pure et appliquée (Iupac), créée à Paris en 1919. La France, représentée à l'Iupac par le ChC, a été choisie en 2013 pour organiser à la fois le 47^e Congrès mondial de la chimie et la célébration du Centenaire de l'Union, qui se tiendront à Paris du 7 au 12 juillet 2019 (www.iupac2019.org).

Ces événements auront lieu à Paris, au Palais des congrès, à la Maison de la chimie et aussi à la Sorbonne pour les actions ou cérémonies les plus officielles. Les trois grands thèmes qui constitueront l'ossature du Congrès IUPAC 2019 sont la Vie, l'Énergie et l'Environnement. Plus de 4 000 participants sont attendus pour célébrer ce centenaire.

La chimie mise en avant en 2018 et 2019





Jacques Maddaluno, directeur de l'Institut de chimie du CNRS (INC), est ingénieur de l'École nationale supérieure de chimie de Paris (ENSCP) et docteur en chimie organique de l'université Pierre et Marie Curie. Après des études postdoctorales à l'université de Stanford (États-Unis), il a poursuivi ses travaux au sein des universités de Rouen, Paris-Descartes et Pierre et Marie Curie. Ses recherches, qui ont donné lieu à plus de 150 articles, un brevet et plusieurs livres, portent principalement sur la chimie organique, la chimie organométallique et la chimie théorique. Parallèlement à ses travaux de directeur de recherche, Jacques Maddaluno a présidé la section 12 du Comité national de la recherche scientifique (architectures moléculaires : synthèses, mécanismes et propriétés). Il a rejoint l'INC comme directeur adjoint scientifique en 2011, avant d'en devenir le directeur en juin 2017.

L'Institut de chimie du CNRS (INC) soutient et coordonne les recherches des équipes et des laboratoires de chimie. Sa vocation est de promouvoir l'avancée des connaissances dans tous les domaines de la chimie, de la théorie à la synthèse, des questions fondamentales au développement de procédés, de l'échelle atomique aux matériaux. Notre Magazine « spécial chimie » n'a pas vocation à traiter de toute la chimie en France et dans le monde, mais à donner à notre lectorat très divers un large aperçu de l'évolution actuelle de la discipline, particulièrement au CNRS. Le 4 décembre 2017, Gilberte Chambaud, Véronique Michélon, Jacques Goudere et Paul Gille sont donc venus rencontrer la direction de l'INC pour obtenir cet éclairage.

Entretien avec Jacques Maddaluno,

Directeur de l'Institut de chimie du CNRS (INC)

Sa vision de la discipline au sein de l'Institut

Comment devient-on directeur de l'Institut de chimie du CNRS ? Pouvez-vous nous dévoiler ce que peut être la biographie (en partie) d'un chimiste contemporain ?

J. M. : Je suis un pur produit de l'école républicaine. J'ai été à l'école primaire, puis au collège et au lycée Henri Poincaré à Nancy. J'ai continué à l'université de Nancy (et suis entré sur titre à l'École nationale supérieure de chimie de Paris. Bertrand Castro, alors professeur à l'université - il est devenu plus tard directeur de la recherche chez Sanofi - m'a beaucoup aidé par ses conseils. C'était un pédagogue d'exception dont la rencontre a marqué ma carrière. Pour la petite histoire, mon entrée au CNRS a été à l'épave. J'ai passé le concours, j'ai été bien classé, mais finalement n'ai pas été recruté compte tenu du nombre de postes. Michel Fayard et Danièle Olivier (ancienne directrice de l'ENSCP, vice-présidente du Conseil d'administration de la Fondation de la Maison de la chimie, et membre éminent de l'AC) sont cependant restés en contact avec moi durant mon séjour aux États-Unis et m'ont incité à postuler une nouvelle fois. Et finalement, je suis rentré au CNRS.

Comment êtes-vous passé de chercheur, directeur de laboratoire, à l'administration de la recherche au CNRS ?

J. M. : Mon laboratoire était vraiment ma raison de vivre et l'administration de la recherche n'était pas alors ma ligne de mire. J'étais directeur de recherche dans l'unité COBRA à Rouen lorsque j'ai été contacté pour me présenter aux élections du Comité national de la recherche scientifique. Je n'en connaissais presque rien, mais j'ai accepté par curiosité et me suis retrouvé directement président de la section 12 (chimie organique) fin 2008.

C'est comme cela que l'aventure a commencé et elle a été formidable. J'ai découvert un travail d'équipe avec des collègues passionnés et le caractère déchantant de certains choix à faire, en particulier en matière de recrutement. Cela a aussi été l'occasion de travailler avec Gilberte Chambaud, alors directrice de l'Institut de chimie, et George Massiot, l'un de ses directeurs scientifiques adjoints. Pour ce qui est de mon arrivée à l'INC en 2011, je la dois à Régis Réau, qui allait succéder à Gilberte, et constituait alors sa future équipe. Il m'a proposé de le rejoindre et son charisme m'a convaincu.

Notre présidente, Liliane Gorrion, a été présidente de cette section.

J. M. : Tout à fait. Joël Moreau lui a succédé et j'ai succédé à Joël. Un peu plus tard, Régis Réau m'a proposé de « monter dans les étages ». Quand je suis devenu Directeur adjoint scientifique, je pouvais encore travailler un à deux jours par semaine dans mon laboratoire ce qui me permettait de rester en contact étroit avec mon équipe sur place à Rouen. Maintenant, je n'y vais plus qu'une ou deux fois par mois et je m'en attriste car il est difficile de maintenir une activité de recherche vraiment significative dans ces conditions.

C'est vrai que lorsqu'on s'éloigne de son laboratoire, il est difficile d'y retourner...

J. M. : Oui et en même temps c'est une force du CNRS d'avoir des directeurs d'instituts qui viennent directement des laboratoires, qui y ont passé du temps, et qui connaissent le quotidien des chercheurs. Il est essentiel de savoir de quoi l'on parle.

Vous êtes en fonction depuis mi-2017. Comment définiriez-vous la politique scientifique de l'Institut de chimie ?

J. M. : La politique de l'Institut de chimie du CNRS était depuis longtemps « bottom up », c'est-à-dire basée sur une veille pointue de ce qui émerge comme nouvelles voies de recherche dans nos laboratoires. Plus qu'une politique très-directive dans laquelle on inciterait nos laboratoires à aller dans telle ou telle direction, c'est cette veille et l'écoute qui orientent la direction scientifique de l'Institut pour aider à soutenir les projets les plus intéressants. Elle intègre bien sûr dans son pilotage la dimension de complémentarité entre des sites de recherche sur telle ou telle spécialité. Aujourd'hui, si le laboratoire reste le lanceur d'alerte sur une innovation, le mode de construction de la politique scientifique est en train d'évoluer suite aux conclusions du comité d'évaluation du CNRS de juillet 2016. Il est en effet ressorti de ces conclusions que les travaux de l'Institut de chimie sont très bien reconnus et qu'ils apportent une plus-value à la chimie française, mais qu'ils ne sont pas assez visibles via une politique scientifique affichant des priorités nationales. Dans cet accompagnement des laboratoires, je tiens à souligner le rôle essentiel des directeurs adjoints scientifiques et des chargés de mission. Ils échangent beaucoup et directement avec les directeurs d'unité. Ils portent à la direction la parole des unités.

Dans ce contexte, avec le départ d'Alain Fuchs et la nomination (depuis cette interview) d'Antoine Petit au poste de Président-directeur général du CNRS, il est important que la chimie réussisse à afficher une carte d'identité à jour. Que veut-on faire ? Qu'est-ce que la chimie en 2017-2018 et comment peut-on la mettre en avant au niveau national ?

Peut-on concilier l'aspect « bottom-up » et l'affichage de priorités scientifiques ?

J. M. : C'est effectivement la difficulté. Nous avons organisé plusieurs conseils de direction avec l'équipe des scientifiques de l'INC et un séminaire de réflexion avec tout l'Institut en septembre 2017 pour dégager des priorités. Trois voies ont ainsi pu être identifiées : • un soutien affirmé, mais modulé, aux recherches déjà engagées dans l'excellence selon les critères des instances d'évaluation nationales et internationales ; • un encouragement supplémentaire pour les « jeunes » permanents engageant des travaux de recherche en rupture, émergents et qui peinent à se faire reconnaître faute de rentrer dans les cadres « naturels » des appels d'offre ; • un soutien aux sous-disciplines menacées de disparaître du paysage parce qu'elles ne sont pas suffisamment inscrites dans la dynamique actuelle ou suffisamment interdisciplinaires comme la métallurgie, la thermodynamique, la chimie analytique, la méthodologie de synthèse... Je crois qu'il est de notre responsabilité en tant qu'organisme national de veiller à ce que ces domaines-là ne disparaissent pas.

Comment les recherches en chimie s'inscrivent-elles par rapport aux défis de société, par exemple concernant la transition énergétique ?

J. M. : Concernant les défis, vous avez sans doute entendu parler de l'appel d'offre « *Make our planet great again* » (MOPGA), en référence au slogan de campagne de Donald Trump, lancé au début de l'été par le président

Macron, aussitôt après que le président américain a annoncé que les Etats-Unis se retiraient du protocole de la COP21.

Emmanuel Macron a décidé que la France serait terre d'accueil pour les scientifiques qui ne trouvaient plus de financements pour leurs recherches sur les problèmes de réchauffement global de la planète, de transition énergétique, etc.

Aux deux volets initiaux « Système Terre » et « Changement climatique », le CNRS a proposé d'ajouter un troisième sur la transition énergétique et il a été entendu. La transition énergétique nous concerne directement en tant que chimistes. Cet appel a eu beaucoup de succès, plus de 250 chercheurs étrangers ont répondu. Après sélection, 90 ont été retenus dont 65 % étaient des chercheurs implantés aux Etats-Unis. C'est formidable que la France réussisse ainsi à attirer des chercheurs américains surtout avec des budgets plutôt modestes. C'est un très beau succès dans lequel la chimie prend sa part avec 4 lauréats.

Comment les lauréats de MOPGA sont-ils hébergés au sein des laboratoires ?

J. M. : Le montage doit prendre en compte le fait que l'Agence nationale de la recherche (ANR) ne finance que 50 % du coût du projet. Le candidat doit donc trouver sur place les 50 % restants. Quand ce sont des grandes universités qui ont des IDEX (initiatives d'excellence) et des programmes du même type, elles acceptent en général de financer les 50 % qui manquent, car cette opération permet d'accueillir des scientifiques brillants dans le cadre d'un programme présidentiel prestigieux. En revanche, pour des lauréats qui ont choisi des laboratoires de taille modeste dans des villes ou des sites de petite taille, c'est plus compliqué, car les sommes qu'il faut rassembler vont de 1 à 1,5 million d'euros mais c'est globalement une opération très positive avec des succès remarquables dans certaines régions.

Il y a combien de lauréats au total ?

J. M. : Au total, je crois qu'il y aura une trentaine de lauréats. En particulier il y en avait six qui ont été sélectionnés à Montpellier. Trouver six fois de quoi compléter la dotation ANR n'a pas été facile mais le Conseil régional s'est engagé avec eux. Cela rend la région Occitanie très visible pour son environnement, ce qui est bien sûr très positif.

Concernant les priorités, il y a les énergies renouvelables dont la photovoltaïque sur lequel l'Institut de chimie a une importante opération en cours autour du projet PVF (Institut du photovoltaïque francilien) en partenariat avec de grands industriels comme EDF et Total, qui sont les deux leaders industriels du secteur.

Le réseau hydrogène est aussi une de nos priorités car il y a là aussi de belles opportunités en termes de mobilité, notamment avec les moteurs pour véhicules à hydrogène. Les choses avancent, mais pas aussi vite que l'on voudrait car il y a des problèmes de stockage et de distribution de l'hydrogène, essentiellement. Vendre de tels véhicules ne serait probablement pas trop difficile (moyennant un prix de vente modéré) mais il faudrait que les infrastructures soient également opérationnelles. Construire un réseau

de stations-service, c'est également techniquement accessible mais cela coûte cher ! C'est donc un défi qui est plus politique que scientifique. Un certain nombre d'industriels semblent prêts à s'engager à condition qu'on leur garantisse que la politique va suivre. Nous en sommes donc encore au stade de l'étude...



À gauche, le professeur Jean-Marie Tarascon dans son laboratoire.
© Frédéric PLAS-UMR5620 CNRS

Le RS2E (Réseau de stockage électrochimique et de l'énergie) est une autre de nos grandes priorités, c'est un réseau qui a été lancé lorsque Valérie Pécresse était ministre de l'Enseignement supérieur et de la recherche. Les laboratoires et les chercheurs affiliés au RS2E font partie des leaders mondiaux dans le domaine, en particulier le professeur Jean-Marie Tarascon, à la tête de ce réseau. C'est une référence mondiale dans le domaine, avec des initiatives fortes, notamment pour l'accès très rapidement, on l'espère, aux premières batteries au sodium et non plus au lithium, ce qui aura beaucoup d'avantages techniques notamment en termes de performance. En outre, le sodium est beaucoup plus facile d'accès d'un point de vue géopolitique puisque le lithium, bien qu'abondant, est concentré dans quelques endroits du monde, dont certains pays arides, alors que le sodium est omniprésent sur la planète.

Concernant la santé, le volet chimie thérapeutique est aussi un axe fort de l'INC avec des initiatives intéressantes en nano-médecine, notamment dans le laboratoire d'Elies Fattal et Patrick Convent à Châtenay-Malabry. Nous pilotons également des réseaux déjà très bien constitués en imagerie médicale qui rapprochent des laboratoires présentant des spécificités en ingénierie avec des techniques d'imagerie mais aussi des spécificités en chimie avec les radionucléides, les agents de contraste, etc. notamment à Orléans dans le laboratoire d'Eni Jakab Toth, ou à Dijon chez Franck Denat...

Quels sont les moyens à votre disposition pour répondre à une politique « bottom up » ?

J. M. : La création de l'ANR en 2005 a changé profondément les modes de financement des laboratoires, y compris ceux associés au CNRS. Les équipes sont désormais en recherche constante de moyens pour structurer et fonctionner. Les crédits que nous allouons actuellement aux unités de

chimie, et qui sont dits « FEI » (Fonctionnement équipement investissement), ne représentent en effet plus que 10 à 15 % de leur besoin total annuel.

C'est surtout sur l'équipement qu'il y a eu des baisses de moyens...

J. M. : Tout à fait. L'INC peut aider ponctuellement ses laboratoires à effectuer des achats d'équipements mais seulement via des co-financements souvent modestes. Heureusement, les grands programmes issus des plans d'investissement d'avenir successifs, type EQUIPEX, LABEX ou IDEX, mais aussi les conseils régionaux, à travers par exemple les contrats de plan État-Région et les FEDER (Fonds européens de développement régional), apportent souvent un soutien financier important à ce type de projet.

Le CNRS n'est beaucoup impliqué dans l'accompagnement des sites universitaires qui ont pris leur autonomie. Est-ce que pour la chimie, on sent suffisamment de collaborations avec les sites pour monter des projets ?

J. M. : C'est une question de fond qui se pose le CNRS. Comment mettre en place une politique scientifique nationale dans le cadre d'un contexte qui est centré désormais sur des sites universitaires avec leur propre politique locale ? Comment le CNRS peut-il participer aux prises de décisions dans une vingtaine de sites où se multiplient les réunions dans lesquelles il faut prendre des initiatives, décider d'appels d'offre, etc. ? Comment peut-on être présent partout à la fois ? Cela pose une vraie question. Bien au-delà de la chimie, c'est un problème général de l'organisme. Garder une mission nationale, tout en étant en interaction avec des sites forts, est un défi inédit et le nouveau paysage de l'ESR (Enseignement supérieur et recherche) français dépendra de la réponse que l'on saura lui apporter.

La question se pose de façon particulièrement aiguë à la direction de la chimie car nous sommes implantés à peu près partout en France avec des niches scientifiques brillantes, parfois de petits laboratoires de très bonne qualité. Il n'y a donc aucune raison de ne pas travailler avec eux. Leur principal problème est qu'ils sont dans des sites qui n'ont pas été investis au sens national du terme. Le plus bel exemple est Rennes qui n'est ni IDEX, ni I-site, et c'est pourtant là que nous avons notre plus grosse UMR (Unité mixte de recherche). C'est une structure dont nous sommes très fiers mais qui ne bénéficiera pas des soutiens locaux auxquels elle aurait pu prétendre, du moins pas au même niveau puisqu'elle n'est pas dans un site labellisé. C'est typiquement le genre de problème qu'il va falloir résoudre. Les sites universitaires importants deviennent de plus en plus affirmatifs quant à leur politique scientifique ; ils veulent légitimement prendre leur destin en main.

La force du CNRS, ce sont les postes que nous attribuons aux laboratoires. Ce sont les chercheurs, les ingénieurs et les techniciens dont les contributions sont essentielles car ils consacrent 100 % de leur temps à la recherche. Nous pouvons décider, sur la base des demandes qui nous sont adressées, de mettre en place une offre de mobilité ou de création d'un poste IT sur un site donné. La politique du CNRS jusqu'à cette année a été de recruter chaque année 300 ingénieurs et techniciens et 300 chercheurs. Le potentiel humain est donc un élément clé de la discussion du CNRS avec les établissements partenaires dans les différents sites.

L'unité de Rennes compte combien de personnes ? Quelle est sa spécialité ?

J. M. : 400 personnes environ. Toute la chimie rennaise a été regroupée en une seule unité, à l'Institut de chimie de Rennes, en grande partie sur le campus de Beaulieu avec une antenne sur le campus de Villejean (campus santé). Les chercheurs excellent dans de nombreux domaines : En chimie organométallique, chimie des verres, chimie des matériaux, électrochimie, chimie théorique...



Croissance cristalline par électrocristallisation. Cette synthèse de cristaux est faite pour en étudier la relation structure-propriétés physiques (liaisons hydrogène, liaisons halogène... vs. magnétisme, conduction...).
Laboratoire : UMR6226-Institut des sciences chimiques de Rennes
© Jean-Claude MOSCHETTI-CNRS

Pouvez-vous citer vos grandes références ou réussites françaises en chimie : prix Nobel, laboratoires internationaux, innovations, brevets ?

J. M. : La reconnaissance scientifique de Jean-Pierre Sauvage qui s'est vu décerner le prix Nobel de Chimie 2016 n'aura pas échappé à votre sagacité. Le CNRS s'en félicite et si ce prix vient couronner des travaux qui ont été effectués 20 ou 30 ans plus tôt, il indique que certains des chercheurs dont le CNRS a soutenu les travaux dans la durée se placent au plus haut niveau de la compétition internationale. Nous espérons aussi bien sûr soutenir actuellement ceux qui seront les prix Nobel dans 20 ans. C'est pourquoi nous sommes très vigilants à tenter de déceler au mieux les talents, et avons essayé de mettre en place une politique autour « d'excellence, pôle, émergence ». J'insiste, il faut défendre la recherche fondamentale. Le problème des appels d'offre actuels, qu'ils soient interdisciplinaires ou sectoriels, et quelle que soit la façon dont on les qualifie, c'est que ce sont des appels d'offre qui sont avant tout centrés sur leur objet, sur un projet, un « deliverable » en quelque sorte, et dont il faut, à la fin, extraire des résultats tangibles. Malheureusement, ce n'est pas suffisant, il faut également continuer à concentrer nos efforts sur des recherches en rupture, et le CNRS est armé pour mener à bien cet objectif.

En termes d'innovation et brevets, est-ce que l'on a en chimie des brevets qui apparaissent ? Et on les licencie ?

J. M. : Oui, sur les derniers thèmes dont on a parlé, le RS2E en particulier sur les batteries, avec de très belles opérations.

Le CNRS et l'INC, en particulier, ont toujours eu une politique affirmée de participation aux développements industriels des découvertes faites dans ses laboratoires. Le plus fameux exemple est bien sûr celui de la Navelbine® et du Tecolone® (agent chimiothérapeutique découvert aux Etats-Unis) dont une synthèse industrialisable et initialement basée sur les huiles de fût (aujourd'hui produit par un procédé biotechnologique de fermentation de cellules végétales) a été mise au point par Pierre Potier au sein de l'Institut de chimie des substances naturelles à Gif-sur-Yvette. Ces composés, figurant parmi les médicaments anticancéreux les plus utilisés au monde, ont rapporté des sommes importantes à l'industriel bien sûr, mais aussi au CNRS, aux laboratoires impliqués et aux inventeurs. Mais de tels succès sont extrêmement rares. Désormais, les relations avec les entreprises en matière de brevets et de licences tendent à se normaliser et à faire l'objet de contrats-cadres. En outre, il y a maintenant des structures qui ont été créées à partir de 2010 par le « plan d'investissement d'avenir » pour favoriser la valorisation, comme les Sociétés d'accélération du transfert de technologies (SATT). Elles ne sont pas liées directement au CNRS mais le CNRS est actionnaire dans les SATT, donc partie prenante de leurs décisions.

Les SATT travaillent-elles avec les bureaux des services partenariats et valorisation des délégations régionales du CNRS ?

J. M. : Oui, mais elles n'interagissent pas au même niveau et, en fait, les situations varient selon les régions. Les SATT sont là pour prendre le relais du CNRS et mettre en place les investissements plus importants que nécessite la transformation d'une découverte en une invention. Normalement, le développement compétitif relève de leur compétence. En revanche, le CNRS s'est placé récemment sur un créneau légèrement plus en amont en proposant des actions de pré-maturation pour faciliter le passage du laboratoire vers les SATT en aidant nos chercheurs à compléter leur projet dans la bonne direction et en leur faisant mieux comprendre les enjeux liés à sa mise en œuvre au niveau entrepreneurial.

Vous pourriez nous donner un ou deux exemples qui marchent bien ?

J. M. : Spécialisés dans l'étude du récepteur qui contrôle la libération de l'hormone de croissance, des chercheurs de l'Institut des biomolécules Max Mousseron de Montpellier (J. Martinez, V. Gueraud, J.-A. Fehrentz) sont à l'origine du JMV1843, un composé qui active le récepteur et permet la libération de l'hormone. Renommé Macren™, le composé qui sera commercialisé courant 2018 en Amérique du Nord par les laboratoires Jema Zentaris, pourrait trouver d'autres applications, comme le traitement de la cachexie (étude clinique de phase 2 en cours) ou des retards de croissance chez l'enfant (demande d'évaluation déposée auprès de l'Agence européenne des médicaments). Un très beau succès de chimie thérapeutique. Citons aussi Gilles Gosselin, directeur de recherche au CNRS au sein du même institut (IBMM) qui a découvert, avec le professeur Jean-Louis Imbach, et développé en partenariat avec la société Idenix, un nouvel

anti-viral, la Telbivudine / Sabinoré, actif dans le traitement de l'hépatite B chronique et commercialisé par Novartis dans plus de 90 pays. Dans le domaine des matériaux biocompatibles, Bruno Bujoli, du laboratoire Chimie et Interdisciplinarité, synthèse analyse modélisation à Nantes, a travaillé sur des matériaux injectables qui permettent de régénérer des os abîmés en utilisant un ciment osseux artificiel qui contient un matériel antibiotique, ce qui évite les surinfections et permet la réparation rapide et durable des fractures. Dans le même domaine, à l'université Paris XII (Bobigny), Véronique Migonney et son équipe réalisent au sein du laboratoire « Chimie, structures et propriétés des biomatériaux et d'agents thérapeutiques » de très beaux travaux sur les tendons artificiels.

Quels dispositifs favorisez-vous pour la discipline, par exemple l'interdisciplinarité, les montages internationaux, les partenariats industriels, les pôles régionaux, le rôle des jeunes, la place des femmes, les ITA, etc ?

J. M. : Le CNRS a mis en place une Mission pour l'interdisciplinarité (MI). Chaque institut y a un représentant qui participe au comité de pilotage. À l'INC, c'est le professeur (Stéphanie Poizat (Ecole normale supérieure). Elle y promeut, au nom de l'INC, toutes les initiatives qui mobilisent plusieurs disciplines à la fois, aussi bien physique et chimie que chimie et environnement, ou chimie et sciences sociales. ... À partir du moment où plusieurs instituts sont impliqués, cela relève de la MI, qui met en place pour les instituts, des outils tels que des colloques, des soutiens de projet de recherche... La mission associe souvent des partenaires extérieurs, les universités sont notamment intéressées pour participer à ses actions.

Toujours en « bottom up » ?

J. M. : Cela vient plutôt de la direction de l'INC, mais il faut quand même avoir une idée de thème porteur. Nous pouvons sonder la communauté en organisant, par exemple, une journée scientifique. En fonction de l'assistance, les thèmes finaux sont définis et à partir de là, on peut vraiment construire une offre.

Et concernant les montages internationaux ?

J. M. : Concernant les montages internationaux, nos meilleurs amis sont les UMI (Unités mixtes internationales) qui fonctionnent très bien. Elles sont de deux types. Certaines sont purement académiques, comme celle que nous avons à San Diego avec UCSD (University of California San Diego), créée autour d'un scientifique renommé, Guy Bertrand, un chercheur français qui a implanté son laboratoire dans une université américaine de renom et qui tire le meilleur de cette situation unique et du contexte scientifique exceptionnel. Ces structures nous permettent d'expatrier des chercheurs qui font des séjours prolongés dans ces unités et qui sont dans un contexte choisi pour être d'extrêmement haut niveau. Ils peuvent revenir ensuite avec une expérience riche et fertiliser certains laboratoires français. En l'occurrence, dans le laboratoire de Guy Bertrand, c'est surtout la chimie de coordination, métaux, catalyse, etc. qui sont au centre des recherches. C'est un cas particulièrement remarquable, car les travaux très fondamentaux en chimie de coordination qui y sont menés trouvent des applications importantes pour les académiques comme pour les industriels aussi bien en France qu'aux USA.

Nous avons un autre type d'unité mixte internationale, en particulier avec certaines grandes entreprises. Nous en avons deux avec Solvay, l'une en Chine à Shanghai et l'autre aux Etats-Unis en Pennsylvanie, qui développent des thématiques innovantes. La collaboration avec Solvay (ex-Rhône) existait déjà en France auparavant, sur les thématiques exportées mais l'idée était de tenter l'aventure internationale ensemble, donc de s'associer à un grand laboratoire du même type en Chine et aux Etats-Unis, de façon à bénéficier d'un environnement international et d'un savoir-faire différent. De tels exemples existent aussi avec le Japon. Cela bénéficie à la fois à l'industriel et à nos chercheurs. Tous nos partenariats industriels internationaux (Solvay, Saint-Gobain et récemment Air Liquide...) fonctionnent très bien.

Au niveau national, la liste des partenariats industriels est très longue. Avec Total, par exemple, nous avons deux UMR et trois laboratoires communs de recherche. De nouvelles unités communes industrielles en France ne cessent d'apparaître.

Parmi tous ces dispositifs je n'ai pas entendu parler de l'Union européenne.

J. M. : Effectivement, c'est un cas à part. Les actions relevant de l'Union européenne sont plus à l'initiative des laboratoires car ce sont souvent des montages de réseaux qui les concernent directement et qui sont financés avec le succès que vous connaissez dans le cadre du programme cadre Horizon 2020.

Notre première action au niveau européen est surtout d'essayer d'entraîner les communautés à répondre aux appels d'offre et de participer à la définition des axes importants.

Notre deuxième action est d'aider nos jeunes et nos moins jeunes à être candidats aux 'grants' de l'ERC (European Research Council) qui couronnent des initiatives individuelles. Ce ne sont pas des laboratoires, mais des individus qui postulent autour d'un projet qu'ils construisent et qui peut être financé à très haut niveau. Cela peut aller jusqu'à deux millions d'euros, ce qui leur permet d'avoir une politique de recherche totalement indépendante avec des avantages énormes pour eux.

Je voudrais insister sur l'Union européenne et le système des programmes cadre. Je me suis arrêté au huitième. Est-ce que cela a de l'avenir ? Est-ce encore une bonne façon de stimuler l'échange et d'apporter des financements aux laboratoires ?

J. M. : Oui, sans aucun doute, car c'est désormais l'une des sources majeures de crédits pour la recherche. Les gros programmes continuent à être financés par l'Union européenne. Ce sont des programmes de qualité. Il n'y a rien à dire sur la sélection des lauréats ERC, ce sont toujours d'excellents candidats porteurs de projets ambitieux qui sont retenus. Par contre, le taux de sélection est très bas, de l'ordre de 8 à 10 %. Mécaniquement, 90 % de nos chercheurs n'en bénéficient pas. C'est une réalité qu'il faut prendre en compte.

Il y a aussi une autocensure :

J. M. : Oui, et notre organisme a aussi un rôle à jouer dans ce domaine en essayant de réduire l'autocensure, en essayant de convaincre nos scientifiques qu'ils sont assez bons pour se présenter, ce qui est déjà une étape importante car beaucoup se considèrent comme ne faisant pas partie des 10 % de l'élite. Il y a aussi la peur de l'échec. Pour les jeunes, ce n'est pas très grave, ils ont l'habitude de postuler et d'échouer mais lorsque l'on parle des ERC « *avancées grants* » qui s'adressent aux seniors, des collègues leaders dans leur discipline, cela est difficile.

On a parlé des pôles régionaux, des ITA, parlez-vous des jeunes et des femmes maintenant.

J. M. : Pour ce qui relève des ingénieurs et techniciens, le CNRS est très attentif à offrir à ces deux catégories de personnels de bonnes conditions de travail, via par exemple nos campagnes d'aide à l'équipement ou à la sécurité, la reconnaissance, via leur promotion, même si le contexte financier limite drastiquement ces dernières, et la remise des médailles de cristal qui leur sont destinées. Nous veillons aussi à ce que la parité soit respectée dans tous les domaines, et en particulier ceux relevant du recrutement, des promotions ou de la considération en général, à dossier égal évidemment. Nous faisons tout ce qui nous semble possible pour être proactifs dans le domaine et les statistiques sont régulièrement revues.



*L'INC veut venir à la parité
©Félicie NALGNE - LHA-CNRS Photothèque*

À l'institut des sciences biologiques, il existe le système des AIP (Action thématique d'intensive programmée) qui aide des jeunes à démarrer leur carrière indépendante. En chimie il n'y a plus de soutien de ce type.

J. M. : Non, en chimie, nous n'avons plus la possibilité de le faire. Nous avons essayé plusieurs fois de relancer ce type d'actions dans notre projet scientifique, mais le coût financier associé nous en a dissuadé. En revanche, ce que nous essayons de réaliser, comme je l'ai déjà dit, c'est la détection des thèmes émergents, en aidant des jeunes prometteurs, en les accompagnant d'un chercheur post-doctoral et en mettant un peu de moyens financiers à leur disposition. Nous vivons un créneau de chercheurs entre cinq et dix ans après leur recrutement, c'est-à-dire des collègues qui ont accompli le projet de recherche pour lequel ils ont été recrutés et qui ont du mal à se positionner en tant que jeunes professionnels, car ils n'ont pas encore la visibilité suffisante pour être totalement identifiés dans les appels d'offre, et avoir leur propre mode de financement sans qu'il y ait d'interruption. C'est une aide ponctuelle qui va être limitée car nos moyens le sont aussi, mais cette opération a pu être financée grâce à la légère hausse de crédits dont a bénéficié le CNRS cette année. Nous espérons que cela nous permettra réellement d'avoir un impact positif sur certains de nos jeunes collègues.

L'A3 / Rayonnement du CNRS a été fondée il y a une vingtaine d'années. L'organisme semble quelquefois peu intéressé par l'action de l'Association en faveur du rayonnement du CNRS. Pensez-vous que les anciens puissent encore participer au rayonnement de la recherche, voire être utiles aux nouvelles générations ?

J. M. : Je comprends votre impression, même si elle ne me semble pas fondée. Ce n'est pas facile de répondre à votre question. Au moins un point me semble vraiment important, il s'agit du renforcement des vocations pour les sciences. Nous sommes face à une difficulté en chimie, également ressentie par les sciences les plus fondamentales, en particulier maths et physique. Nous observons une chute des vocations. Le nombre d'étudiants inscrits dans les filières de sciences « dures » a fortement chuté au tournant des années 2000 (-40 % en 10 ans, pour des raisons qui restent, à ma connaissance, inexpliquées et ne peuvent être simplement qualifiées de « désaffection ». Ce sont des chiffres inquiétants quant à l'avenir de nos laboratoires bien sûr mais surtout de nos sociétés. Les anciens ont, dans ce cas, un rôle important qui est celui de motiver, d'être capables de faire passer le feu sacré à nos plus jeunes et quand je parle des plus jeunes, ça peut également être des enfants, car c'est au niveau de l'enfance que ce genre de vocation se joue. Je parle du feu sacré, du côté mystique, on croit en la science très jeune sinon on peut taper très rapidement l'aiguillage. C'est un point beaucoup plus essentiel qu'il ne peut paraître à première vue.

Pour en savoir plus, sur le site de l'INC :
<http://www.cnrs.fr/inc/>

Hélène Olivier-Bourbigou, Ingénieur de



l'École nationale supérieure de chimie de Rennes, a débuté sa carrière à IFP Energies nouvelles en 1998 comme ingénieur de Recherche auprès d'Yves

Chauvin, prix Nobel de chimie 2005, qui fut son directeur de thèse. Chef de département à IFPEN depuis 2003, Hélène Olivier-Bourbigou conduit des recherches à IFPEN sur la catalyse moléculaire pour des applications dans le domaine de la chimie et de l'énergie, avec une double approche académique et industrielle. Présidente de la Division catalyse de la Société chimique de France depuis 2013, elle a à cœur de faire connaître la catalyse, discipline clé de la recherche scientifique et de l'industrie, qui contribue au développement de procédés innovants, compétitifs et sœurs de l'environnement. Elle a reçu le prix Irène Jolot-Curie 2014 dans la catégorie « femme scientifique de l'année » et a été élue membre de l'Académie des technologies en 2017.

Liliane Gorrichon,



après l'obtention d'une licence d'enseignement en sciences physiques, d'un diplôme d'ingénieur chimiste de l'ENSC de Toulouse et d'un doctorat d'Etat, poursuit ses recherches dans le cadre du CNRS. Sa carrière scientifique a déjà été présentée dans le Magazine de l'A3 n° 60 (p. 2).

En chimie, ses domaines d'étude concernent initialement les mécanismes réactionnels et les relations entre structure et réactivité d'époxydes, puis la synthèse organique multisteps et celle de composés optiquement actifs. Ses recherches évoluent progressivement vers les produits naturels et la chimie bioorganique intervenant dans la défense des plantes. Elles concernent les produits naturels phytoactifs, les polymères naturels polyphénoliques de la paroi végétale, l'organisation structurale d'oligoquinones, l'étude des facteurs intervenant dans la biogénèse des lignines.

Gilberte Chambaud est Professeur émérite



à l'université Paris-Est-Marne-la-Vallée. Élève de l'École normale supérieure, elle a soutenu sa thèse à l'université Pierre et Marie Curie en chimie théorique. Sa carrière dans l'enseignement supérieur s'est déroulée à l'ENS jusqu'en 1992, puis à l'université de Marne-la-Vallée. Impliquée dans l'enseignement, elle a présidé la division Enseignement de la Société chimique de France (2000-2004), a été membre du réseau européen (Tuning Project) pour l'harmonisation des formations européennes post-bac et participé au MRES à la mise en place des Masters. Elle a créé en 2006 le réseau français de chimie théorique qui rassemble cette communauté de recherche. Elle a été Directeur scientifique de l'Institut de chimie du CNRS (2006-2011), puis Délégué scientifique pour la Chimie à l'AFRES (2011-2014). Elle est actuellement présidente de la SCF (2015-2018), chevalier de la Légion d'honneur, officier des Palmes académiques et membre de l'Académie Européenne.

Ce Magazine se devait de rendre compte des prix Nobel de chimie français ou ayant effectué leurs travaux en France. Neuf chimistes de nationalité française ont été honorés depuis la création du Nobel. Henri Moissan,

soient oublié, a été le premier (1906) pour la découverte et la description des propriétés du Fluor. Marie Curie, première femme à avoir obtenu le Nobel et seule femme à en avoir obtenu deux, dans deux disciplines différentes (la physique avec Pierre Curie, la chimie en 1911) est la suivante. Ses découvertes sur la radioactivité naturelle, et sa biographie ont fait l'objet de deux numéros de notre Magazine : N° 57 et N° 60. L'année d'après en 1912, deux autres Français sont distingués pour leurs avancées en chimie organique : Victor Grignard et Paul Sabatier. En 1935, le nom de Curie est encore à l'honneur avec Irène et son mari Frédéric Joliot-Curie qui obtiennent le Nobel pour leurs travaux sur la radioactivité artificielle. Il faudra attendre 1987 pour que la chimie soit à nouveau récompensée avec Jean-Marie Lehn et deux chimistes américains pour leurs travaux sur des molécules exerçant des interactions sélectives du fait de leur structure.

C'est avec Jean-Marie Lehn que notre évocation commence, suivie de celles d'Yves Chauvin (2005) médaillé avec deux Américains pour le

La France et les prix Nobel de Chimie

développement de la méthode de métathèse en synthèse organique. Martin Karplus avec deux autres collègues a obtenu le Nobel en 2013 pour ses travaux sur la modification multi-échelle de systèmes chimiques

complexes. Il est austro-américain mais a effectué, en grande partie, ses travaux à Strasbourg en tant que directeur du Laboratoire de chimie biophysique du CNRS, associé à l'université. Jean-Pierre Sauvage est le plus récent nobélisé dont nous allons rendre compte (2016). Il a été récompensé avec deux autres chercheurs étrangers, pour ses travaux sur la conception et la synthèse de « machines moléculaires ».

Liliane Gorrichon est l'auteur du chapitre dédié à Jean-Marie Lehn, suivi de l'article « La catalyse, un élément fondamental en chimie » et du chapitre en hommage à Jean-Pierre Sauvage. Hélène Olivier-Bourbigou s'est consacrée à l'œuvre d'Yves Chauvin, suivie de l'article : « la catalyse pour le développement durable en chimie ». Gilberte Chambaud rend compte ensuite du parcours et des travaux de Martin Karplus.

Jacques Couderc

Entretien avec Jean-Marie Lehn, prix Nobel de Chimie 1987



Jean-Marie Lehn est né le 30 septembre 1939 à Rosheim dans le Bas-Rhin. Après une licence ès Sciences physiques obtenue à Strasbourg en 1960, il entreprend un doctorat en chimie organique auprès du professeur Guy Ourisson. Il s'intéresse à l'étude de terpènes à l'aide d'une nouvelle méthode physique, la spectroscopie par résonance magnétique nucléaire ; il obtient en 1963 un doctorat d'État ès-Sciences physiques. Au cours d'une année postdoctorale dans le laboratoire du Pr. Woodward à l'université d'Harvard - où il aura l'occasion de revenir -, il prend part au projet de synthèse totale de la vitamine B₁₂. Il s'intéresse également à la mécanique quantique auprès de Roald Hoffmann, alors jeune chercheur en début de carrière. À son retour, il entre au CNRS et devient chargé de recherche avant d'être nommé maître de conférences en 1966 à l'université de Strasbourg, puis professeur titulaire en 1970. Le Collège de France le reçoit de 1979 à 2010 comme professeur de chimie, à la suite du départ du professeur Horeau ; il y est titulaire de la chaire de chimie des interactions moléculaires. Ses travaux en chimie organique physique évoluent en raison de l'intérêt que Jean-Marie Lehn porte à la compréhension que pourrait apporter la chimie à l'étude de processus biologiques, tout d'abord à celui de l'influx nerveux qui est tributaire du transport de cations ; il s'intéresse alors à des molécules (Fig. 1) susceptibles de les piéger sélectivement selon leur taille dans leur cavité interne formant des espèces appelées cryptates.

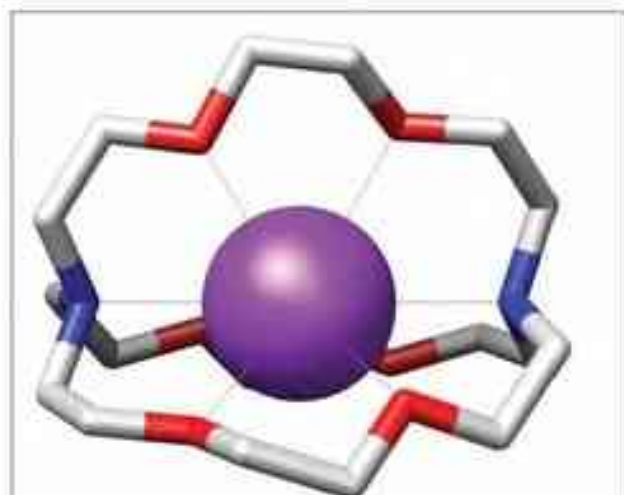


Fig. 1 : Le cryptate est un complexe formé par l'association d'un cryptand, molécule de synthèse présentant une cavité centrale, et d'un ion alcalin situé dans cette cavité. Ici le cryptate renferme un ion potassium (en violet). Observation par diffraction des rayons X au stade cristallin.

Ses recherches prennent un essor considérable qui sera reconnu par de nombreux prix et distinctions, dont quelques-uns sont rappelés :

- Docteur *honoris causa* de 21 universités, membre de l'Académie des sciences et de l'Institut de France et de 33 académies étrangères ;
- Médaille d'Or du CNRS (1981) ;
- Prix Alexandre Humboldt (1983) ;
- Prix du CEA (1984) ;
- Prix de l'Académie des sciences (1984) ;
- Prix Rold-Sammet (1985) ;
- Prix Nobel de chimie, avec D.-J. Cram et C.-J. Pedersen (1987) ;
- Prix Karl Ziegler (1989) ;
- Prix Ettore Majorana-Science pour la paix (1994) ;
- Médailles de l'université Comenius à Bratislava, de la faculté des sciences de l'université Charles de Prague (1986), de l'Institut de chimie physique de l'Académie des Sciences de Varsovie, médaille Davy de la Royal Society (1997), médaille Lavoisier de la Société française de chimie (1997) ;
- Prix top 75 de l'American Chemical Society (1998) ;
- Médaille d'Or (Giulio Natta) de la Société italienne de chimie (2003) ;
- Prix JSPS (Société japonaise pour la promotion des sciences) (2003).

Jean-Marie Lehn, à Strasbourg, a eu l'amabilité, au cours d'un entretien téléphonique de bien vouloir nous faire partager son analyse du rôle fondamental de la chimie parmi les sciences, de ses réalisations et de ses objectifs. Il nous a proposé quelques articles de référence¹⁻⁴ et nous invitons chacun à les découvrir pour avoir une vision infiniment plus riche et des connaissances très supérieures à celles données par les quelques éléments retenus dans ce Magazine.

Nous avons terminé l'entretien en évoquant brièvement les travaux qu'il développe actuellement et les conditions de l'implantation à Strasbourg de l'Institut de science et d'ingénierie supramoléculaires (ISIS).

Le rôle de la chimie dans les sciences et la société

Avant d'être utile à la société, avant d'élaborer de nouvelles molécules qui ont conduit à des développements pratiques et économiques considérables, la chimie est une science et doit apporter à la connaissance. C'est une discipline qui va de l'avant, se renouvelle et se construit.

Si, depuis le Big-Bang il y a 13,7 milliards d'années, on considère l'apparition de l'univers, la chimie n'émerge que plus tard, après 300 000 ans environ, après refroidissement de l'univers et naissance des atomes puis des molécules élémentaires. Au cours de l'évolution, on observe que l'on va du plus simple au plus complexe. On passe successivement de l'état diffusé, à l'état condensé, puis organisé, puis au vivant puis au vivant-pensant. Comment l'évolution de l'univers et de la matière a-t-elle pu donner naissance à des molécules extrêmement élaborées et arriver à un organisme humain capable « d'interroger l'univers même dont il est issu » ?

Parmi les sciences, la physique s'occupe de l'origine de l'univers et définit ses lois ; la biologie pour sa part essaie d'élucider les règles de la vie et le darwinisme donne des éléments pour comprendre l'évolution des êtres vivants.

Mais quelle est la part de la chimie ? Elle se propose (se doit) de créer un pont, d'une part, entre la physique et les lois de l'univers et, d'autre part, entre la biologie et l'apparition de la vie.

Quelle est alors la question fondamentale au cœur de la recherche en chimie ?

La réponse de J.M. Lehn est la suivante : La chimie s'intéresse à une question déterminante : « Comment la matière a-t-elle pu devenir si complexe ? » Son rôle est donc d'essayer de comprendre cette évolution, qui a conduit à ce que nous sommes. Revenons au départ : selon les bases de la cosmologie « les forces gravitationnelles jouent sur des inhomogénéités en densité ou en vitesse d'expansion¹¹ » au tout début de la création de notre univers. Ces forces vont permettre une première auto-organisation de notre univers. « L'auto-organisation de la matière moléculaire non vivante, vivante et pensante, peut être considérée comme résultant de forces électromagnétiques opérant sur une infinie variété de combinaisons structurales possibles. L'auto-organisation du cosmos est ainsi due à la gravitation et celle de la matière moléculaire à l'interaction électromagnétique¹² ».

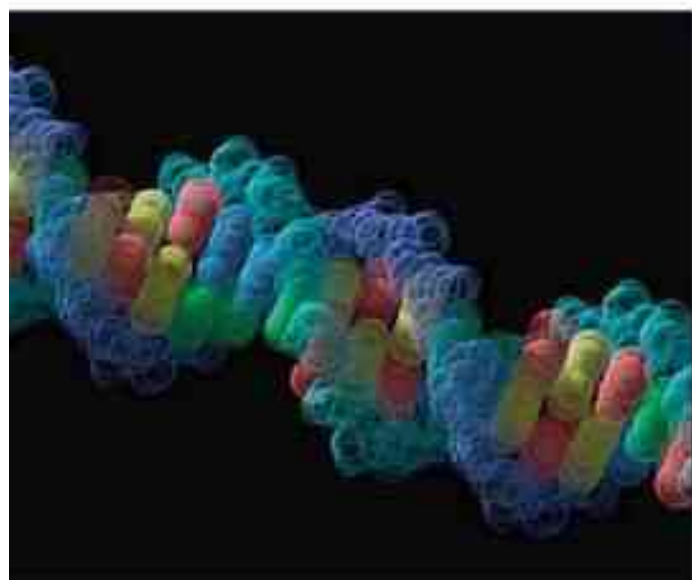


Fig. 2 : La double hélice de la molécule d'ADN est un exemple fondamental de la reconnaissance moléculaire. La chimie devient une science de la matière informée.

Comment aborder ces questions ? Déjà, comment est-on passé de la matière divisée à la matière organisée ?

On peut penser qu'avant l'apparition de la vie, sous l'effet des forces électromagnétiques, il y a eu une évolution purement chimique, conduisant à une organisation des atomes, puis des briques de base, pour donner des molécules progressivement de plus en plus élaborées. Ce sera donc le temps, encore d'actualité, de la chimie moléculaire et la création de structures de plus en plus complexes. Mais les molécules, « dans leur structure, leur forme, leur composition portent de l'information. La lecture et le traitement de cette information se font au niveau supramoléculaire par des interactions entre les molécules¹³ ». En apportant ainsi, à certaines d'entre elles, un avantage structurel, il se crée une différenciation.

Cette chimie supramoléculaire correspond à l'édification spontanée, mais contrôlée, d'édifices moléculaires complexes à partir d'éléments de base grâce à un stockage d'information (Fig. 2). Avant l'évolution des organismes vivants, avant leur apparition même, il y a eu, en quelque sorte, une « chimie prébiotique » qui a facilité et permis la création d'un monde vivant sur une base moléculaire (et donc chimique).

La chimie : un pouvoir créatif, l'art de la matière.

Pour les chimistes, l'aventure commence par la découverte des éléments de base qui sont rassemblés dans le tableau de Mendeleïev. Ce tableau a été établi pour la première fois par le chimiste russe Dimitri Mendeleïev qui lui a donné son nom en 1869 ; il continue, encore en 2017, de s'enrichir de nouveaux éléments et il est valable pour toute la matière visible connue dans l'univers, (même si, selon les cosmologues, elle n'en constituerait que 5 %, à cause de la matière noire et de l'énergie noire, composantes qui n'ont encore jamais été détectées directement).

Au cours des années, les chimistes apprendront patiemment à inventer les méthodes et à maîtriser les paramètres qui gouvernent la synthèse. Ils vont créer des molécules de structure précise, à partir d'éléments plus simples. Ce sera le cas de l'urée obtenue par Friedrich Wöhler en 1828 : sa synthèse fait appel à du cyanate d'ammonium, une matière non vivante qui permet d'aboutir à un composé que l'on trouve dans des organismes vivants ! Et voilà : « la notion magique de force vitale (qui) se révélait inexistante¹⁴ ».

Ces synthèses, parfois très sophistiquées, s'élaborent pas à pas. Chaque étape correspond à la création de nouvelles liaisons conduisant jusqu'à l'obtention de la molécule cible finale. Les exemples remarquables sont nombreux, on peut citer celui de la vitamine B₁₂ par exemple. Ces synthèses et les moyens physicochimiques, permettant de s'assurer de la validité de la structure, constituent des étapes marquantes sur le chemin de la maîtrise de la matière. Elles illustrent le pouvoir créatif des chimistes et le rôle fondamental de cette chimie moléculaire pour essayer de répondre aux besoins de l'humanité. La chimie doit répondre au quotidien à un nombre croissant de défis socioéconomiques et de questions géopolitiques. La chimie est à l'origine d'innombrables avancées dans des domaines très variés, avec les exploits thérapeutiques, les matériaux pour la physique ou l'industrie, l'énergie ou l'espace, l'industrie textile, les modèles pour la biologie, la pharmacologie, et beaucoup d'autres encore, avec une importance économique considérable et un rôle majeur dans nos vies (NOLR - nous trouverons quelques exemples dans ce Magazine).

Mais, même si la chimie dispose d'un « arsenal puissant de méthodes » pour progresser encore, elle ne doit pas se contenter de cette capacité à créer des molécules à la demande, elle peut aller bien au-delà et doit consentir à changer de paradigme. Elle doit apprendre à connaître et utiliser l'information intrinsèque donnée par les molécules en utilisant les voies de l'auto-organisation. Un champ nouveau de connaissance et de création est devant nous : celui de la chimie supramoléculaire qui ouvre la voie à la complication des architectures et à une chimie « adaptative » dynamique au sein d'une multiplicité d'éléments.

NOLH : *La chimie moléculaire s'intéresse à la réactivité ou la synthèse de molécules particulières qui se constituent en créant des liaisons covalentes (fortes), résultant de la mise en commun des électrons.*

La chimie supramoléculaire s'intéresse à des ensembles complexes faisant intervenir l'association de plusieurs espèces chimiques liées par des forces intermoléculaires réversibles, dites faibles, telles que les liaisons hydrogène, les forces électrostatiques ou de Van der Waals... Les liaisons faibles sont les plus à même de se modifier selon les possibilités qu'offre le milieu ; un ensemble moléculaire pourra ainsi se réamanger et en quelque sorte « s'adapter » à son environnement.

Quelques étapes marquantes dans ce nouveau champ de réflexion : la chimie supramoléculaire correspond à la génération spontanée mais contrôlée d'architectures supramoléculaires, une édification déterminée par l'information portée par chacune des molécules initiales. C'est la lecture et le traitement de ces informations (structure, forme, composition) qui créent la sélection entre les briques moléculaires et permettent l'auto-organisation en assemblages complexes. Ce sera par exemple la reconnaissance entre un enzyme et son substrat qui permettra à une réaction spécifique d'avoir lieu, ou à un composé qui, étant accepté de préférence au substrat initial, permettra de bloquer la réaction (et constituera ainsi la base d'un médicament). Dans l'article¹⁶ en référence, le Pr. Lehn donne l'exemple de l'auto-assemblage à l'œuvre dans le virus de la mosaïque du tabac ; il intervient à partir de 2 130 briques protéiques de base qui vont s'enrouler autour des nucléotides de l'ARN viral pour donner une tour hélicoïdale qui contient le génome du virus... On peut donc affirmer que la chimie constitue une science de l'information.

Les étapes

Nous ne pouvons donner ici que quelques grandes lignes des développements qu'a connus le domaine de recherche de la chimie supramoléculaire.

- La première est la mise en évidence de phénomène de reconnaissance moléculaire.

- Par exemple comment en fonction de la taille et de la nature d'un ligand, c'est-à-dire d'une molécule dont l'un des atomes est en mesure de créer une liaison de coordination avec un cation (c'est-à-dire des atomes ou molécules portant une charge positive), il sera possible de discriminer entre différents cations. Pour la première fois on réalise vraiment qu'il est possible, grâce à des liaisons faibles, d'obtenir un assemblage déterminé par un choix sélectif entre les éléments eux-mêmes et non par l'opérateur qui aurait au préalable réduit le champ des possibles (comme il le fait pour réaliser la synthèse d'une molécule). On va donc considérer non plus la molécule isolée mais la molécule comme « unie au milieu d'un ensemble de molécules ».

- La suite consiste bien sûr à déterminer et contrôler comment les molécules se choisissent et se reconnaissent, ce qui a lieu si couramment dans les phénomènes biologiques et permet de les expliquer. Cette reconnaissance intervient grâce aux informations portées par la molécule, complémentarité géométrique souvent représentée par

l'image de la clé et la serrure, complémentarité entre les interactions (charges, propriétés électroniques...). La maîtrise de ces assemblages s'est peu à peu construite : assemblages en hélices, en grilles, nanocylindres ou autres structures.

- Les exemples sont multiples et suggèrent que, dans le futur, on pourrait, en fonction de propriétés attendues, passer de la fabrication programmée à l'auto-fabrication et laisser l'objet se constituer lui-même par sélection des éléments dans un ensemble dynamique organisé d'une grande diversité. L'auto-assemblage devient ainsi auto-organisation et on passe à la synthèse supramoléculaire :

- Les développements de ces dernières années sont donc orientés vers la chimie dynamique constitutionnelle où les objets se construisent par eux-mêmes sous réserve de posséder les bonnes complémentarités fonctionnelles ou interactionnelles. Il faut évidemment des processus qui puissent être réversibles pour donner au milieu la capacité majeure d'adaptation. Nous arrivons peu à peu à une chimie évolutive, adaptative, en quelque sorte une chimie pré-darwinienne... Déconstruire et reconstruire pour s'adapter !

Revenant à des questions concrètes et aux conditions qui permettent à la recherche de s'exercer dans les meilleures conditions, nous avons posé quelques questions à Jean-Marie Lehn. Sachant le souci primordial qu'il porte au développement de la recherche fondamentale et des concepts, la question a été posée de savoir comment obtenir des moyens financiers dans un contexte, au niveau européen par exemple, a priori très orienté vers le secteur économique et les applications.

Jean-Marie Lehn n'a pas voulu s'amuser à nos dépens en répondant qu'il fallait savoir s'adapter, mais à son avis, même si cela peut être un problème, rien n'interdit de travailler intelligemment et de ne pas négliger, derrière les connaissances fondamentales, les développements technologiques.

Il apparaît clairement qu'il faut savoir faire cohabiter tous ces aspects pour qu'ils puissent s'enrichir réciproquement. Considérant que la mise en pratique de ces idées pourrait se concrétiser au sein d'un institut dédié, le professeur Lehn propose alors la création d'une telle structure.

Création d'Isis

La proposition de créer un institut reposait sur une réflexion et des idées qui n'avaient pas suscité un enthousiasme démesuré. Evidemment cette situation évolua après l'attribution du prix Nobel au professeur Jean-Marie Lehn. Un comité fut créé pour s'occuper de la construction et le projet reçut le soutien des partenaires institutionnels (département, région et centre universitaire de Strasbourg, crédits d'Etat) et l'institut fut inauguré en 2002. La tradition d'une ouverture et d'une irrigation très larges préexistait à Strasbourg et devait beaucoup en chimie à la présence du professeur Guy Ourisson.

Le premier objectif du projet fut d'inviter un ensemble de scientifiques d'excellence à rejoindre Isis pour créer un ensemble interdisciplinaire

doté d'une ossature solide (il y a MM. Karpies, Ebbesen, Samon ; le professeur Jean-Pierre Sauvage y est aussi actuellement hébergé). Le deuxième objectif de cet institut était d'offrir à des jeunes porteurs de projets un environnement scientifique de qualité, des soutiens financiers, afin de leur permettre de se développer de manière autonome. Le recrutement intervenait (intervient) après appel à candidatures auprès des universités françaises et étrangères ; il a permis de trouver nombre de chercheurs d'excellent niveau. Troisième point et non des moindres : installer des antennes industrielles - la première fut celle de BASF d'une taille maximale d'une douzaine de personnes -, de jeunes entreprises souvent liées à des biotechnologies. Lorsqu'elles ont acquis une bonne croissance, elles quittent les lieux, permettant ainsi un renouvellement des implantations. Ainsi les travaux et les nouveaux concepts de Jean-Marie Lehn en chimie ont inspiré et inspirent nombre d'idées originales et fécondes pour l'avenir comme en témoigne le parcours de l'un de ses étudiants, Jean-Pierre Sauvage.

En guise de conclusion, nos remerciements à Jean-Marie Lehn

Dans la chaîne continue de l'avenue des connaissances, il ne saurait y avoir de conclusion. Il est temps néanmoins d'arrêter ici cette transcription limitée et imparfaite des propos de Jean-Marie Lehn, mais avant de conclure, j'aimerais citer Maupassant. Dans un de ses contes, deux amis, le soir, échantonnent des idées sous les étoiles : « Nous échangeons des idées très vagues, très confuses, car nos esprits sont très bornés, très faibles, très impuissants. Nous songeons aux êtres qui peuplent ces mondes, à leurs formes imaginables, à leurs facultés insoupçonnées, à leurs organes inconnus, aux plantes, aux animaux, à toutes les espèces, à tous les règnes, à toutes les essences, à toutes les matières, que le rêve de l'homme ne peut même effleurer ».

Je voudrais simplement remercier Jean-Marie Lehn pour le temps qu'il nous a consacré, pour avoir permis que nos esprits soient un peu moins « bornés ». Je le remercie enfin pour avoir plus qu'effleuré « le rêve de l'homme », pour en avoir ouvert grand les portes et lui avoir donné la force d'une science.

Liliane Gornowicz

Références

- [1] Perspectives in Chemistry - Steps towards complex Matter, Jean-Marie Lehn, Angew. Chem. Int. Ed., 2013, 52, 2838-2850.
- [2] Perspectives in Chemistry - Aspects of Adaptive Chemistry and Materials, Jean-Marie Lehn, Angew. Chem. Int. Ed., 2015, 54, 3276-3289.
- [3] Par-delà la synthèse : l'auto-organisation, Jean-Marie Lehn, CRAS chimie, 2011, 348-361.
- [4] La chimie supramoléculaire et ses formes modernes. Nouveaux matériaux et nouveaux progrès dans la marche de la chimie vers la conquête du vivant, à la lumière des travaux de Jean-Marie Lehn et de ses collaborateurs, Paul Rigby, L'actualité chimique - janvier-février 2011, 348-349, 32-35.
- [5] Vers la matière complexe : Chimie ? Chimie ! Jean-Marie Lehn, Revue de la physique, 2011, 23, 2-3.

Sur les traces d'Yves Chauvin, prix Nobel de Chimie 2005



Le professeur Yves Chauvin, né en Belgique, à Menin, le 10 octobre 1930 nous a quittés trop tôt, le 27 janvier 2015. Après des études à l'école supérieure de chimie industrielle de Lyon, de 1951 à 1954, il commence sa carrière comme ingénieur de recherche dans la Société Progil, devenue Rhône-Poulenc, puis Rhodia. Sa carrière se poursuit comme ingénieur à IFP Energies nouvelles où il devient Directeur de recherche responsable des recherches en catalyse homogène. Il a également été directeur de recherche émérite à l'Ecole supérieure de chimie-physique-électronique de Lyon.

Ses travaux de recherche lui ont permis de développer une chimie appliquée novatrice et de nouveaux procédés industriels. Parmi les domaines initialement abordés, ses travaux en synthèse organique, puis en synthèse organométallique, où intervenaient des métaux de transition, le conduiront à devenir un spécialiste de la catalyse. Rappelons qu'un catalyseur participe à une réaction chimique en abaissant la barrière d'énergie qui mène du (des) produit(s) initial(s) au(s) produit(s) final(s) et qu'il est régénéré à la fin de la réaction. Il facilite donc l'accès à de nouveaux composés en rendant possible des réactions difficiles.

La connaissance qu'avait le professeur Chauvin des composés organométalliques et de leurs propriétés comme catalyseurs le conduira à innover en développant un procédé de catalyse homogène dans le domaine du raffinage des pétroles pour la production industrielle de carburant, domaine pourtant dominé par la catalyse hétérogène.

Par ailleurs, dans le domaine des oléfines, intermédiaires clés de la pétrochimie, il réalisera le couplage d'oléfines (pigmérisation) pour donner des composés plus lourds : la dimérisation sélective de l'éthylène (oléfine à 2 carbones -2C) pour donner du butène-1 (4C), la dimérisation des n-butènes pour donner des isooctènes (8C), ces derniers composés après transformation serviront de base pour la fabrication de plastifiants. Appliquées au propylène (3C) ces réactions de dimérisation par catalyse homogène, donnent des isohexènes (6C), à l'origine d'additifs qui permettent d'améliorer l'indice d'octane des essences. Il proposera également, par la suite, d'utiliser une catalyse biphasique (un milieu réactionnel qui comprend deux phases que l'on peut séparer plus facilement). Cette catalyse améliore encore la sélectivité des réactions et réduit la quantité de catalyseur utilisé.

Ces recherches ont aussi eu des retombées pratiques dans des domaines très divers comme la métathèse des oléfines qui trouvent des applications pour la santé comme pour la synthèse de nouveaux matériaux. Ces résultats ont été tributaires de recherches tant fondamentales qu'appliquées relatives aux réactions mises en jeu et étudiées avec finesse et minutie. Yves Chauvin a reçu de nombreux prix et distinctions, dont le prix Nobel en 2005.

On peut relire avec intérêt la conférence qu'il a donnée lors de la remise de ce prix :

- « *Olefin metathesis : the early days* », Yves Chauvin, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2006, 45, 23, p. 3470 et l'analyse citée dans l'Actualité Chimique.
- Yves Chauvin, un prix Nobel « embarrassé », Rose-Agnès Jacquoty et Hélène Olivier-Bourbigou, *L'Actualité Chimique*, avril 2015, 395, p. 5-7.

Yves Chauvin a fait l'objet d'un éditorial par Gérard Pignault : « Yves Chauvin, co-prix Nobel de chimie 2005 : une réussite de la science et de la technologie », dans le numéro 39 du Bulletin A3.

La catalyse pour le développement durable en chimie

Madame Hélène Olivier-Bourbigou, responsable actuelle à IFP Energies nouvelles de l'équipe de Catalyse moléculaire, a accepté de nous faire connaître l'évolution des recherches au sein de la structure qui a permis à Yves Chauvin de développer ses travaux.

Si en recherche les sujets évoluent, la démarche et l'approche initiées par Yves Chauvin, qui a permis l'émergence d'une école française de la catalyse homogène, restent très présentes. « Savoir cheminer ses lectures pour acquiescer de la créativité ». Ce n'est pas facile de nos jours où l'on croise sous les publications et où il est si facile de s'enfermer. C'est contradictoire puisque créer c'est faire quelque chose à partir de rien... mais en chimie nous sommes tous redevables à ceux qui ont élaboré la classification périodique des éléments, à ceux qui ont localisé et défini une géométrie aux niveaux orbitaux où se trouvent les électrons, caractérisé tous les types de liaisons chimiques qui unissent ces éléments... dans le puzzle, on peut encore créer en se méfiant des grands principes immuables... il y a toujours des sous-produits !

Le rôle de la catalyse

Chaque jour notre planète accueille quelque 200 000 habitants supplémentaires qui participent à l'augmentation des besoins, et aspirent à des modes de consommation proches des nôtres. Pour répondre à ces évolutions, la recherche et l'innovation ont des perspectives intéressantes dans de nombreux domaines. Discipline interdisciplinaire, la catalyse représente aujourd'hui un levier stratégique pour répondre aux nombreux défis de notre société : économies de matière et d'énergie, procédés plus respectueux de l'environnement, réduction de notre dépendance aux matières premières d'origine fossile, sécurité énergétique, conception de nouveaux produits. On estime que plus de 80 % des procédés de conversion utilisent un catalyseur dans les domaines de la protection de l'environnement, de la chimie, du raffinage et des polymères. La catalyse s'inscrit donc pleinement dans le développement durable. C'est un outil merveilleux, une passerelle entre les disciplines qui nous plongent dans un environnement de compétences multiples et aide à casser les murs d'incompréhension entre les domaines. La catalyse propose des solutions en rupture en conjuguant les expertises, alors la photo-catalyse, l'électro-catalyse, la bio-catalyse ou catalyse bio-inspérée...

On a tendance à subdiviser la catalyse en trois grandes catégories :

- La catalyse hétérogène
- La catalyse homogène
- La catalyse enzymatique



Fig. 1 : IFP Energies nouvelles, site de Solenne.
©IFPEN/ Antoine de Bierre-StudioFly

mais on voit que les frontières ne sont pas aussi franchées et de nouveaux concepts comme celui de la catalyse hybride (combinaison d'une catalyse chimique et enzymatique) deviennent une réalité.

Les premiers pas en catalyse homogène : applications industrielles et innovations

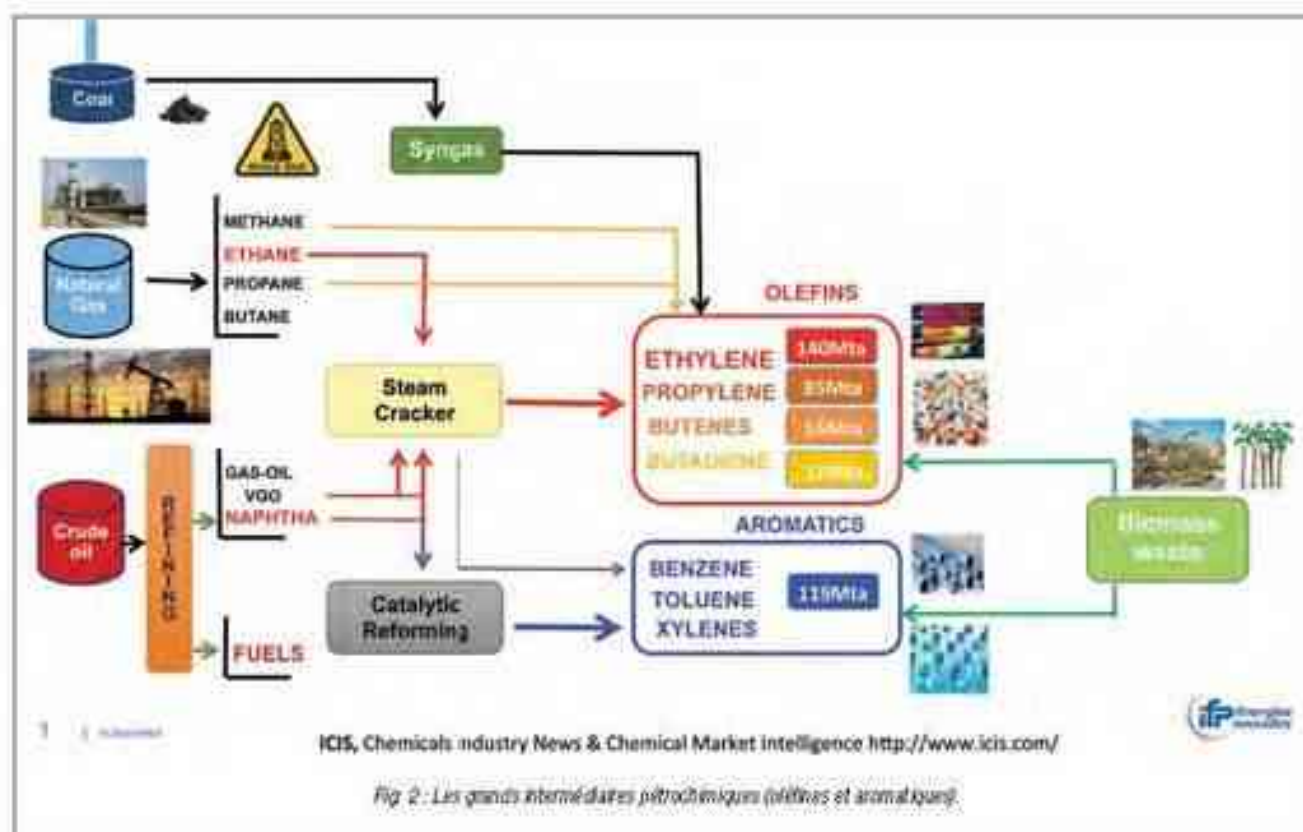
La catalyse homogène ou moléculaire se différencie de la catalyse hétérogène par le fait que le catalyseur est soluble dans le « milieu réactionnel ». Yves Chauvin a été un des pionniers dans le domaine de la catalyse homogène en développant cette compétence à l'IFP Energies nouvelles (IFPEN) dans les années 1970.

Afin d'améliorer l'éco-efficacité de ces procédés, une recherche exploratoire a été menée pour immobiliser le catalyseur organométallique, soit par greffage sur un support (minéral ou organique), soit par dissolution dans un milieu peu ou pas miscible, avec les produits de la réaction. C'est cette dernière approche que l'on appelle catalyse biphasique liquide-liquide qui a été appliquée avec succès et a donné lieu au procédé biphasique Ditasol (Applied Catalysis, A : General (2010), 373 (1-2), 1-56). L'originalité de l'approche réside dans l'utilisation de liquides ioniques comme solvants du catalyseur métallique au nickel. Ces milieux conducteurs présentant une fenêtre électrochimique large, étaient utilisés comme électrolytes pour les batteries, un domaine a priori bien loin du raffinage et de la pétrochimie ! Selon l'expression d'Yves Chauvin entre « Recherche appliquée et fondamentale, il n'y a rien qu'une recherche c'est la curiosité... »

L'évolution dans le domaine de la pétrochimie

La demande, estimée à environ 4 % sur la période 2015-2025, pour les grands intermédiaires pétrochimiques (oléfines et aromatiques) est en forte croissance. On appelle intermédiaires pétrochimiques les composés de base réactifs et assez légers obtenus dans le traitement des pétroles (Fig. 2).

Cette demande est tirée principalement par le marché des polymères, en particulier celui du polyéthylène décliné sur de nombreux grades : on veut réaliser une polymérisation, intégrant un nombre de molécules initiales variable, selon les propriétés physicochimiques attendues pour le polymère final. Ce domaine de recherche est souvent considéré comme mature, mais les innovations continuent à bosonner avec une synergie forte entre



« catalyse et produit ». Pour s'ajuster à la demande du marché, les propriétés des polyéthylènes, des alpha-oléfines linéaires possédant de 4 à 8 atomes de carbone sont incorporées comme co-monomères (c'est-à-dire en même temps que l'éthylène) lors de la polymérisation. Ces alpha-oléfines sont produites par une réaction d'oligomérisation qui permet de n'intégrer qu'un faible nombre de monomères. Dans un objectif d'optimisation de l'utilisation de la ressource (économie d'atomes), la sélectivité du catalyseur devient le critère primordial. C'est un défi car le plus fondamental car les réactions secondaires potentielles sont nombreuses.

Ces développements industriels se poursuivent aujourd'hui au travers de la filiale Axens de IFP Energies nouvelles dans le domaine des catalyseurs et des procédés de raffinage et de pétrochimie (plus de 100 unités ont été industrialisées dans le domaine de la catalyse homogène).

Vers une diversification des ressources

La transition vers un mix énergétique est en marche. Il s'agit pour IFPEN de conduire des actions visant à la diversification des ressources et au développement des énergies nouvelles. IFPEN a été pionnier dans le domaine des procédés de transformation d'une biomasse dite de 1^{re} génération (cultures alimentaires telles que le colza, le tournesol, etc.), essentiellement pour la production de biodiesel (BMEV : esters méthyliques d'huiles végétales) mettant en œuvre une catalyse homogène ou hétérogène. Mais ces technologies viennent concurrencer l'utilisation des acides pour des fins agricoles. L'accent est mis actuellement sur la 2^e génération constituée de végétaux non alimentaires ou de biomasse forestière/industrie du bois

(Fig. 3) : Selon la directive européenne 2009/28/CE, cette biomasse lignocellulosique est définie comme « la fraction biodégradable des produits, des déchets et des résidus d'origine biologique provenant de l'agriculture, de la sylviculture et des industries connexes ». La richesse des fonctions chimiques contenues dans la cellulose de la biomasse est certes un atout pour produire une grande diversité de molécules, mais elle est aussi source de difficultés pour atteindre des hautes sélectivités dans les procédés de transformation. Son hétérogénéité est une difficulté pour parvenir au stade industriel. En partenariat avec Total et Axens, IFPEN a mis au point un procédé original de production d'éthylène à partir de sources biologiques qui permet de produire des plastiques de type polyéthylène 100 % biosourcés.



Fig. 3 : Résidus agricoles.

IFPEN participe également avec Michelin et Axens à un projet financé par l'Ademe pour le développement d'un procédé de production de butadiène biosourcé pour la fabrication de caoutchouc de synthèse (projet Biobutylty). Enfin, en partenariat avec la société Aneltech et Axens, IFPEN développe une technologie de production de composés bioromatiques.

(benzène, toluène, xylène) à partir de lignocellulose. Ces aromatiques sont des intermédiaires clés dans la fabrication de fibres textiles ou de bouteilles (PET). Des systèmes catalytiques spécifiques et multifonctionnels, actifs et stables, doivent être spécifiquement imaginés pour produire de manière efficiente des bioproduits, en limitant les sous-produits non valorisables et problématiques pour la séparation. Des approches en rupture intégrant une catalyse enzymatique et une catalyse chimique sont envisagées (catalyse hybride). Ces concepts devront certainement passer par une réflexion sur le procédé pour relever le défi de la transformation sélective des ressources biosourcées.

Hélène Olivier-Bourgeois

Martin Karplus, prix Nobel de chimie 2013



En parallèle aux travaux de nos prix Nobel français, nous souhaitons rappeler celui de Martin Karplus qui a été récompensé en 2013 avec deux autres chimistes théoriciens, Arieh Warshel et Michael Levitt. Martin Karplus travaille en France depuis de nombreuses années et fait bénéficier nos chercheurs et nos étudiants de son expérience à Strasbourg, dans la pépinière de talents qu'est l'Institut de science et d'ingénierie supramoléculaires (ISi).

En parallèle aux travaux de nos prix Nobel français, nous souhaitons rappeler celui de Martin Karplus qui a été récompensé en 2013 avec deux autres chimistes théoriciens, Arieh Warshel et Michael Levitt. Martin Karplus travaille en France depuis de nombreuses années et fait bénéficier nos chercheurs et nos étudiants de son expérience à Strasbourg, dans la pépinière de talents qu'est l'Institut de science et d'ingénierie supramoléculaires (ISi).

Martin Karplus a une carrière internationale. Immigré aux États-Unis avant la seconde guerre mondiale, il a effectué ses études à l'université d'Harvard, puis a enchaîné avec une thèse à Caltech sous la direction du double détenteur de prix Nobel, Linus Pauling. Après un stage postdoctoral de deux ans à Oxford dans le groupe du professeur Charles Coulson, il obtient un poste à l'université d'Illinois et est finalement nommé professeur à Harvard. Fortement attaché à l'Europe et surtout à la France, il passe une année sabbatique à Orsay et à l'Institut de biologie physico-chimique (IBPC) à Paris en 1970. La loi française de l'époque ne permettant pas à un étranger d'être professeur d'université, ce n'est qu'en 1996 que l'université de Strasbourg peut lui proposer une chaire. Ses travaux de recherche portent sur la résonance magnétique nucléaire et les biomolécules. Ils ont conduit à la fameuse « équation de Karplus », sans doute connue par tous les étudiants ayant eu un cours de RMN, elle permet de relier la valeur de l'angle dièdre entre atomes d'hydrogène voisins à la valeur du couplage spin-spin. Le développement de méthodes de calculs (dynamique moléculaire, méthodes hybrides) pour étudier les biomolécules lui vaut le prix Nobel. Il n'est pas possible de décrire la somme impressionnante de ses travaux en quelques lignes, je vous livre simplement quelques chiffres : près de 1 000 publications et un indice $h = 158$. Cela en dit long sur la répercussion que ses travaux ont sur l'ensemble de la communauté des chimistes. Une telle carrière n'a pu être possible qu'avec la participation de nombreux étudiants et collaborateurs. La liste des « Karplusiens », comme il les surnomme, compte plus de 210 membres ! Si le lecteur désire en savoir plus sur le scientifique d'exception qu'est Martin Karplus il peut consulter le texte autobiographique « *Speech on the ceiling* ».

Les travaux récompensés par ce prix Nobel ont été initiés dans les années 1970 et continuent à évoluer grâce aux efforts de nombreux groupes. Ces travaux portent sur « le développement de méthodes multi-échelles pour l'étude de systèmes chimiques complexes ».

Il est difficile d'expliquer en quelques lignes le sujet de ces travaux, mais on peut simplement dire qu'il s'agit du couplage de plusieurs niveaux de description de la matière. Parmi les divers niveaux, on peut citer la chimie quantique qui décrit la matière comme un assemblage interagissant de noyaux et d'électrons, la mécanique moléculaire qui ne considère que des atomes et leurs interactions, les méthodes « gros grains » qui regroupent plusieurs atomes au sein d'un même objet (le grain), etc.

L'approche, qui a été développée par les récipiendaires du Nobel 2013, utilise simultanément plusieurs niveaux de théorie. Elle est issue de la constatation que la majeure partie des phénomènes chimiques sont localisables sur quelques atomes. Il est ainsi possible, en conservant la précision souhaitée, de ne traiter qu'une petite fraction du système moléculaire complet par la chimie quantique tout en traitant le reste avec un niveau moins détaillé, tel que la mécanique moléculaire ou un continuum diélectrique. En fait, plus l'on s'éloigne du centre d'intérêt, plus la description peut être macroscopique. On peut alors envisager des approches multicouches où le phénomène d'origine électronique sera décrit par la chimie quantique (QM en anglais pour « quantum mechanics »), où l'environnement moléculaire proche pourra être traité par la mécanique moléculaire (MM pour « molecular mechanics »), où l'environnement à plus longue distance sera représenté par des modèles « gros grains » (CG pour « coarse grain »), et où encore plus loin, un simple continuum (SCRF pour « self-consistent reaction field ») pourra être utilisé. On obtient ainsi la famille des fameux acronymes QM/MM/CG/SCRF dont l'élément le plus célèbre est sans nul doute QM/MM tout simplement. Si cela paraît simple sur le papier, la réalisation pratique l'est beaucoup moins ! Coupler la mécanique quantique à la mécanique moléculaire revient un peu à tenter de manier la carpe avec le lapin en espérant que ce mariage sera fructueux. C'est pour cette raison que ces méthodes continuent à être développées dans plusieurs groupes mondiaux.

Tout débute en 1972 quand Arieh Warshel rend visite à Martin Karplus à Harvard^[1]. Ils utilisent des arguments de symétrie pour découper le système électronique de molécules conjuguées planes en deux parties. Le réseau des liaisons π est décrit par la mécanique moléculaire, alors que le système σ est traité avec un hamiltonien quantique. Contrairement aux méthodes hybrides actuelles, on voit que la séparation entre les mondes QM et MM n'est pas spatiale. Cette fragmentation spatiale viendra quatre ans plus tard avec l'article seminal d'Arieh Warshel et Michael Levitt sur la stabilisation de l'ion carbonium dans la lysozyme^[2]. La jonction QM/MM utilisait une orbitale hybride pour terminer la partie quantique. Entre ces deux articles, il faut souligner la publication de Warshel et Levitt en 1975 qui définit le passage de la mécanique moléculaire aux méthodes « gros grains »^[3].

Pour les méthodes QM/MM, s'en est suivie une longue période calme jusqu'en 1986 où Peter A. Kollman et U. Chandra Singh ont proposé une nouvelle façon de connecter les parties QM et MM entre elles, la fameuse méthode « link atom »^[4], très largement reprise ensuite, en particulier par

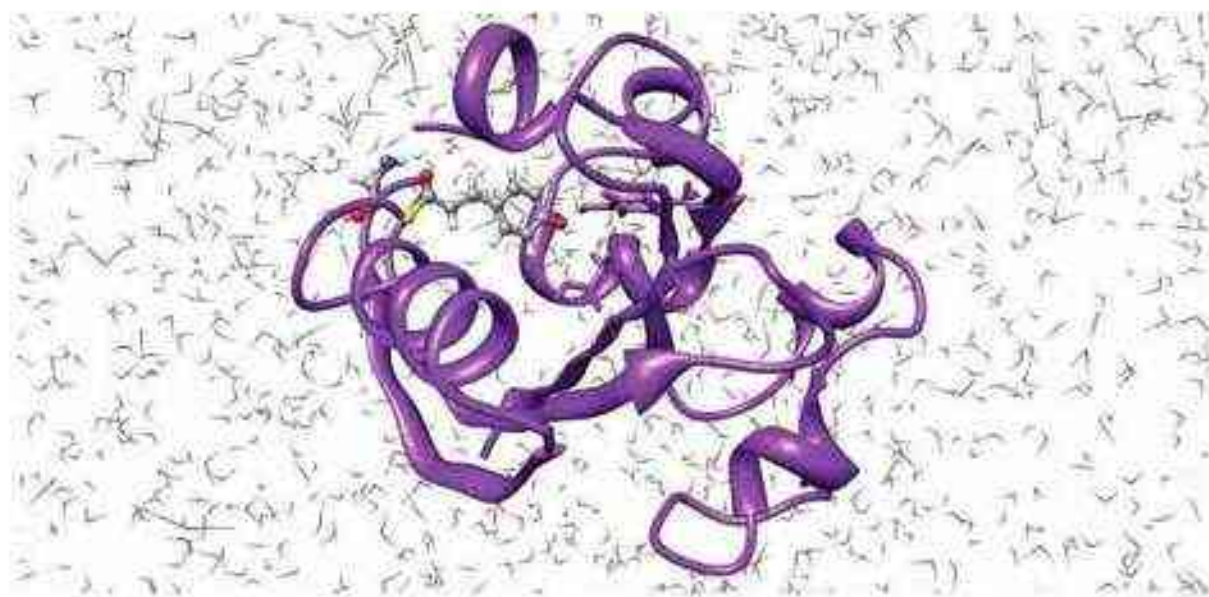


Fig. 1 : Exemple de partition QM/MM pour la protéine jaune phosphorescente (YFP). Le chromophore, décrit par la mécanique quantique, est représenté en « boucle et bâton ». Le reste de la protéine, traité en mécanique moléculaire, est en violet. Les acides aminés proches sont représentés en « bâton », alors que le reste est en représentation « ruban ». Les molécules de solvant (H_2O), elles aussi décrites en MM, sont en « fil de fer ». Courtesy d'Antonio Moras, université de Lorraine

Karplus en 1990. Les années 1990 ont vu fleurir de nombreux articles décrivant de nouvelles jonctions et de nombreuses applications. Cette effervescence est à relier à l'augmentation exponentielle des moyens de calcul. Il faudra cependant attendre 1995 pour voir une méthode équivalente à celle de Warshel et Levitt utiliser un hamiltonien *ab initio*. En vingt ans, nous sommes passés de quelques articles par an dont un des mots-clés est « QM/MM » dans les années 1990 à plusieurs centaines aujourd'hui.

Il est important de réaliser qu'à l'heure actuelle, il n'est pas possible de traiter les phénomènes électroniques dans de gros systèmes moléculaires autrement que par ces méthodes dites hybrides. La raison en est simple : obtenir l'énergie d'une configuration d'une macromolécule à l'aide des méthodes de chimie quantique est extrêmement coûteux (plusieurs semaines sur des superordinateurs), même si des tentatives sont menées ici et là avec les nouvelles méthodes dites à croissance linéaire. De plus, la notion même de géométrie pour ces macromolécules n'a plus de sens car de nombreuses configurations possèdent des énergies proches et il faut prendre en compte les effets entropiques à l'aide des techniques de dynamique moléculaire (ou de Monte-Carlo) qui nécessitent des millions de calculs d'énergie. Enfin, l'usage unique de la mécanique moléculaire, qui permet de réaliser les millions de calculs nécessaires, est à proscrire puisque les électrons ne sont pas décrits explicitement.

Gilbert Chamizaud

Note

Cet article est rédigé d'après l'article Hommage de Xavier Astérid - L'Actualité Chimique - décembre 2013 - n° 380.

Références

- [1] Karplus M., Spinachon the ceiling: A theoretical chemist's return to biology, *Ann. Rev. Biophys. Biomol.*, 2008, 35, p. 1-47. doi : 10.1146/annurev.biophys.33.110502.133350.
- [2] Warshel A., Karplus M., Calculation of ground and excited-state potential surfaces of conjugated molecules. I. Formulation and parameterization, *J. Am. Chem. Soc.*, 1972, 94, p. 5612.
- [3] Warshel A., Levitt M., Theoretical studies of enzymatic reactions: Dielectric electrostatic and steric stabilization of the carbonium ion in the reaction of lysozyme, *J. Mol. Biol.*, 1976, 103, p. 227.
- [4] Levitt M., Warshel A., Computer simulations of protein folding, *Nature*, 1975, 253, p. 694.
- [5] Singh UC., Kolman PA., A combined *ab initio* quantum mechanical and molecular mechanical method for carrying out simulations on complex molecular systems: Applications to the $CH_3Cl + Cl^-$ exchange reaction and gas phase protonation of polyethers, *J. Comput. Chem.*, 1996, 7, p. 718.

Jean-Pierre Sauvage : le vrai seigneur des anneaux, prix Nobel de chimie 2016



Dans le sillage de Jean-Marie Lehn, le professeur Jean-Pierre Sauvage, qui prépara son doctorat avec lui, lauréat 2016 d'un prix Nobel de Chimie, est le dernier récipiendaire français.

Jean-Pierre Sauvage est né le 21 octobre 1944 à Paris. D'origine normande par sa mère et bordelaise par son père, son enfance sera influencée par la séparation de ses parents et par les activités de son beau-père Marcel Louis Grosse, officier de l'armée de l'air, qui incarnent une grande mobilité. À l'âge de trois ans, il ira en Afrique du Nord (Algérie, Tunisie). En 1951 et 1952, il aura l'occasion de passer plusieurs périodes aux USA, à Saint-Louis, dans le Missouri et à Denver, dans le Colorado. Après son retour en France et un long périple, vers l'âge de 15 ans, il finira par rejoindre Haguenau où, au cours de ses études, il commencera à s'intéresser à la chimie et aux molécules naturelles. Ayant obtenu son baccalauréat, il se dirige vers les classes préparatoires et intègre l'École nationale supérieure de chimie de Strasbourg où il obtient un diplôme d'ingénieur en 1967. Il entreprend immédiatement une thèse auprès de Jean-Marie Lehn qui venait de lancer, quelques années auparavant, sa propre équipe de recherche ; il contribue à la mise au point de composés macrocycliques capables d'encapsuler sélectivement des cations alcalins ou alcalino-terreux. Cette solide formation et ses résultats lui permettent d'obtenir son doctorat d'état (1971). Il rejoint entre 1973 et 1974 le laboratoire du professeur Malcolm L.H. Green à Oxford. Il développera ensuite ses recherches au CNRS où il entre en 1977 et où il restera jusqu'en 2014. Professeur émérite à l'université Louis Pasteur de Strasbourg, il continue actuellement ses travaux concernant la topologie et le domaine des machines moléculaires, dans le cadre de l'Institut Ica, à Strasbourg.

Parmi les nombreux prix et distinctions décernés à Jean-Pierre Sauvage, on peut citer de manière non exhaustive : médaille d'Argent du CNRS (1988), • prix Isalt-Christensen (1991), • médaille d'Or Prelog de l'ETH de Zurich (Suisse), • prix Nessim Habif de l'université de Genève (1995), • grand prix Pierre-Sée de la Société française de chimie (2000), • RBWoodward Award in porphyrin chemistry (2008), • le prix Nobel de chimie en 2016 avec MM. J.F. Stoddart et B.L. Feringa. Il est élu membre de l'Académie des sciences en 1997. Il est grand officier de l'Ordre national du Mérite et chevalier de la Légion d'honneur.

La notoriété de Jean-Pierre Sauvage lui vaut un emploi du temps chargé. Il a eu néanmoins la gentillesse de nous signaler les documents récents¹⁻⁴ où il a rassemblé les éléments les plus significatifs de ses travaux ainsi que le texte de la conférence qu'il a donnée lors de la remise du prix Nobel.

L'attention récente qui a été portée à ses travaux met à beaucoup de malaise dans le propos sous peine de lourdes rectes ; nul ne saurait en

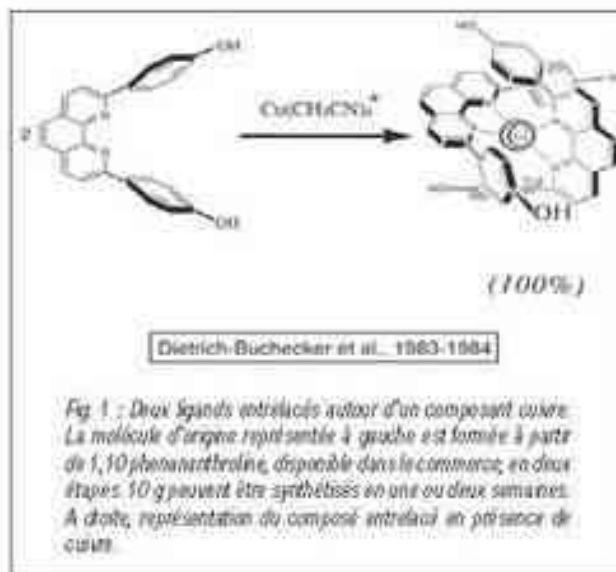
effet mieux que monsieur Jean-Pierre Sauvage les expliciter ! Nous espérons néanmoins qu'il voudra bien nous parler de la tentative présentée dans ce Magazine !

Dans la chimie comme dans toute saga, il y a du mouvement, de l'énergie et même des muscles, moléculaires certes, mais des muscles tout de même ! Il faut un maître des cerces, des nœuds, des entrelacs, des pièges que la chimie nous tend ; il faut un maître des métamorphoses moléculaires. Quelqu'un qui sache construire, partager, conduire une équipe, s'ouvrir aux idées nouvelles, quelqu'un qui connaisse des « affinités électives » qui vont retenir un élément, un cation, par exemple, au centre d'un cercle, comme Merlin dans sa tour de vent, et savoir aussi comment le libérer. Cela, Jean-Pierre Sauvage l'avait appris de Jean-Marie Lehn.

Avant d'aller plus loin il faut connaître le monde, un monde que Jean-Pierre Sauvage a découvert dès son enfance. De Paris au Nord de la France, de l'Afrique du Nord (Tunisie, Algérie), aux États-Unis (Missouri, Colorado), de la Normandie à la Lorraine, à l'Alsace enfin, Jean-Pierre Sauvage a noué des contacts, embrassé de vastes horizons, et construit des projets à lui-même.

Mais pas de mouvement sans énergie, sans énergie durable ! Parmi les premiers projets on trouvera en chemin l'approche de la conversion de l'énergie solaire en énergie chimique, par photolyse de l'eau.

Obtenir de l'hydrogène (et de l'oxygène) en cassant une molécule d'eau, en sachant que l'hydrogène qui en résulte, utilisé comme source d'énergie, va en général redonner de l'eau ! Encore faut-il que, pour casser l'eau, on consomme moins d'énergie que l'hydrogène n'en donnera par la suite. Il faut donc faciliter la rupture et trouver le catalyseur qui va permettre la réaction et que ce catalyseur ait un coût acceptable ! Vaste programme ! Le choix est celui d'une molécule photocatalytique, qui sera activée grâce à l'énergie solaire et qui puisse accuser le transfert des électrons.



Si les premiers travaux dans ce domaine s'intéressaient à une famille de complexes du ruthénium liés par des 2,2'-bipyridines, le ruthénium est un métal de transition rare et cher ; un autre métal de transition, plus accessible, connu pour se lier à ce type de composés est le cuivre ; le choix du ligand est également important. La connaissance qu'avaient Jean-Pierre Sauvage et son équipe de la famille des phénantrolines, les conduisirent à retenir, dans cette famille, celle des 2,9-diphényl-1,10-phénantrolines phénantrolines (Fig. 1) comme nouveaux ligands pour le cuivre :

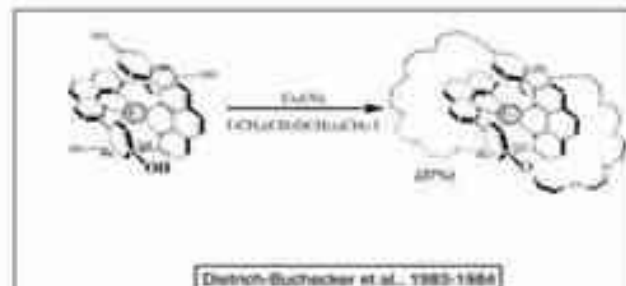
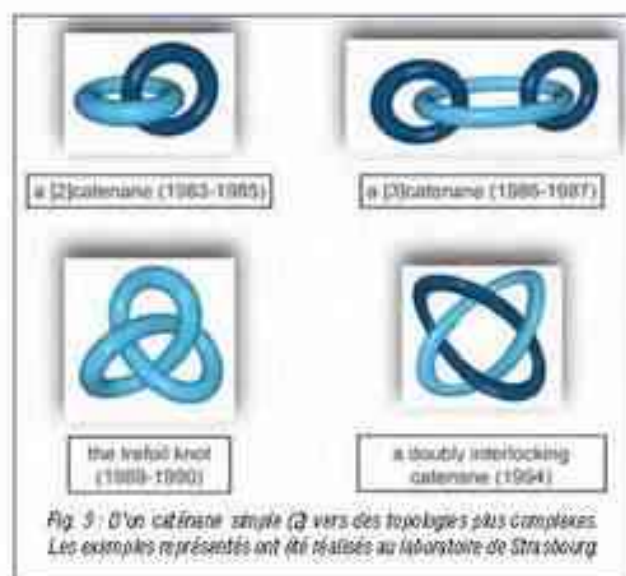


Fig. 2 : La réaction de double cyclisation qui conduit aux caténanes est de faible rendement. Cependant, il est possible d'en préparer des lots de 0,5 g en quelques semaines. En modifiant légèrement la structure des molécules de départ et en utilisant la méthode de cyclisation proposée par Grubbs, le rendement est augmenté jusqu'à 92 % au plus.

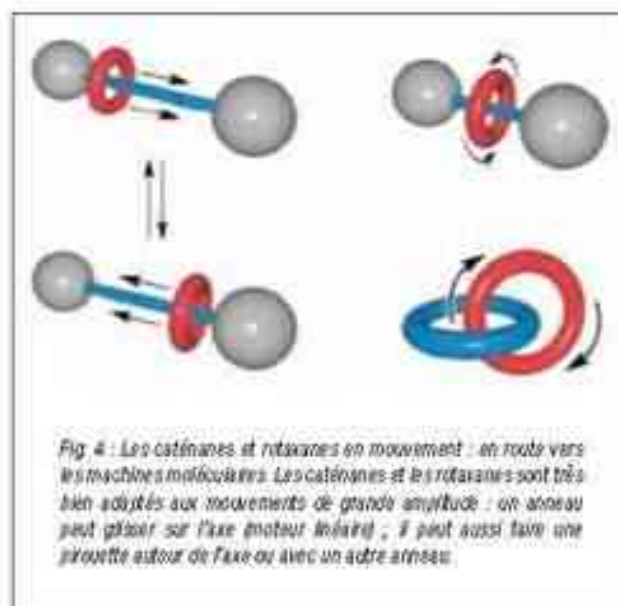
Mais quand on s'appelle Jean-Pierre Sauvage et que l'on a autour de soi des spécialistes en synthèse, on ne se contente pas de cette première réussite, on voit déjà plus loin. L'idée suivante que propose J.-P. Sauvage consiste à lier les deux extrémités de chacun des ligands, bien orientés par la présence de l'atome de cuivre et de fermer ainsi chaque ligand, dans son plan. Cela revient à entrelacer ainsi deux anneaux moléculaires, dans un enchevêtrement qui rappelle celui des deux premiers anneaux olympiques (dans une topologie non plane). Ce type de synthèse, conduite par Christine Dietrich-Buchecker, permet de créer ainsi un caténane :



Il suffit d'y parvenir et d'en obtenir une quantité satisfaisante ! On peut ainsi préparer si l'on a une bonne maîtrise de la synthèse, des anneaux moléculaires identiques ou asymétriques en différenciant les étapes. Il est possible ensuite de libérer le cation central à l'aide de sels de cyanure et la réaction est parfaitement réversible.

Sur cette base, des ensembles à trois anneaux, des systèmes doublement entrelacés : noeud de treille, noeud de Salomon viennent le jour en collaboration avec différentes équipes (Fig. 3).

A partir du catalyseur initial, on peut aussi essayer de créer un autre type de structure ; il faut commencer par créer un premier anneau en liant un des ligands puis à chaque extrémité de la chaîne du second ligand, greffer un groupe suffisamment encombrant, c'est-à-dire d'un diamètre supérieur à celui de l'anneau créé. De façon simpliste, on dispose alors d'une ballère avec un anneau au centre qui ne peut pas s'échapper. Ces nouvelles structures s'appellent des rotaxanes (Fig. 4).



Mais des remarquables résultats dans la synthèse et la caractérisation de structures telles que caténanes et rotaxanes ne s'arrêtent pas là, car en plus des ensembles existent ! Plus exactement, on peut les mettre en mouvement en jouant sur des paramètres extérieurs.

Revenons par exemple aux caténanes comportant deux anneaux et encore complexés par le Cu^+ . Si, dans le lien pour fermer l'un des anneaux, on choisit d'intégrer un autre type de ligand, susceptible de se complexer par trois atomes d'azote, et non deux comme dans le motif phénantroline initial, et si on propose maintenant un cation différent, comme Cu^2+ , qui se trouve plus stable avec cinq ligands et non quatre, l'anneau bascule de 180° : la phénantroline initiale va jouer le rôle de ligand extérieur au complexe, et le ligand externe à trois atomes d'azote va prendre sa place dans le complexe. Ce mouvement de bascule, est induit électrochimiquement par oxydation du Cu^+ complexe ou par des changements spectroscopiques. Si en retour on réduit Cu^2+ , le mouvement est réversible et on revient au complexe initial.

Ces « pincettes » ne se limitent pas aux caténaïques. Il est aussi possible de mettre des rotaxanes en mouvement. On peut également jouer avec des composés macrocycliques comportant deux types de ligands (à deux ou trois atomes d'azote) qui constituent des « huit moléculaires ». Par échange de cations, on obtient des « huit » qui peuvent se contracter ou s'étirer selon que l'on crée un complexe tétra- ou hexacoordiné (Fig. 5).



Fig. 5 : Un dimère synthétique de rotaxane, « le muscle moléculaire ». La structure moléculaire du rotaxane dimérique ou pseudo-rotaxane dimérique est adaptée au mouvement de contraction/extension, mimant ainsi les propriétés dynamiques du muscle.

Ces premiers travaux, qui ouvrent le champ très fertile des « machines moléculaires » et vont conduire aux premiers exemples de « muscles moléculaires synthétiques », sont particulièrement élégants. Un muscle se caractérise par sa capacité à s'étirer ou se contracter selon les sollicitations qu'il reçoit ; un muscle moléculaire synthétique pourra, selon les stimuli, s'allonger ou se contracter. La comparaison bioinspirée retenue par l'équipe de J.-P. Sauvage pour expliquer ces travaux est celle du glissement de la fibre de myosine sur celle de l'actine.

L'idée initiale consiste à créer un dimère de rotaxanes en plaçant tête-bêche deux anneaux, chacun d'eux, centré autour de la chaîne moléculaire de son vis-à-vis, sera susceptible de se déplacer, de glisser le long de cette chaîne (Fig. 5 et Fig. 6). Le mouvement pourra être induit par un signal électrochimique ou chimique et l'ensemble pourra donc prendre une structure allongée ou contractée selon que les deux anneaux se rapprochent ou s'éloignent.

Synthétiser ces molécules est un travail de patience et de précision, d'une incroyable difficulté (ref.1, p. 15-16). On ne peut que mesurer

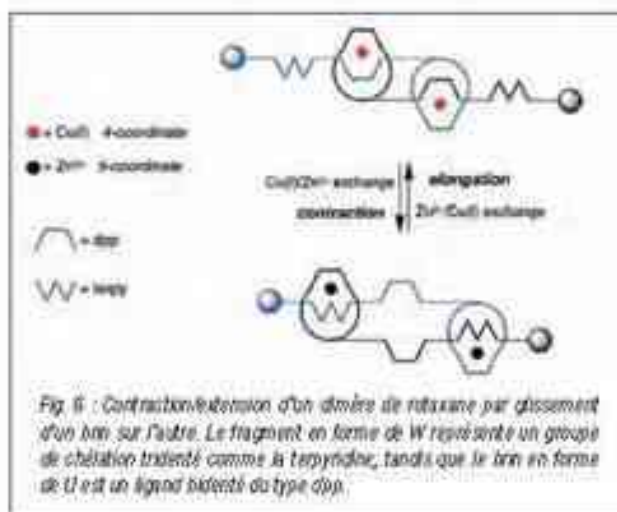


Fig. 6 : Contraction/extension d'un dimère de rotaxane par glissement d'un bras sur l'autre. Le fragment en forme de W représente un groupe de chélation tridenté comme la terpyridine, tandis que le bras en forme de U est un ligand bidenté du type dpp.

à cette aune l'importance du travail réalisé et qui, bien entendu, ne se limite pas à ce premier modèle. Ces prototypes ne constituent que quelques exemples dans un ensemble remarquable et le début d'une impressionnante progression des recherches dans ce domaine qui continue à se développer.

Un autre explorateur (Christophe Colonna), à tort ou à raison, prétend que : « dans la vie il n'y a pas de but à atteindre mais rien que des chemins à parcourir ». Ceux empruntés par Jean-Pierre Sauvage sont fascinants et ses découvertes exceptionnelles, mais cela chacun le sait déjà.

Liliane Gornichon

Références

- [1] « Systèmes moléculaires contractiles et extensibles : vers des muscles moléculaires », Jean-Pierre Sauvage, Vincent Dupont et Frédéric Nicot, L'Actualité Chimique, 2016, 406, 13-20.
- [2] « From Chemical Topology to Molecular Machines » (Nobel Lecture), Jean-Pierre Sauvage, Angew. Chem. Int., 2017, 56, 11080-11093.



Françoise Guérin, chimiste, directrice de recherche Inserm a effectué sa carrière à l'Institut de chimie des substances naturelles (ICSN/CNRS), jusqu'à sa retraite en 2013. Ses domaines de recherche portaient sur la chimie organique et médicamenteuse des substances naturelles. Elle a été lauréate 1991 du prix Léon

Vellut de l'Académie des sciences et nommée chevalière de l'Ordre national du Mérite en 2001, pour sa participation aux travaux de recherche sur le Thallide.

Muriel Le Roux et Françoise Guérin sont auteures de « Navelin® et Thallid® », *dictames de sciences*, Londres, 11^e édition 2017.

Muriel Le Roux, chargée de recherche au CNRS, à l'Institut d'histoire moderne et contemporaine (CNRS-ENS-Pans 1), étudie l'histoire des sciences, des techniques, de l'innovation et des entreprises au 20^e siècle notamment dans le secteur de la chimie. Elle a publié « Un siècle de recherche industrielle à Rechinay », pour lequel elle a reçu le prix d'Histoire industrielle 1998 du ministère de l'Industrie et plusieurs articles sur la chimie des substances naturelles. Elle prépare une biographie de Pierre Potier qui évoquera notamment ses collaborations avec l'industrie. Historienne des entreprises, elle dirige par ailleurs les recherches du Comité pour l'histoire de la Poste et a dirigé et publié « Brève histoire de la Poste en France depuis 1945 », Bruxelles, PE Peter Lang, 2016.



A3 Magazine saisit l'opportunité d'un dossier consacré à la chimie pour revenir sur la personnalité d'un scientifique de premier plan. Ce qui émit alors le Bulletin de l'association lui avait consacré une large partie de son numéro 41, que l'on retrouvera ultérieurement sur le site internet de l'IA3 / Rayonnement du CNRS. Il a en effet semblé à la rédaction que la vie et l'œuvre de Pierre Potier restaient d'une parfaite actualité. Françoise Guérin et Muriel Le Roux⁽¹⁾ ont, par leurs travaux et publications, déjà beaucoup contribué à une meilleure connaissance du scientifique disparu en 2006. Elles ont accepté de retracer pour A3 Magazine les grandes lignes d'un parcours exceptionnel. Qu'elles en soient vivement remerciées.

Pierre Potier a travaillé toute sa vie d'abord à l'interface de la chimie et de la biologie, principalement dans le domaine des substances naturelles, avec comme objectif de trouver des molécules utiles à l'homme. Chercheur intègre et passionné, il trouve ! (...)

Pierre Potier, Homme de Science

Sciences sous la direction de Jean Le Men, alors assistant du professeur Maurice-Marie Janot, titulaire de la chaire de galénique. Ses travaux de recherche étaient dédiés à l'étude chimique de la Lumarine, alcaloïde isolé de *Lunaria bienna*, plus connue sous le nom de Monnaie-du-Pape. En étudiant cette plante,

Il avait une vision ambitieuse des finalités de la recherche, vaincre le cancer, guérir le diabète, ou encore réformer la recherche... Il aimait débrouiller des problèmes complexes, mais réfléchissait dans le même temps à l'application qui résulterait de son travail. La recherche sans objectif défini ne l'intéressait pas... Il choisissait ses thèmes de recherche indépendamment des modes scientifiques après avoir lu, réfléchi et analysé les connaissances existantes. Il constituait son équipe en associant des spécialistes des domaines concernés, de disciplines différentes... Envisager avec rigueur les résultats, éviter une recherche dans l'impasse, à contrario défendre farouchement un projet à risque étaient un exercice qu'il s'imposait qu'il se crût des imités... D'esprit pasteurien, Pierre Potier considérait que la recherche académique, même la plus fondamentale, et la recherche industrielle formaient un continuum. Il collaborait avec l'industrie, discutait pied à pied pour développer ses découvertes. Mais, soucieux des droits des chercheurs, il le faisait selon des procédures qui garantissaient ces droits, n'hésitant pas à fonder lui-même la structure de valorisation...⁽¹⁾

Pierre Potier et l'Institut de chimie des substances naturelles (ICSN - CNRS)

Ses études et premières recherches, ses actions et ses fonctions
En 1957, Pierre Potier obtient son diplôme de pharmacien à la faculté de Pharmacie de Paris, alors qu'il préparait sa thèse de Doctorat es-

Il en fut la première fois de la spermidine, découverte importante puisque ce composé n'avait été jusqu'alors isolé que du sperme et du liquide séminal de mammifères. Au cours de ses recherches doctorales, Pierre Potier effectua deux séjours à l'étranger d'abord dans le laboratoire du professeur Peter Bladon à Glasgow puis à l'École polytechnique fédérale de Zurich, afin d'avoir accès à des équipements qui n'existaient pas à Paris, comme le spectromètre de masse et le spectrographe à résonance magnétique nucléaire. Le 20 décembre 1960, il sortit sa thèse de Doctorat es-



Sciences physiques, à la Sorbonne, sous le titre : « Etude chimique de la Lumarine, Alcaloïdes de *Lunaria biennis* Moench (Crucifères) ».

Avant cela, parce qu'il avait montré des prédispositions pour la recherche, sur la recommandation de son patron, Maurice-Marie Janot, Pierre Potier fut recruté au CNRS comme stagiaire en 1957. Affecté à l'Institut de chimie des substances naturelles (ICSN), créé en 1955, conjointement dirigé par M.-M. Janot et Edgar Lederer, il resta à la faculté de Pharmacie de Paris où se trouvait le laboratoire de Maurice-Marie Janot, jusqu'au déménagement à Gif-sur-Yvette en 1960. Après avoir rempli ses obligations militaires, Pierre Potier rejoignait l'ICSN, à l'automne 1962. À cette époque, l'Institut était divisé en deux départements : le département de Chimie biologique, dirigé par Edgar Lederer et le département de Chimie organique dirigé par Maurice-Marie Janot. C'est là que Pierre Potier poursuivit ses recherches, comme chargé de recherche puis maître de recherche en 1967 et directeur de recherche en 1972. Il fut ensuite directeur de l'ICSN de 1974 à 1977 avec Edgar Lederer, co-directeur avec Sir Derek Barton puis Guy Ourisson, de 1978 à 1989, puis directeur de 1989 à 2000.

Dans les années soixante-dix, Pierre Potier s'investit aussi dans l'enseignement de troisième cycle à l'université d'Orsay puis au Muséum national d'histoire naturelle et fit partager aux étudiants sa passion des substances naturelles. Il fut également nommé « Visiting Professor » à l'université de Strathclyde pendant six ans.

En 1978, il lança un Programme interdisciplinaire de recherche sur les bases scientifiques du médicament (Pirmed) qu'il dirigea jusqu'en 1984. Ce programme permettait sous forme d'appels d'offre, de subventionner des équipes (du CNRS, de l'Inserm ou de l'université) travaillant sur la chimie ou la biologie de composés actifs. Sous son égide, plusieurs opérations furent lancées pour créer et développer des structures de recherche nouvelles, comme, entre autres, le Laboratoire mixte CNRS/Inserm à Montpellier, le Laboratoire de chimie à la faculté de Médecine des Saints-Pères.

De 1984 à 1989, il fut nommé directeur du Laboratoire mixte CNRS/Inserm-Uclat, et de 1994 à 1996, directeur général de la Recherche et de la Technologie au ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

Récipiendaire de la médaille d'Or du CNRS en 1996 couronnant ainsi l'ensemble de ses recherches consacrées à trouver des molécules aux propriétés thérapeutiques potentielles, Pierre Potier fut également Président de la Fondation de la Maison de la Chimie de 1995 à 2005.

Les recherches fondamentales et appliquées de Pierre Potier, à l'ICSN

Les coopérations, actions outre-mer et substances d'origine végétale et marine

Pierre Potier monta dès les années soixante des missions dans certains pays du monde, dont Madagascar, pays riche en biodiversité végétale. C'est grâce au botaniste Pierre Boileau qu'il sillonna plusieurs fois Madagascar et y développa une collaboration fructueuse. C'est ainsi que des étudiants

malgaches vinrent à l'ICSN pour préparer leur thèse de Doctorat pour travailler, entre autres, sur la composition chimique de certaines espèces du genre *Calvaranthus*, dont certains composés conduiront plus tard au médicament anticancéreux, la Navelbine®.

Au début des années soixante-dix, Pierre Potier créa avec Thierry Sévenet le « Laboratoire des plantes médicinales », situé en Nouvelle-Calédonie, pour étudier des plantes susceptibles de contenir des composés biologiquement actifs. C'est ainsi que plusieurs composés furent isolés, dont l'ellipticine de *Occhrosia elliptica*, qui fut étudiée par le professeur Georges Mathé pour son activité antitumorale et par le professeur Claude Paoletti pour ses mécanismes d'action. Plusieurs analogues furent synthétisés à l'ICSN, dont le Celplum® en 1978 qui fut commercialisé par l'Institut Pasteur Production-Sanofi et utilisé un temps en chimiothérapie anticancéreuse.

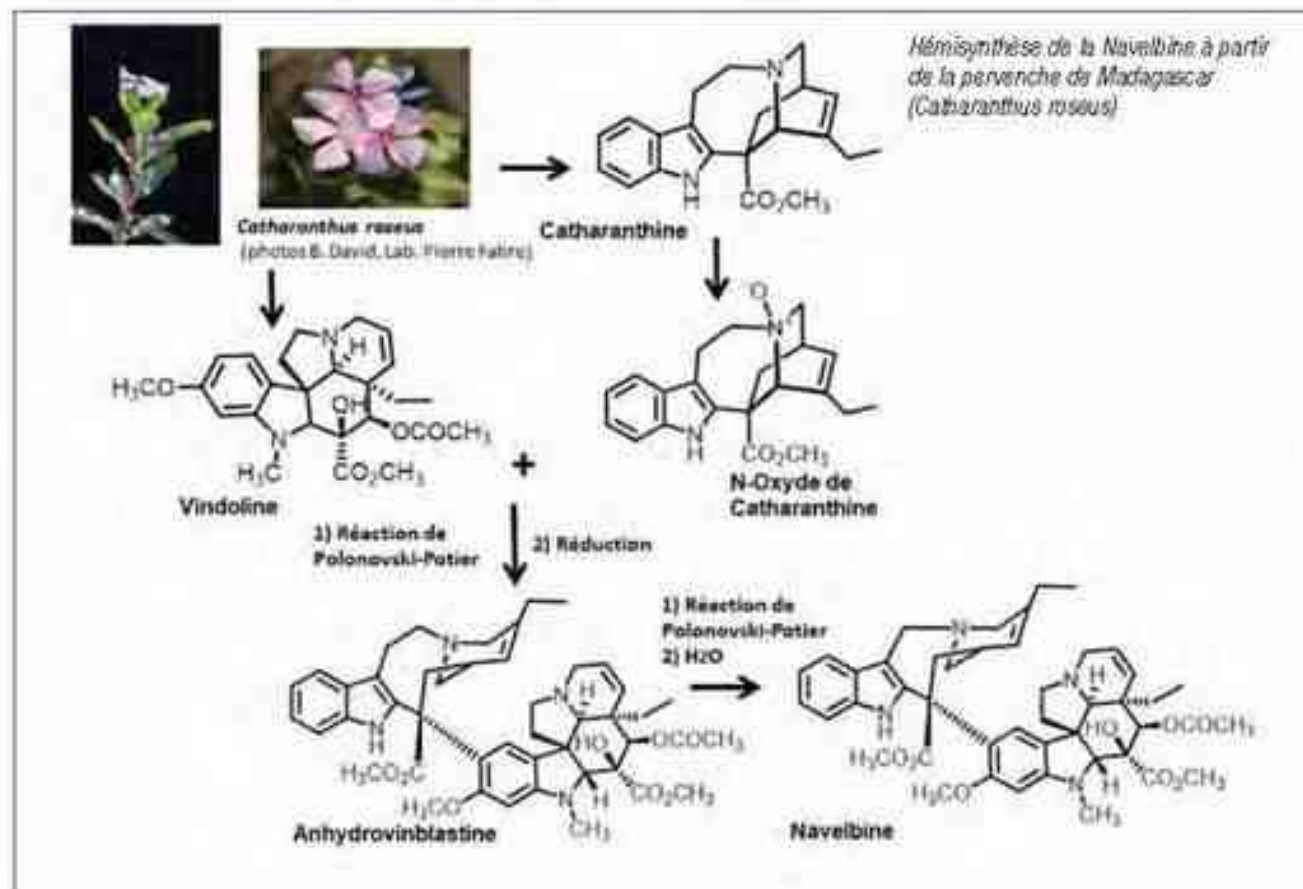
Puis, dans les années quatre-vingt, l'opération SNOM (Substances naturelles d'origine marine) est conçue afin d'étudier les plantes et/ou organismes marins pour leur activité antitumorale potentielle. Cette opération associait l'ICSN, son antenne de Nouvelle-Calédonie, l'Office de recherche scientifique et technique Outre-Mer (Orstom), aujourd'hui IFD (Institut de recherche pour le développement), et le laboratoire pharmaceutique de Rhône-Poulenc. Les recherches effectuées par l'équipe de Pierre Potier, conduisirent, entre autres, à l'isolement à partir de l'éponge *Cymbastela carcharias* (syn. *Pseudocyathia carcharias*), d'un composé antitumoral, très actif *in vitro* et *in vivo*, la grolfine. Malgré ses propriétés, la grolfine fut écartée des études cliniques en raison de toxicités secondaires.

En 1988, Pierre Potier avait perdu son épouse, emportée par un cancer du sein. Dès lors, il s'intéressa particulièrement aux composés antitumoraux. Sa ténacité conjugée aux coopérations qu'il avait initiées avec des partenaires du public et du privé, ont ainsi permis la mise sur le marché de deux médicaments anticancéreux, la Navelbine® et le Taxotère®.

La Navelbine®

À la fin des années soixante, Pierre Potier travailla avec une de ses équipes sur la N-oxylation d'alcaloïdes. Ces études amenèrent à proposer une voie de synthèse d'alcaloïdes de type vinblastine, alcaloïde de structure complexe isolé des feuilles de *Calvaranthus roseus*, et utilisé à l'époque dans le traitement de la maladie de Hodgkin et de lymphomes. Cette voie utilisait la réaction de Polonovski, modifiée par ses soins, et désormais nommée réaction de Polonovski-Potier. C'est ainsi que l'application de cette réaction à la catharanthine et à la vindoline, alcaloïdes majoritaires isolés de *Calvaranthus roseus*, conduisit pour la première fois à l'obtention d'un analogue de la vinblastine, l'anhydrovinblastine en 1974, puis à la vinblastine et à de nombreux autres analogues naturels ou non, dont la 5'-nor-anhydrovinblastine en 1977, plus connue sous le nom de navelbine.

Pierre Potier s'intéressait à cette époque, non seulement à la chimie de cette série d'alcaloïdes, mais également à leur mécanisme d'action qui était connu comme étant des inhibiteurs de polymérisation de la tubuline. Cette protéine ubiquiste présente dans les cellules eucaryotes, sous forme de dimères et sous forme polymérisée de microtubules, constitue la matière première d'édification du fuseau mitotique sur lequel migrent les chromo-



sones lors de la division cellulaire. C'est ainsi qu'en 1975, un essai *in vitro* fut développé dans son laboratoire, permettant de visualiser l'activité des produits naturels isolés ou synthétisés dans son équipe. Grâce à ce test, la 5'-nor-anhydrovinblastine fut sélectionnée pour son excellente activité inhibitrice de la polymérisation de la tubuline. Les essais d'activité et de toxicité de ce nouveau produit furent dans le même temps réalisés permettant les premières évaluations cliniques. La navelbine devint Navelbine®, médicament anticancéreux, commercialisé en 1989 par les laboratoires Pierre Fabre.

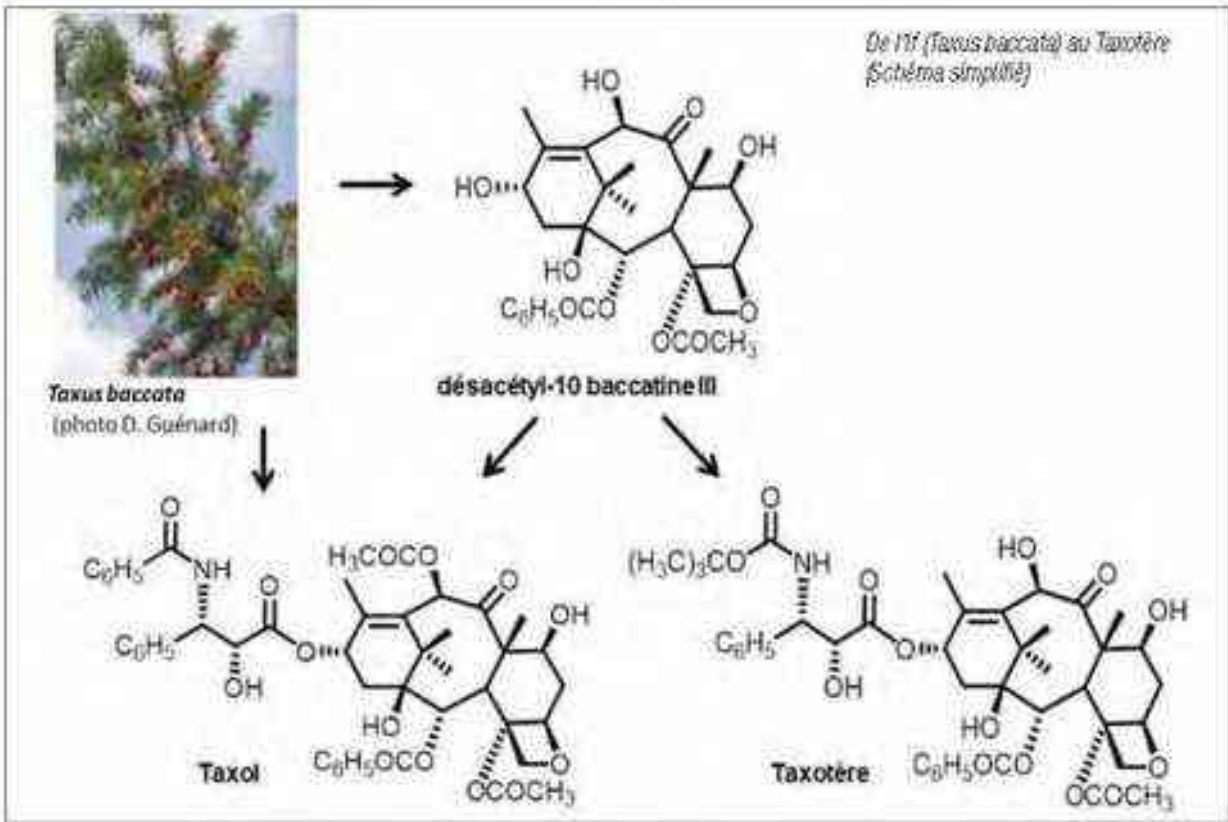
Le Taxotère®

C'est au tout début des années quatre-vingt que Pierre Potier décide de travailler sur le taxol, suite à la lecture d'une publication d'une équipe américaine, décrivant le mécanisme d'action original sur la tubuline de ce diterpène de structure complexe. Cette molécule, isolée de l'If du Pacifique *Taxus brevifolia*, aux propriétés antitumorales démontrées par une autre équipe américaine dans les années soixante, faisait l'objet d'une évaluation clinique aux États-Unis. Le problème majeur pour la poursuite de ces essais cliniques était de produire suffisamment de taxol, obtenu à partir des écorces de l'If du Pacifique avec des rendements très faibles. Compte tenu de l'origine naturelle du taxol et de l'activité biologique *in vitro* que l'équipe de Pierre Potier maîtrisait, une étude complète sur cette famille de produits fut entreprise avec comme objectifs : l'étude chimique de l'If commun européen (*Taxus baccata*), dont de nombreux spécimens

croissent autour du laboratoire et le suivi de l'activité biologique des composés isolés et synthétisés par le test tubuline. Parallèlement, Pierre Potier collaborant de longue date avec le laboratoire pharmaceutique Rhône-Poulenc Santé, le sollicita afin de réaliser les évaluations pharmacologiques dans l'idée d'un éventuel développement. L'extraction des feuilles des Ifs, source renouvelable, conduisit ainsi à l'isolation en grande quantité de la 10-désacétylbaccatine III, qui se révéla être une matière première idéale pour conduire non seulement au taxol, mais aussi à de nombreux analogues. Parmi ceux-ci, un composé se révéla être un inhibiteur du désassemblage des microtubules plus puissant que le taxol. Ce composé fut nommé Taxotère® et démontra une activité antitumorale remarquable lors des études pharmacologiques. La collaboration que Pierre Potier avait aussi entretenue avec les chercheurs du laboratoire pharmaceutique Rhône-Poulenc se révéla fructueuse, conduisant à la commercialisation du Taxotère®, en 1995.

Après ces succès, Pierre Potier consacra les dernières années de sa vie à chercher un traitement efficace du diabète de type 2 dont il était lui-même atteint.

Pierre Potier n'était pas seulement un grand Homme de science, connu internationalement, il était aussi un homme chaleureux et attentionné, à l'écoute de ses collaborateurs, il était un homme déterminé pensant que recherches publique et privée étaient complémentaires, il était un homme

[illegible]

haut en couleur et direct dans ses propos. En épilogue de l'allocution qu'il prononça pour la réception de la médaille d'or du CNRS, ne dit-il pas, non sans malice, « Je restai au service de la recherche tout le temps que je pourrai m'y rendre utile. L'état des neurones primera les circularités administratives quelquefois si misérables, comme ceux qui les ont écrites ! » [in : médaille d'Or du CNRS 1998].

Notizen

- 1 - Muriel Le Roux, « Hommage à Pierre Potier, dépasser les limites du présent », in *Rajonnement du CNRS*, n°41, été 2006.

INCLD : à l'instar de nombreux scientifiques, Pierre Potier appréciait peu que des directives de haute administration condamnent, au motif de l'atteinte de l'âge de la retraite, des chercheurs à renoncer à des travaux prometteurs.

Françoise Guérette, ICSN-CNRS
et Muriel Le Roux, IHMC-CNRS



Jean-Claude Bernier, ingénieur de l'Ecole nationale supérieure de chimie de Lille (ENSCL), docteur en sciences Sorbonne Paris a été professeur à l'université Louis Pasteur de Strasbourg, directeur de l'Ecole de chimie et fondateur de l'Ecole européenne de chimie, polymères et matériaux de Strasbourg (ECPM). Ensuite, il a été président du Pôle universitaire européen de Strasbourg, avant d'être directeur scientifique du Département des sciences chimiques du CNRS. Il est actuellement professeur émérite de l'université de Strasbourg.

Les diverses réunions internationales, soit sur le climat, soit sur la transition écologique, ont envahi la grande presse et les médias en popularisant la notion de transition énergétique. On passe souvent sous silence les nécessités de recherche et d'innovation que cette transition sous-entend. On essaye ici de souligner la place de la chimie dans les diverses composantes de cette transition, sur le « mix électrique », sur les transports, sur le chauffage et l'éclairage des bâtiments, et dans l'industrie, pas seulement chimique.

Introduction

Lors de la COP 23, on a pu constater la difficulté de passer d'un monde énergétique basé à 80 % sur les ressources fossiles à un monde d'énergie durable avec une gestion parcimonieuse de ces ressources. Pour la France, la Loi pour la transition énergétique et la croissance verte (LTECV) et le décret de 2015 sur la Stratégie nationale bas carbone (SNBC), pris dans un moment d'enthousiasme, prévoyaient que 32 % de l'énergie consommée serait renouvelable en 2030 et que la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) serait de 40 % par rapport aux émissions de 1990.

Les efforts pour parvenir à ces objectifs ne sont pas faciles. Les secteurs les plus gubonneux sont les transports, le tertiaire et résidentiel, l'industrie et la production d'électricité. Dans ces secteurs, la part de la chimie et de l'innovation dans la recherche de solutions thermodynamiquement et économiquement acceptables est essentielle. Passons-les en revue.

Le mix électrique

L'impression allemande de « *Energiewende* » suite à l'abandon de la filière nucléaire pour 2022 a montré l'absurdité d'un scénario « tout renouvelable » qui conduit in fine à s'appuyer sur un nombre considérable de centrales thermiques pour compenser la nature intermittente des productions photovoltaïques ou éoliennes et paradoxalement à l'augmentation des



Chimie et transition énergétique

émissions de GES et particules fines sans profits pour le consommateur qui paye le kWh le plus élevé d'Europe.

La France a un mix électrique particulier à 85 % décarbonné grâce au nucléaire (72 %) et à l'hydraulique (12 %). L'objectif de passer à 50 % du nucléaire et à la fermeture de 17 réacteurs en 2025 aurait conduit à une situation similaire ce qu'a compris le ministre de la Transition écologique et solidaire en reportant cette échéance et en

permettant une recherche qui peut d'ici là faire sauter quelques verrous technologiques.

Sur le nucléaire

La maîtrise des procédés de forgeage sur les aciers taiblement alliés de type 16 MN05 ou 16-20 MN05 ainsi que la modélisation du vieillissement sous radiations sont essentielles pour la sûreté et la durée de vie des nouveaux EPR. La recherche sur les réacteurs à neutrons rapides (RNR) fait appel à la fabrication des pastilles titrées de UO_2/PuO_2 du combustible et l'obtention industrielle de sodium fondu et azote de très hautes puretés pour les échangeurs ; des avancées en chimie sur la corrosion et l'analyse de traces en milieux extrêmes permettent de progresser. Le réacteur ASTRID de 600 MW va servir de démonstrateur pour un parc de nouveaux réacteurs qui doivent permettre de recycler un stock de combustible U/Pu pour une durée de 1 000 ans. Une autre voie de recherche est celle des réacteurs au thorium où l'essentiel des voies de recherche concerne la chimie des radio-isotopes.



et la corrosion des aciers aux sels ou alliages fondus. La troisième voie est une vraie rupture technologique, celle de la fusion nucléaire qui, maîtrisée, donnera une énergie quasi inépuisable sans émissions de gaz à effet de serre et moins de déchets radioactifs. Le projet mondial ITER dont le chantier a débuté à Cadarache devrait démontrer techniquement et scientifiquement que la fusion peut devenir une nouvelle source d'énergie à l'échelle industrielle à l'horizon 2030 - 2040. Quelques ruptures technologiques et non les moindres, se situent au niveau des alliages métalliques réfractaires internes, le système de chauffage du plasma, la maîtrise de stabilité dans la durée et la récupération et le stockage des ondes radioactives filtrées.

Sur les énergies renouvelables

L'éolien et le solaire représentent en 2017 de l'ordre de 20 % de la puissance installée mais moins de 6 % de la production électrique ce qui correspond à un taux de charge global de l'ordre de 0,20. Pour atteindre l'objectif de 50 % de nucléaire, il faut, soit remplacer les 125 TWh de production manquants, soit installer des puissances de l'ordre de 25 à 30 Gw pour l'éolien et 20 Gw de solaire ce qui revient à multiplier par trois le nombre d'éoliennes et de parcs photovoltaïques. L'innovation dans les champs éoliens reste incertaine, les progrès dans la fabrication des pales de plus de 60 m tiennent aux nouveaux composites à fibres de carbone. Les moteurs de moulins à entraînement direct économisent la quantité de terres rares qui redevenaient stratégiques, de nouveaux revêtements turtis sont à l'essai pour éviter les perturbations radioélectriques qui gênent les réceptions radio et le fonctionnement des radars d'aéroports ou de la défense. Pour le photovoltaïque, les labos du CNRS sont bien placés pour développer d'autres filières dont les cellules à couches minces CIGS (Cu, In, Ga, Se) avec un rendement qui atteint plus de 22 % mais attend un développement industriel. Les cellules CZTS (Cu, Zn, Sn, S, Se) et celles aux pérovskites de type $(\text{CH}_3\text{NH})_2\text{PbI}_2$ présentent une vraie rupture à condition de résoudre leur faible tenue thermique. La voie des multi-jonctions et des cellules tandem pour améliorer les rendements n'est pas à proprement parler une rupture mais un développement courageux qui implique la feuille de route «30-30-30», soit en 2030, 30 % de rendement PV et un prix de 30 cts par watt crête. Même si le prix du Watt crête (Wc) a été divisé par 3 en 5 ans, et que le MWh est proche de rivaliser avec le MWh nucléaire, le problème de l'extension de «l'électricité verte» est à la fois technologique et économique :

- **Technologique** : les producteurs d'énergie renouvelable injectent les électrons dans le réseau de façon aléatoire. Pour garder son équilibre et éviter les «black-out», les opérateurs doivent le maintenir à la milliseconde près et cela exige des algorithmes sophistiqués et des plate-

formes informatiques gérant des millions de données sur la consommation-production instantanée. Du fait de l'intermittence de production, il faut un tampon de réserve à l'échelle de plusieurs mégawatts que, pour l'instant, les batteries électrochimiques ion-lithium ou à flux ne savent pas fournir pour un prix concurrentiel du MWh.

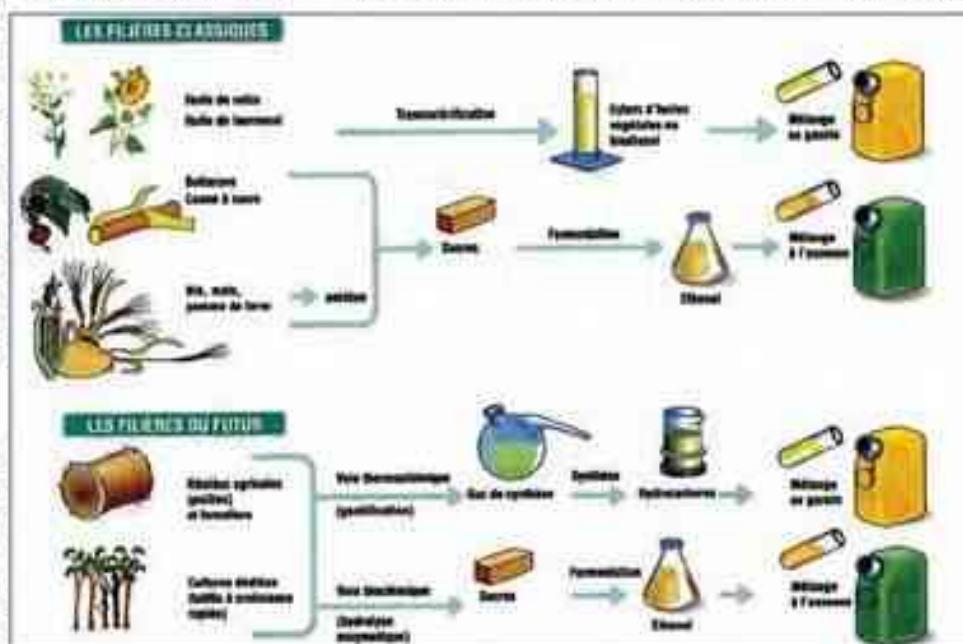
- **Economique** : les géants de l'éolienne en Europe tels Siemens-Gamesa issu de la fusion allemande-espagnole des deux concurrents, Vestas et Nordex, ne sont pas à la fête et annoncent des milliers de licenciements et des marges opérationnelles déclinantes. Ils sont victimes des baisses des subventions mais aussi de la concurrence chinoise dont Goldwind est



le champion. L'histoire du photovoltaïque se répète après le rachat de la quasi-totalité des européens Q-Cells, Solarwatt, SMA Solar, Solarwatt qui n'ont pas résisté au dumping chinois des panneaux solaires.

Les transports

Si la France est le bon élève de l'Europe avec ses faibles émissions de CO_2 pour la production électrique (France 60 g/MWh, Allemagne 560 g/MWh), elle reste un bon émetteur pour les transports : 130 à 170 Mt eqCO_2 pour



les 38 millions de véhicules particuliers et autres utilitaires ou poids lourds. On rappellera utilement que 1 000 km en automobile émet 210 kg de CO_2 , en avion 310 kg, en train 70 kg grâce à notre mix électrique. La mobilité individuelle est à 97 % dépendante du pétrole soit l'équivalent de 50 MTEP qui grèvent notre balance commerciale. La recherche et l'innovation technologique usent de plusieurs leviers pour réduire ces émissions :

- L'allégement des structures par des alliages légers et les composites. Les nouveaux Airbus A350, par exemple, contiennent 52 % de composites. Les moteurs automobiles ont réduit leur taille et sont en alliage d'aluminium. Les composites polymères ont conquis l'intérieur de la voiture mais font maintenant aussi partie des éléments de carrosserie. Les progrès de la mise en œuvre des composites à fibres de carbone sont pressés par là.
- Les véhicules propres. Les électro-chimistes ont fait des progrès ces dernières années. Les batteries ion-lithium sont de plus en plus fiables et augmentent leur capacité massique. Les moteurs électriques de propulsion ont également perdu du poids. Les véhicules à pile à combustible hydrogène ne sont plus un rêve, leur commercialisation débute. Elle s'accélérera comme pour les véhicules électriques avec la mise en place de stations de recharge en hydrogène ou d'électricité. Les réseaux français RS2E pour l'électro-chimie et AFHYAC pour l'hydrogène autour du CNRS, du CEA et d'entreprises européennes et PME sont très en pointe sur ces sujets.
- La catalyse post-émission qui réduit les traces de CO, NOx, et particules fines est aussi un moyen de réduire la pollution en ville et les émissions de GES. En ce domaine, les catalyistes ont remarquablement travaillé pour que les moteurs puissent respecter les normes Euro 5 et Euro 6.

Que ce soit pour les dispositifs LNT (Lean NOx Trap) ou SCR (Selective catalytic reaction), les catalyseurs base PtPdRh ou Pt-Rh-Ba/Al₂O₃ associés à



des capteurs de PO_x et de nouveaux filtres à particules sont de plus en plus sophistiqués et efficaces dans le temps. Le réseau français des laboratoires de catalyse est de réputation internationale.

Les biocarburants

Après la mise au point des biocarburants de première génération comme les EMHV (esters méthyliques d'huiles végétales) et le bioéthanol issu des cultures sucrières, leur concurrence avec les cultures vivrières leur fait marquer le pas. Ce sont maintenant les algocarburants issus des huiles des microalgues et le bioéthanol de seconde génération obtenu par biosynthèse de la cellulose des tiges et feuilles des végétaux qui font l'objet de développement. Le projet français Futurol basé sur plusieurs laboratoires de l'Inra, CNRS, IFPEN et entreprises arrive maintenant à la production pilote.

Dans ce domaine deux écueils sont à éviter : que l'énergie pour les produire ne dépasse pas le gain produit par le renouvelable et que le prix de revient soit économiquement non viable.

Le tertiaire et le résidentiel

Le chauffage et l'éclairage de nos habitations, des bureaux et magasins sont aussi des secteurs voraces d'énergie et d'émissions de CO_2 , de l'ordre de 112 MT eq CO_2 . La mise au point des diodes électroluminescentes (LED) dont le nitrure de gallium et d'indium (InGaN) qui a permis de reconstituer avec d'autres LED la lumière blanche a conquis l'éclairage domestique où les LED remplacent les lampes à filament avec une économie énergétique d'un facteur 5. Les OLED, dispositifs à semi-conducteurs organiques encore plus économiques, vont attaquer aussi ce marché.

Pour le chauffage, deux chantiers sont nécessaires, l'isolation et l'efficacité énergétique des bâtiments qui doivent progressivement respecter les normes RT2012 ou BBC (moins de 50 kWh/M2/An ou énergie positive). Pour l'isolation des bâtiments, les matériaux à faible coefficient de conduction thermique (λ) ont été largement développés : fibres de verre, fibres minérales, fibres végétales ou la chimie de synthèse et de



revêtements a trouvé place. De même, les procédés de fabrication des polystyrènes expansés (PSE) ou extrudés, des couches de polyéthylène ou de la ouate de cellulose sont bien maîtrisés et confortent un secteur commercial important.

Pour les vitrages, les doubles lames de verre séparées par de l'air sec ou de l'argon à plus faible coefficient (λ) avec un revêtement intérieur micro métallique réfléchissant le rayonnement infra-rouge se généralisent pour les ouvertures vitrées. Pour le gros œuvre, les briques céramique monoblocs à structure alvéolaire, les multi-parois isolantes et les ossatures bois se partagent le marché de la construction. La rénovation thermique des bâtiments anciens est bien plus problématique, malgré les dispositions du crédit d'impôt, des emprunts à taux zéro et des subventions diverses. Le point noir est sans doute la formation des entreprises et artisans à ces aménagements car souvent, après travaux, le rapport coût/efficacité énergétique n'est pas au rendez-vous. L'objectif de 400 000 rénovations thermiques annuelles visé par le gouvernement ne sera pas facile à réaliser.

L'Industrie

Les émissions de GES par l'industrie représentaient 85 MT eq CO₂ en 2016 alors qu'en 1990 elles étaient de 147 MT, c'est dire que le chemin de réduction de 30 % est déjà fait. Il faut voir aussi que, dans cette même période, la part de l'industrie dans le PIB est passée de 18 à 11 % !

La chimie pour sa part a suivi une démarche vertueuse conformément au programme européen « Responsible Care ». Les économies d'énergie et d'émission ont fait passer de 55 MT eqCO₂ en 1990 à 22 MT eqCO₂ en 2016 ; soit une réduction proche de 60 %. Cette évolution a pu être obtenue par des investissements en génie des procédés économes en énergie, des catalyseurs performants et la récupération thermique des émissions fatales. Quelques prototypes de séparation et récupération du CO₂ pour en faire une matière première de molécules organiques sont en développement. La métallurgie a suivi le même chemin avec des contraintes inhérentes aux procédés. Pour l'aluminium, la production primaire a été de 400 MT et de 460 MT pour l'aluminium secondaire de refusion, avec un bilan total de l'ordre de 2 MT de CO₂. Les essais de remplacement des électrodes de carbone dans le procédé cryolithique d'électrolyse Hall-Héroult par des électrodes inertes supprimant les émissions de CO₂ sont pour l'instant en stand-by. Pour l'acier, la production a été de 16 MT dont 5,5 MT de recyclés ayant entraîné l'émission de 20 MT de CO₂, à comparer aux 30 MT en 1990. Avec déjà 33 % de réduction, obtenus par des programmes d'innovation dans la réduction des minerais et de récupération de chaleur tels que dans le consortium européen ULCOS (*Ultra Low Carbon dioxide Steelmaking*), mais aussi hélas par la disparition d'un certain nombre de centres de productions qui ont fait passer la France du 8^e au 15^e rang mondial soumis à la concurrence sauvage des pays d'Asie.

Conclusion

La transition énergétique pose un véritable défi aux chimistes. La chimie intervient dans le nucléaire, la séparation des actinides, les matériaux, les

études de corrosion en milieu ionisant. Elle intervient aussi dans les énergies renouvelables : trouver de nouveaux photovoltaïques à fort rendement sans trop d'éléments rares ou stratégiques, retrouver pour les éoliennes des matériaux d'alimentation à faible concentration de terres rares. Résoudre le verrou technologique du stockage de l'électricité à l'échelle du GWh, recycler les composants des batteries (Li, Co, Ni...) avec des procédés rentables économiquement. Trouver des procédés de biosynthèses de transformation de la biomasse pour obtenir des molécules pour la chimie fine ou des biocarburants 2^e pouvant concurrencer les produits issus du pétrole. Développer la chaîne des transports propres soit en trouvant les batteries à un rapport capacité/poids supérieur à 1 kWh/kg ou des membranes et catalyseurs économiques pour les piles à hydrogène. Développer la chimie du CO₂, initier les nouveaux écolab nanostructurés, innover sur les procédés de moulage des composites carbone compatibles avec une production automobile de masse. Trouver des méthodes chimiques de recyclage des métaux stratégiques pour l'énergie, compatibles économiquement avec le marché, etc... L'outil probablement de nombreux secteurs où la chimie est indispensable.

Dans les émissions grand public et dans les journaux nationaux, on oublie souvent quelques aspects importants en se basant essentiellement sur la nécessité de cette transition pour agir sur le réchauffement de la planète. Et si ce changement climatique était plus complexe et ne dépendait peut-être pas seulement de la teneur atmosphérique en CO₂ ? Ce qui paraît alors le plus urgent pour les scientifiques c'est l'épuisement des ressources naturelles et l'obligation forte d'y faire face en économisant les ressources fossiles carbonées et les ressources minérales. C'est une nouvelle chimie verte imaginative qui est en route, c'est une nouvelle chimie de l'énergie qui devient incontournable.

N'oublions pas cependant qu'une telle rupture repose aussi sur une évolution industrielle, sur une nouvelle politique publique, une transformation des infrastructures, une évolution sociale, l'adoption de nouveaux comportements et l'acceptation d'un large public malgré les contraintes et coûts économiques pénalisants et indispensables mais souvent passés sous silence dans les médias.

Jean-Claude Bernier (Novembre 2017)

Pour en savoir plus

- Chimie et enjeux énergétiques, EdP sciences 273 p, 2013.
- Chimie et changement climatique, EdP Sciences 253 p, 2016.
- La transition énergétique quel chantier, L'actualité chimique, juillet 2017 N° 420, p 7.
- La baisse des émissions de CO₂ : quel chantier ? L'actualité chimique, septembre 2017, p 3.
- Transition énergétique : la recherche, quel chantier ? L'actualité chimique, novembre 2017, p 7.
- Chemistry Select, 1, 4906-4926.
- Ruiz-Mirazo K., Briones C. & de la Escosura A. (2014). Prebiotic Systems Chemistry : New Perspectives for the Origins of Life, Chemical Reviews, 114, 285-368.



André Brack est directeur de recherche honoraire au CNRS, au Centre de biophysique moléculaire d'Orléans, où il a créé l'équipe d'écobiologie. Il est reconnu comme le fondateur de cette thématique en France. Il est membre d'honneur de l'Institut d'astrobiologie de la NASA et a présidé la Société internationale pour l'étude de l'origine de la vie ainsi que le Réseau européen d'astrobiologie, qu'il fonda en 2001. Il est également président-fondateur d'honneur de Centre-Sciences, le centre de vulgarisation scientifique de la région Centre-Val de Loire.

À l'image des alchimistes au Moyen Âge à la recherche de la pierre philosophale permettant de transformer la matière en or et en argent, les chimistes modernes cherchent à comprendre comment une fraction de matière inerte se transforme en matière vivante capable d'auto-reproduction et d'évolution. Se posent alors de nombreuses questions : dans quel environnement ? Quelle matière ? Comment ?

L'eau berceau de la vie

Sur Terre, le passage de la matière à la vie se fit dans l'eau. La Terre primitive consistait en petits continents, ressemblant à l'Islande d'aujourd'hui, entourés de bassins d'eau peu profonde mais chaude, de l'ordre de 50 à 80°C. L'atmosphère de la Terre primitive était dominée par du dioxyde de carbone accompagné, dans une moindre mesure, par de l'azote et de la vapeur d'eau. Elle était dépourvue d'oxygène mais possédait probablement un peu de méthane dont la teneur reste difficile à apprécier. Il est admis que l'eau liquide était présente à la surface de la Terre peu de temps après sa formation, il y a plus de 4 milliards d'années, comme l'attestent les rapports isotopiques de l'oxygène mesurés dans un zircon, petit cristal de silicate de zirconium vieux de 4,4 milliards d'années, retrouvé dans des sédiments d'Australie occidentale.

Trois filières pour la fabrication des molécules carbonées

On considère généralement que la vie, à son origine, utilisait déjà des molécules organiques construites sur un squelette d'atomes de carbone auxquels sont associés des atomes d'hydrogène, mais aussi d'oxygène, d'azote, de soufre, de phosphore, précurseurs des molécules biologiques contemporaines. Grâce à leur tétravalence, les atomes de carbone permettent la construction d'échafaudages moléculaires de plus en plus complexes, complexité qui permet aux systèmes d'évoluer.

Les formes de carbone les plus simples susceptibles de conduire aux molécules organiques sont gazeuses : dioxyde de carbone et monoxyde de carbone pour les formes oxydées et méthane pour la forme réduite, potentiellement présents dans l'atmosphère terrestre. L'idée de composés chimiques fabriqués dans l'atmosphère terrestre fut d'abord émise par le biochimiste russe Alexandre Oparin en 1924, puis par l'Anglais John Haldane en 1929. Oparin pensait que l'atmosphère primitive était dominée par le méthane alors que, pour Haldane, les molécules organiques se seraient formées à partir de dioxyde de carbone. L'hypothèse d'Oparin se trouva contredite en 1953 par l'expérience du chimiste américain Stanley Miller. Ce dernier obtint quatre acides aminés en soumettant un mélange gazeux de méthane, d'hydrogène, d'ammoniac et d'eau à des décharges électriques. Il identifia également l'acide cyanhydrique et le formaldéhyde qui permettent d'accé-

Et la matière se mit à vivre...

der à la plupart des trigrammes du vivant dans des conditions simples. Depuis l'expérience de Miller, la plupart des acides aminés utilisés aujourd'hui par les protéines ont été isolés ainsi que certains éléments constitutifs des acides nucléiques. Cependant, les géochimistes privilégient une atmosphère terrestre primitive

neutre dominée par le dioxyde de carbone et l'azote. Dans de tels mélanges gazeux, la production d'acides aminés est très faible.

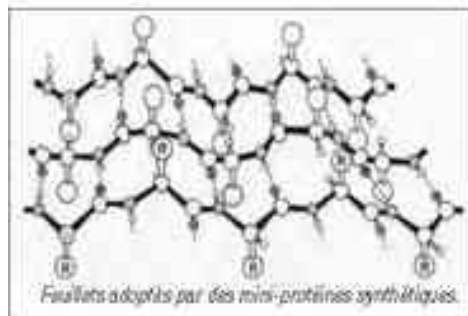
Deux nouvelles filières sont apparues depuis la célèbre expérience de Miller. Les gaz qui s'échappent des sources hydrothermales sous-marines comme celle de Rainbow, située à quelque deux mille mètres de profondeur au large des Açores, sont riches en hydrogène et en CO_2 et génèrent de longues chaînes de carbone et d'hydrogène, premiers pas possibles vers les membranes. La seconde piste concerne des ingrédients arrivant de l'espace. C'est ainsi que la météorite de Murchison, tombée en Australie en 1969, contenait plus de soixante-dix acides aminés différents, dont 8 des 20 acides aminés protéiques. Des collides de micrométéorites dans les glaces du Groenland et de l'Antarctique par l'équipe de Michel Maurelle permettent d'extraire à environ $2,5 \times 10^{12}$ g la masse totale cumulée de matière organique livrée à la Terre pendant les 200 millions d'années du bombardement intense, représentant une couche de 30 m d'épaisseur de « matière noire » à la surface de la Terre.

Comment cette matière première organique s'est-elle mise à vivre ?

L'universalité du code génétique et le mode de fonctionnement cellulaire commun à tous les systèmes vivants actuels ont longtemps fait penser que la vie terrestre était née sous les traits d'une mini-cellule. À partir des petites molécules organiques, les chimistes se sont donc efforcés de reconstituer en laboratoire des modèles réduits de membranes, de protéines et d'acides nucléiques. Certaines substances organiques présentes dans les météorites carbonées de Murchison et d'Allende forment dans l'eau des diblocs qui ressemblent à des membranes. Des acides gras sont notamment présents dans ces météorites. Toutefois, les membranes produites à l'aide de ces composés amphiphiles simples ne sont pas stables, de sorte que des composés chimiques plus complexes ont vraisemblablement été nécessaires pour conférer une bonne stabilité aux membranes primitives.

Des mini-protéines ont été reconstituées, notamment dans notre laboratoire à Orléans. Toute une série de mini-protéines construites sur une alternance stricte d'acides aminés hydrophiles et hydrophobes a été préparée. Elles adoptent toutes une structure en feuillets dans l'eau par agrégation des groupes hydrophobes, à condition que le caractère hydrophobe soit bien marqué.

Les feuillets sont très résistants et ne peuvent être formés qu'avec des acides aminés de même polarité, tous gauches ou tous droits. Les argiles permettent également d'obtenir des chaînes de mini-protéines.



La grande majorité des travaux de reconstitution en laboratoire d'acides nucléiques primitifs porte sur les acides nucléiques à ribose (ARN) considérés comme étant plus anciens, plus primitifs, que les ADN à désoxyribose. A ce jour, la synthèse de nucléotides, les constituants élémentaires de l'ARN, combinaison d'un phosphate, d'un sucre et d'une base, n'a pu être reproduite en laboratoire dans des conditions simulant l'environnement des océans primitifs.

Les bases nucléotidiques sont obtenues facilement à partir de l'acide cyanhydrique, mais la synthèse des sucres à partir de formaldéhyde fournit un mélange très complexe dans lequel le sucre recherché, le ribose de l'ARN, est très minoritaire. Le rôle à la fois protecteur et catalyseur de l'acide borique a peut-être permis de lever cet obstacle, comme montré par les travaux pionniers de Benoît Prieur.

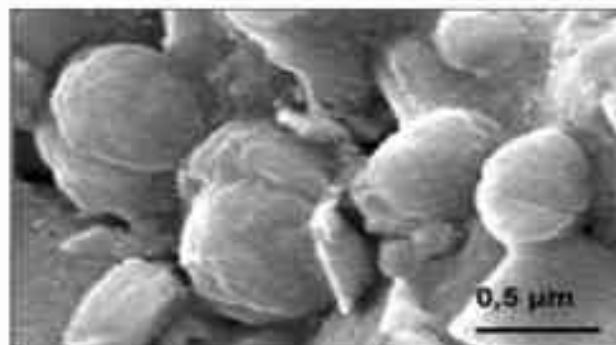
Certains ARN sont capables non seulement de véhiculer l'information mais aussi d'exercer une activité catalytique, comme les enzymes protéiques. Très vite s'est développée l'idée d'un monde d'ARN berceau de la vie terrestre. Le monde de l'ARN a constitué vraisemblablement un épisode dans l'histoire de la vie. Cependant, comme la formation spontanée et la survie d'ARN dans les océans primitifs semblent difficiles, il est probable que l'émergence du monde d'ARN ait été précédée par des systèmes auto-catalytiques plus simples se développant sur des surfaces minérales.

D'autres pistes sont proposées

Des chercheurs postulent que la vie est d'abord apparue sous les traits de vésicules. La croissance auto-catalytique de vésicules a été démontrée en laboratoire mais la question est de savoir si ces vésicules, dont l'auto-organisation supramoléculaire n'est gouvernée que par des forces physico-chimiques, peuvent s'enrichir d'une information chimique leur permettant d'évoluer.

A l'idée d'une vie primitive hétérotrophe émergeant dans une soupe primitive fournissant tous les éléments nécessaires, Günter Wächtershäuser oppose une vie auto-catalytique autotrophe utilisant directement le dioxyde de carbone comme source de carbone et se développant sur des surfaces minérales de pyrite.

Peut-on s'inspirer des microfossiles ?



Microfossiles en forme de coques (Pilbara, Australie) vieux de 3,34 milliards d'années (Frances Westall).

Les roches sédimentaires les plus anciennes ont été découvertes dans le sud-ouest du Groenland et sont vieilles d'environ 3,8 milliards d'années. Le carbone est enrichi en son isotope ^{12}C ce qui suggère une origine biologique, mais ne prouve pas de manière certaine l'existence d'une vie primitive, il y a 3,8 milliards d'années. Ce matériau complexe a subi d'importantes modifications au cours du temps transformant la matière organique en graphite, ce qui rend son analyse difficile et controversée.

Les microorganismes fossiles les plus anciens ont été trouvés dans les sédiments de Barberton en Afrique du Sud et du Pilbara en Australie. Ces sédiments, vieux de 3,2 à 3,5 milliards d'années, montrent l'existence d'une vie foisonnante dans des eaux littorales de faible profondeur, comme montré notamment par Frances Westall, au Centre de biophysique moléculaire à Orléans. Malheureusement, il ne reste rien des balbutiements de la vie.

Conclusion

L'expérience remarquable de Miller a plus de soixante ans. En démontrant qu'il était possible de former des acides aminés à partir de méthane, le représentant le plus simple des molécules organiques, Miller suscita un énorme espoir : les chimistes allaient pouvoir reconstituer une vie primitive en tube à essais. Force est de constater que l'objectif n'a pas encore été atteint. Jusqu'à présent, les chimistes ont suivi une démarche raisonnée, allant concept et vérification expérimentale. Une autre stratégie consisterait à mimer au plus près la soupe primordiale dans son environnement géochimique et de laisser évoluer la chimie aléatoire. Cette démarche de type alchimiste ne permet pas de maîtriser l'aspect conceptuel, mais c'est peut-être le prix à payer pour réaliser le rêve de recréer une vie simple en tube à essais.

Pour en savoir plus

- Dass A. V., Hickman-Lewis K., Brack A., Kee T. & Westall F. (2016). *Stochastic Prebiotic Chemistry within Realistic Geological Systems*. *ChemistrySelect* 1, 4906-4926.
- Ruiz-Minaz K., Briones G. & de la Escosura A. (2014). *Prebiotic Systems Chemistry: New Perspectives for the Origins of Life*. *Chemical Reviews*, 114, 285-366.



Philippe Walter, directeur de recherche au CNRS, dirige le Laboratoire d'archéologie moléculaire et structurale localisé sur le Campus Pierre et Marie Curie de Sorbonne Université. Il mène des recherches dans le domaine de l'art et de la chimie qui le conduisent, d'une part, à développer des instruments mobiles d'analyse non invasive et, d'autre part, à expliquer les pratiques anciennes par la chimie moderne. Il a reçu la médaille d'argent du CNRS et le Grand prix Le Bel de la Société chimique de France.

La recherche sur les matériaux anciens, quels qu'ils soient, nécessite de considérer tout d'abord qu'ils ont été élaborés par des artistes et des artisans à partir de techniques souvent complexes et à un moment donné de leur carrière. Ce qui a été produit une année ne le sera peut-être plus par la suite. On peut aujourd'hui tenter de reconstituer les étapes de création des tableaux en étudiant l'évolution des procédés de synthèse ou de formulation. Surtout, ces matériaux ont traversé le temps : leur compréhension nécessite donc également de prendre en compte ou de reconstituer les mécanismes d'altérations chimiques, physiques et microbiologiques.

Jusqu'au milieu du XIX^e siècle, les projets artistiques imaginés par les peintres ont été dominés, dans la pratique comme dans la théorie, par le concept d'imitation de la nature, de mimésis, et d'expression sensible de la réalité. C'est certainement pour répondre à cette ambition créative à la fois mimétique et expressive que l'inventivité technique est apparue comme une clé indispensable aux artistes. Lors de la création de son œuvre, le peintre doit en effet prendre en compte les propriétés des matériaux qui sont à sa disposition et qui peuvent limiter ses capacités créatives ou bien, au contraire, le conduire à imaginer de nouvelles manières de peindre. Ce type de préoccupation apparaît notamment dans les échanges qui nous sont parvenus entre les artistes et leurs marchands de couleurs. Ainsi en est-il d'une lettre (fig. 1), couverte de tests colorés qu'Eugène Delacroix a adressée en 1827 à son marchand pour « lui faire broyer sur le champ » différents pigments, « le tout plus à l'usage que les couleurs qu'on prépare pour tout le monde », écrivait-il. La nature des liants, leur fluidité et les conditions de leur séchage plus ou moins rapide ont aussi été des paramètres très importants dans l'évolution des arts et des manières de peindre.

L'étude de ces phénomènes permet aujourd'hui un nouveau regard sur l'Art qui met en avant la dimension matérielle de l'œuvre et du processus créatif. C'est ainsi qu'est proposée de dénommer *Art-chimie* une approche scientifique qui permet l'étude des méthodes de préparation de la matière picturale et des phénomènes de combinaison ou de décomposition des ingrédients qui résultent de leur action moléculaire les uns sur les autres ou de l'effet de l'environnement. Cette approche étaye la reconstitution du travail technique de l'artiste, autrefois le plus souvent effectué dans son atelier avec l'aide d'élèves, d'apprentis et d'ouvriers. Elle aide aussi à l'authentification et à la restauration des œuvres d'art.

Redécouvrir une première version de l'œuvre

Ce domaine de recherche interdisciplinaire a pris ces dix dernières années un nouvel essor grâce à de nouvelles technologies d'analyse physico-chimique et d'observation scientifique, mais aussi parce que des spécialistes, issus de toutes les disciplines relatives aux sciences de la matière et aux

L'art-chimie

sciences humaines et sociales acceptent de croiser leurs méthodes et leurs données pour considérer différemment le geste créateur. Les techniques d'imagerie chimique sont de plus en plus souvent employées pour l'étude des tableaux afin de compléter les traditionnelles images scientifiques obtenues par radiographie, réflectographie infrarouge et fluorescence sous ultraviolet. Non invasives, elles permettent l'acquisition d'un grand nombre de données spatiales et chimiques dont l'interprétation ouvre de nombreuses perspectives pour regarder autrement les œuvres d'art.

L'image hyperspectrale dans le domaine du proche infrarouge (1 000-2 500 nm) d'un tableau réalisé vers 1528 par Andrea del Sarto (*La Suisse Famille*, musée National du Palais Barberini, Rome) a permis de révéler plusieurs importants changements de composition et de faire un lien entre la version préparatoire aujourd'hui disparue et d'autres peintures de l'artiste. Joseph tenait une croix, Marie regardait en face d'elle, etc. (fig. 2). Ces images de la peinture sous-jacente, véritable version préparatoire établie avec des pigments et non avec un simple tracé de mise en place, ont été obtenues à partir de traitements statistiques sur les données spectrales composées de millions de mesures réalisées sur le tableau afin de révéler des spécificités qui sont caractéristiques des matériaux qui ont été employés.

D'autres cartographies chimiques obtenues par spectrométrie de fluorescence des rayons X révèlent la répartition des pigments à partir de la détection des éléments qui les composent. Une telle analyse de la représentation de Méduse présente sur le bouclier d'Achille dans la frise du trésor de Siphnos, à Delphes (Grèce), révèle des traces de polychromie qui ne sont aujourd'hui absolument plus visibles, masquées par les encroûtements et les altérations du marbre qui se sont produits depuis la réalisation du monument à la fin du VI^e siècle avant notre ère. Du plomb minéralisé l'iris des yeux qui avaient le pouvoir de pétrifier tout modelé qui les regardait. Du cuivre, très vraisemblablement associé à un pigment vert d'après des observations au microscope de la surface de la pierre, est présent dans les cheveux et dessine les serpents entrelacés bien connus sur d'autres représentations de la Gorgone. Ces traits peints se poursuivent



Fig. 1 : Ferdinand-Victor-Eugène Ostalovic, Lettre à Monsieur Hery, marchand de couleurs, Rue du Colombier près la rue des petits augustins, 20 octobre 1827 Paris, bibliothèque de l'INHA, collections Jacques Doucet, Ms. 217 pièce 2.

sur des parties non sculptées du boudier et démontrant que la couleur pouvait servir à compléter le relief et que peintres et sculpteurs devaient travailler ensemble lors de la réalisation de telles œuvres.

La synthèse d'un composé aux propriétés remarquables

L'adaptation puis l'insertion efficace d'une technique, d'un produit chimique ou d'un outil se concrétisaient dans les pratiques artistiques par une transmission qui pouvait être d'ordre théorique ou bien expérimentale. À partir de ces innovations, les artistes ont pu produire des œuvres d'art qui exploraient la nature de manière nouvelle. Les exemples de synthèse de pigments sont multiples. Dans le domaine des lants, il en est de même avec des préparations parfois complexes qui étaient très probablement à mettre en relation avec les pratiques de la pharmacie et de l'alchimie.

L'étude des recettes pour préparer un médium à peindre, c'est-à-dire un ingrédient qui était ajouté à la matière picturale pour en modifier ses propriétés, a montré l'efficacité que possédaient avoir ces inventions. Afin de

pouvoir peindre plus vite, en quelques jours, avec des effets de textures et de volumes plus importants, J. M. William Turner et d'autres artistes anglais de sa génération ont bénéficié au début du XIX^e siècle de la mise au point par des chimistes du gummion, un gel formé lors du broyage d'un mélange d'huile, de résine et de sels de plomb. Le plomb n'est pas seulement le catalyseur de la gélification, il intervient également dans l'architecture de ce système hybride organique-inorganique. En reconstituant les recettes originales, les propriétés du gummion ont été précisées : un ajout, même en faible quantité, de ce produit à une peinture à l'huile suffit pour modifier ses propriétés mécaniques, les propriétés élastiques obtenues étant bien supérieures à celles de la peinture employée jusqu'alors. Grâce à de tels composés, il devenait possible de superposer des couches de peinture sans qu'elles ne se mélangent, et ainsi de ne pas attendre le séchage d'une première couleur pour en appliquer une seconde au-dessus. Combinés avec l'invention des tubes hermétiques en feuille d'étain, vers 1840, de tels composés encourageront les peintres à sortir de leurs ateliers pour capturer la lumière extérieure et développer des mouvements comme celui des Impressionnistes.

Une contribution à l'expertise

Sans dater réellement le tableau, l'histoire des pigments permet aussi de le placer dans un contexte chronologique. Les pigments blancs ont ainsi évolué au cours du temps, et tout particulièrement depuis le XIX^e siècle : ils ont longtemps été constitués de blanc de plomb, un mélange de carbonates de plomb, qui a été très progressivement substitué par le blanc de zinc ZnO , à partir des années 1780, et surtout après 1834, lorsque le fabricant de couleurs anglais Winsor & Newton modifia sa méthode de synthèse chimique pour lui conférer de meilleures propriétés optiques et le commercialisa sous l'appellation Blanc de Chine. Il fut ensuite lui-même remplacé par le dioxyde de titane TiO_2 , sous la forme cristalline de l'anatase dans les années 1920, puis du rutile après la seconde guerre mondiale. Ainsi, la détection de l'un ou l'autre de ces pigments va permettre de préciser la fourchette chronologique de réalisation du tableau et, ainsi, de vérifier si l'artiste supposé auteur de l'œuvre a pu employer ces matières.

D'autres couleurs (les bleus, les verts, les jaunes, ...) sont également très utiles pour ce propos et le développement de nombreux nouveaux pigments par la chimie moderne font de l'analyse chimique des tableaux un outil de plus en plus indispensable à une bonne expertise : de nombreux faux ont été identifiés ces vingt dernières années par des analyses chimiques. Les procédés d'expertise scientifique associés à de bonnes contextualisations historiques permettent de compléter l'expertise stylistique aujourd'hui proposée sur les biens culturels.

Conclusion

Le rôle de la chimie a ainsi toujours été très important pour la création artistique. La possibilité d'analyser les constituants des œuvres de manière non invasive et *in situ* ouvre aujourd'hui la voie à de nouvelles recherches dans le domaine de l'histoire de l'art et des techniques.



Fig. 2 - Andrea del Sarto, *La Sainte Famille*, Musée National du Palais Bartolomeo, Rome ; images faussées à partir de traitements statistiques effectués sur les données hyperspectrales mesurées sur l'œuvre dans le domaine du proche infrarouge (1 000-2 500 nm).

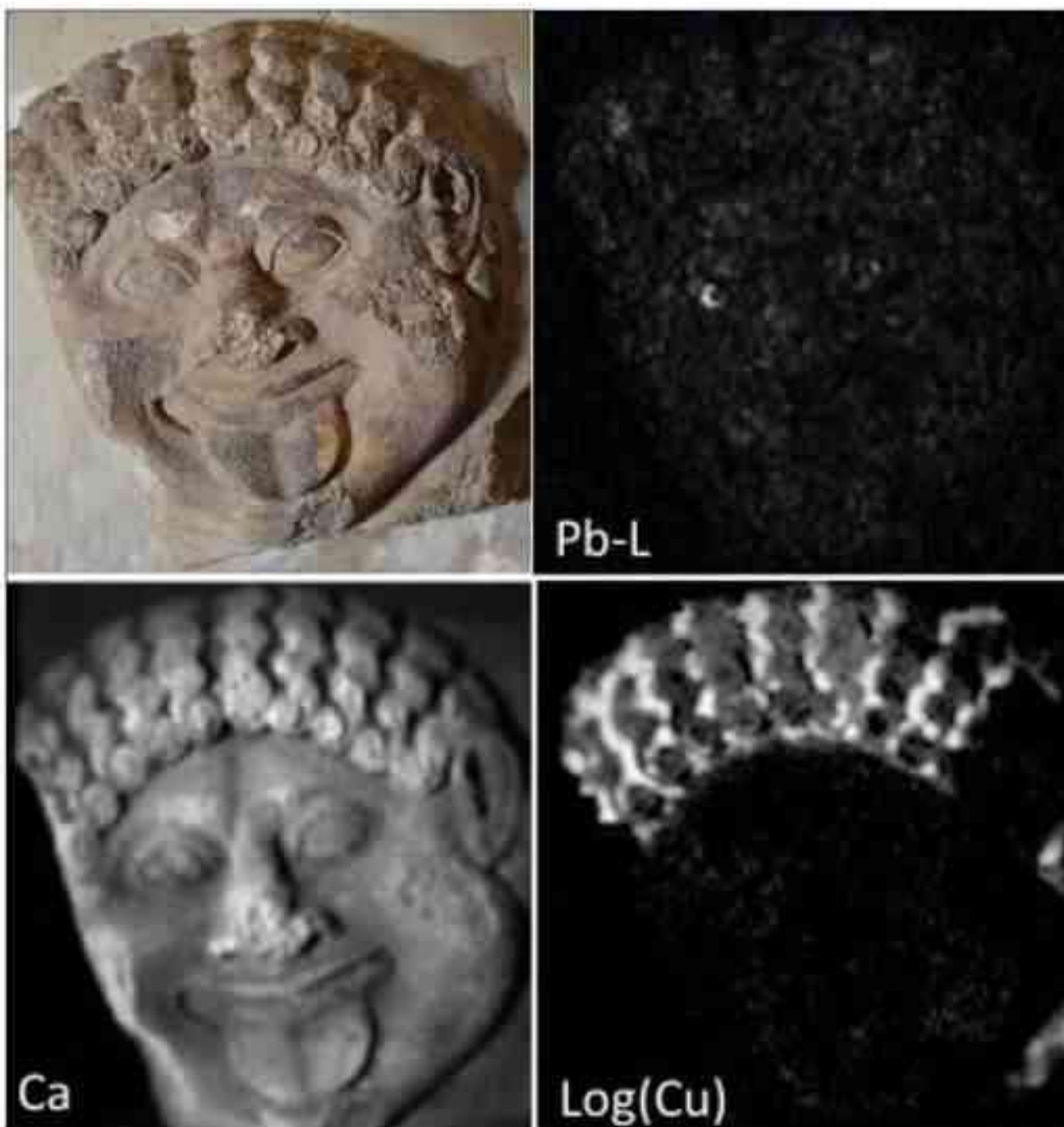


Fig. 3 : Distributions chimiques élémentaires du cuivre (Cu), du plomb (Pb) et du calcium (Ca) obtenues par spectrométrie de fluorescence des rayons X sur la représentation de Méduse dans la frise du trésor de Siphnos (Délos, Grèce).

Pour en savoir plus

• Philippe Walter, François Cardinal, *L'Art-Chimie, Enquête dans le laboratoire des artistes*, Éditions Michel de Maule/Fondation de la Maison de la Chimie, 175 p, 2013.

• Philippe Walter – Sur la palette de l'artiste : la physico-chimie dans la création artistique, dans la collection : *Léçons inaugurales du Collège de France*, n° 245, Ed. Collège de France / Fayard, 80 p, 2014.



Dominique Massiot¹⁾ a fait ses études à l'école normale supérieure et à l'université Paris 7. Ses travaux de recherche portent sur la caractérisation structurale et dynamique de matériaux désordonnés et vitreux, de la température ambiante jusqu'à leur état fondu de très haute température, en particulier par résonance magnétique nucléaire. Il a contribué au développement de dispositifs expérimentaux combinant RMN, chauffage laser et lévitation aérodynamique pour atteindre des températures de plus de 2000 °C. Ses travaux sur l'ordre et le désordre dans les matériaux vitreux, la spectroscopie RMN à très haute température, la RMN des noyaux quadrupolaires et la modélisation

des spectres de RMN du solide font référence dans la communauté²⁾. Il est l'auteur du programme DMFIT qui compte plus de 5 000 utilisateurs et plus de 2 000 citations pour la publication de référence³⁾.

Entré au CNRS en 1984 comme Chargé de recherche, il est nommé Directeur de recherche en 1996. Il crée en 2000 le Réseau RMN structurale du Grand Bassin Parisien (FR2050 CNRS) qui coordonne un réseau de recherche au niveau inter-régional. En 2007, avec le soutien du département chimie du CNRS, il crée avec Lynette Emsley (Lyon), l'Infrastructure RMN Très Hauts Champs (IR-RMN-THC) qui coordonne l'accès aux spectromètres RMN les plus puissants à l'échelle nationale. En 2008, il crée le CEMHTI (UPR3079 CNRS) sur le campus d'Orléans qu'il dirige jusqu'en avril 2013. Entre 2011 et 2013 il est Délégué scientifique en charge de l'interdisciplinarité auprès de l'INC du CNRS. D'avril 2013 à Juin 2017 il dirige l'Institut de chimie (INC) du CNRS.

Il a publié plus de 200 articles recevant plus de 11 000 citations. Il a encadré plus de 20 thèses et a été coordinateur de contrats industriels et européens. Il a reçu la médaille d'Argent du CNRS en 2003, la médaille Berthelot de l'Académie des sciences en 2013, est membre distingué de la Société chimique de France depuis 2015, et Docteur honorifique de l'université d'Ottawa (2018). Il est co-éditeur de la revue Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. Dominique Massiot, CEMHTI-CNRS UPR3079, Orléans, France - dominique.massiot@cnrs-orleans.fr

Riches maintenant de plus de 50 années d'histoire, la « liaison » radio établie entre « l'expérimentateur et le monde des électrons et des noyaux » qu'est la résonance magnétique nucléaire continue d'évoluer, de se diversifier, et de promettre de nouveaux développements.

Le développement de la résonance magnétique nucléaire est emblématique de synergies interdisciplinaires. Elles ont marqué une histoire jalonnée de développements conceptuels, méthodologiques et technologiques qui furent couronnés par plusieurs prix Nobel en Physique d'abord, puis

en Chimie et en Médecine. La résonance magnétique nucléaire est aujourd'hui un outil analytique de référence pour la chimie de synthèse comme pour la caractérisation de matériaux, elle reste également un champ de recherche très actif avec des innovations en spectroscopie ou en imagerie qui couvrent un spectre toujours plus large d'applications des plus fondamentales aux plus appliquées. La spectroscopie RMN se singularise sans doute par la capacité qu'elle offre au chercheur de concevoir des expériences pouvant combiner la sélection de l'état initial du système observé, sa manipulation au cours de l'expérience – tant du point de vue des spins nucléaires que de l'échantillon lui-même et de sa dynamique – et la nature même de l'observation.

L'histoire commence dans les années 40 avec les travaux précurseurs portant sur la mise en évidence du spin nucléaire. Deux prix Nobel de Physique marquent les prémices. En 1943 Otto Stern est honoré « for his discovery of the magnetic moment of the proton » et, l'année suivante, Isidor Isaac Rabi « for his resonance method for recording the magnetic properties of atomic nuclei ». C'est sans doute à Rabi que la RMN doit son nom. Lors de la remise du prix Nobel on dira de lui qu'il a « établi une liaison radio avec le monde des électrons et des noyaux⁴⁾ ». Jolie image encore d'actualité... On considère habituellement que la résonance magnétique nucléaire a

La résonance magnétique nucléaire : un outil encore riche de promesses

été découverte en 1946, c'est-à-dire mise en évidence expérimentalement, presque en même temps par Edward M. Purcell⁵⁾ et collaborateurs, d'une part et Félix Bloch⁶⁾ et collaborateurs d'autre part. De façon remarquable les deux groupes avaient des démarches fondamenta-

lement différentes : la mesure de l'absorption résonante des protons de la paraffine solide à la fréquence de Larmor du côté d'Edward M. Purcell et l'induction magnétique des protons de l'eau du côté de Félix Bloch qui annonçait, dès les premières expériences la possibilité de manipuler les systèmes de spin avec des champs radiofréquence. Il a rapidement développé le formalisme des équations de Bloch qui sont encore l'outil de base de description de beaucoup d'expériences.

Le déplacement chimique fait son apparition en 1950 avec les travaux de W.G. Proctor et F.C. Yu qui observent la différence de fréquences de l'azote-14 pour les ions NH_4^+ et NO_3^- en solution⁷⁾ et ceux de W.C. Dickinson qui sépare les signatures du fluor-19 dans des solutions saturées de SbF_5 et BeF_2 ⁸⁾. Ces travaux sont rapidement suivis l'année suivante par la première observation des couplages indirects par H.S. Gutowsky & D.W. MacCall, qui se traduisent par des multiplets réciproques dans les spectres du phosphore-31 et du fluor-19. Ces couplages indirects sont l'un des atouts majeurs de la spectroscopie RMN du liquide mais aussi plus récemment de la RMN du solide, ils permettent de faire la part entre la liaison chimique et la proximité spatiale. Si ces découvertes ouvrent le champ d'application à la chimie, ce seront bien les nouveaux concepts qui changeront le paysage. La capacité à



Installations RMN à l'ISA UMR 5260 CNRS/Université de Lyon/ENS Lyon, membre de l'IR-RMN-THC FR3501 CNRS. Au fond le 1000 MHz installé en 2005, et aujourd'hui encore le plus puissant spectromètre RMN haut champ. ©ISA – Anne Lesage

maîtriser et finir parti de l'évolution cohérente de l'aimantation des spins nucléaires est introduite par Edwin L. Hahn¹⁷ dès les années 1950 avec la description de l'écho de spin. Ces expériences démontrent qu'il est possible de recaler tout ou partie d'une évolution temporelle cohérente en agissant sur l'état du système, elles ouvrent la voie aux échos de gradients et à l'IRM mais aussi à la formalisation des transferts de cohérence qui permettront de concevoir les expériences multidimensionnelles. Ces expériences font la force de la RMN d'aujourd'hui en permettant d'observer indirectement des évolutions cohérentes qui seraient restées inobservables. En 1958 Edward R. Andrew introduit la rotation à l'angle magique [MAS]¹⁸, pierre angulaire de la RMN du solide, qui combine la manipulation macroscopique de l'échantillon à l'expérience RMN en donnant mécaniquement une symétrie C3 à l'échantillon pendant l'acquisition de l'expérience RMN. La rotation MAS permet d'obtenir une moyenne cohérente des interactions isotropes qui pourront être sélectivement réintroduites par des séquences d'impulsion. La polarisation croisée transfère la sensibilité du proton vers des noyaux moins sensibles [carbon-13]. Elle est rapidement combinée avec la rotation à l'angle magique [CP-MAS] en lui donnant toute sa puissance. La description de la RMN impulsionnelle combinée à la transformée de Fourier par Richard R. Ernst [Nobel de Chimie 1991] et W.A. Anderson en 1966¹⁹ multiplie la sensibilité en rendant possible l'acquisition, en parallèle, d'une gamme spectrale étendue. Elle ouvre la voie aux expériences multidimensionnelles dont l'idée est introduite par Jean Jeener en 1971 dans une conférence est-à-celle²⁰. L'IRM vient compléter le panorama dans les années 70 avec les expériences de

tomographie RMN par projection reconstruction de Paul C. Lauterbur²¹, puis la description des séquences d'Echo Planar Imaging par Sir Peter Mansfield²² en 1977 qui construisent les bases de l'imagerie par résonance magnétique [IRM] et sa puissance diagnostique dans le champ médical aujourd'hui. Paul C. Lauterbur et Peter Mansfield obtiendront conjointement le prix Nobel de Médecine en 2003 « *for their discoveries concerning magnetic resonance imaging* ». La communauté française participe activement à l'ensemble de ces recherches, et « *The Principles of Nuclear Magnetism* » (1961) d'Isaïe Abragam reste la référence incontournable de bien des travaux.

Le développement de l'usage de la résonance magnétique nucléaire au cours des années avait amené à la différenciation des usages et des stratégies de recherche. Pendant que la RMN du liquide devenait progressivement l'une des techniques de routine indispensable à tous les laboratoires de synthèse pour caractériser et suivre les réactions chimiques, elle a continué à évoluer rapidement. La différenciation historique des communautés s'intéressant aux macromolécules et aux systèmes biologiques à l'interface avec la biologie, d'une part, et aux matériaux à l'interface avec la physique, d'autre part, s'efface aujourd'hui avec un partage des instruments les plus performants et une convergence des méthodes. Les domaines d'application couvrent aujourd'hui des domaines aussi variés que les petites molécules, macromolécules, assemblages moléculaires et supra-moléculaires, les enzymes, protéines, protéines membranaires, protéines intrinsèquement désordonnées, acides nucléiques, lipides, vésicules, membranes, cristaux liquides, polymères, matériaux hybrides organique-inorganiques, nano-

matériaux, zéolites, MOFs, catalyseurs, matériaux pour les batteries ou le photovoltaïque, supercondensateurs, verres, ciment... sans parvenir à être exhaustif. On notera également des développements d'installations spécifiques à basse ou haute et très haute température, sous pression, en conditions *in vivo*, *in situ*, ou *operando*.

Les avancées en biologie structurale ont été couronnées par le prix Nobel de Kurt Wüthrich en 2002 « *for the development of methods for identification and structure analyses of biological macromolecules* » qui consacre la RMN du liquide comme l'une des méthodes de choix pour la détermination des structures tridimensionnelles de macromolécules biologiques : protéines, enzymes, complexes moléculaires ou acides nucléiques, mais aussi de leur dynamique et de leurs interactions avec leur environnement.

Une synergie remarquable entre la recherche académique et les constructeurs s'est traduite dans des développements complémentaires des concepts et des instruments qui progressent ensemble. Les développements instrumentaux portent sur trois aspects complémentaires. (i) l'augmentation du champ magnétique principal, stable et homogène, tout d'abord, qui apporte des gains directs en résolution et sensibilité, nécessaires au développement des expériences multidimensionnelles. Nous sommes ainsi passés d'électroaimants avec des champs magnétiques de quelques dizaines de MHz (~1T) dans les années 70 à des aimants supraconducteurs stables de 18.8T (800MHz) en 1998 (installés à l'ICSN à Gif sur Yvette et à l'FBS à Grenoble) et de 23.5T aujourd'hui avec l'instrument 1GHz installé à Lyon en 2009. C'est encore aujourd'hui l'instrument le plus puissant au monde mais la communauté attend l'installation de la prochaine génération d'aimants supraconducteurs de 25T (1.2GHz). (ii) les progrès sur l'électronique des consoles ont permis de mettre en œuvre des séquences d'excitation complexes avec des amplificateurs stables et performants. (iii) les sondes enfin, chevilles ouvrières des expériences, ont considérablement progressé en sensibilité et en performance avec l'introduction des cryo-sondes en RMN du liquide ou, en RMN du solide, de vitesses de rotation à l'angle magique qui atteignent maintenant plus de 100 kHz (100 000 tours par seconde !).

L'accroissement des coûts d'investissements et d'entretien, mais également de la complexité des installations, qui ont accompagné ces augmentations de performances ont bientôt rendu l'installation des instruments les plus performants incompatible avec des stratégies locales ou de laboratoire. Depuis 2008, sous l'impulsion de Gilbert Charbonaud et d'Abderhamane Tadjidine, le CNRS a mis en place avec ses partenaires universitaires l'infrastructure RMN Très Hauts Champs (IR-RMN-THC FR3050¹⁹) qui rassemble et coordonne les instruments les plus puissants répartis sur le territoire national (Lyon, Grenoble, Lille, Bordeaux, Orléans, Gif sur Yvette et Paris - 750MHz WB à 1GHz aujourd'hui) et les ouvre aux utilisateurs nationaux et internationaux sur appel à projet, avec un mode de fonctionnement proche de celui d'un synchrotron ou d'une source de neutrons. Cette infrastructure fait référence sur le plan européen et international. Elle est reconnue comme exemplaire en termes de coordination nationale et figure aujourd'hui dans la feuille de route nationale des infrastructures de recherche du ministère²⁰. C'est dans ce cadre qu'ont été faits les investissements récents les plus importants, maintien au meilleur niveau

des installations, consoles et sondes, installation du spectromètre RMN 1 GHz en 2009 à Lyon, développement de la polarisation nucléaire dynamique à haut champ à Lyon et à Paris dans le cadre des appels EquipeX du PIA, et commande du 1.2 GHz qui sera installé à Lille à l'horizon 2020.

Au-delà des améliorations de sensibilité et de résolution liées à l'augmentation des champs magnétiques, les méthodes et concepts continuent de se diversifier et on voit apparaître ces dernières années de nouvelles méthodes prometteuses qui concourent à rassembler les communautés dans de nouvelles pratiques. Il est remarquable à cet égard de constater que la communauté française, forte de capacités instrumentales au meilleur niveau, y prend une part active et reconnue.

Sans être exhaustif, on peut relever quelques aspects des développements en cours les plus marquants. En sciences analytiques ou en RMN du liquide l'avènement de méthodes d'acquisition rapide permettent d'aborder plus efficacement et plus directement la cinétique des processus : réactions chimiques, dynamique de reconfiguration des macromolécules, protéines intrinsèquement désordonnées... La conception de nouvelles expériences permettant d'acquérir des données multidimensionnelles avec une seule impulsion parallèle, comme l'avait fait la transformée de Fourier, l'acquisition d'expériences multidimensionnelles en combinant le codage spatial et la spectroscopie. C'est une évolution majeure qui ouvre de nouvelles perspectives en chimie analytique ou en métabolomique où la RMN apporte un point de vue unique en son genre. Sur le plan de la sensibilité, point faible reconnu de la RMN, la polarisation nucléaire dynamique ou les techniques d'hyperpolarisation, longtemps restées confidentielles, sont en train de devenir un outil performant. La polarisation dynamique nucléaire permet de transférer la sensibilité de l'électron (PPE) aux noyaux (PMN). Son développement implique tout à la fois la synthèse de radicaux et le contrôle de leurs propriétés, le développement instrumental et conceptuel en PPE et PMN et les applications. Les chercheurs français y contribuent de façon majeure. Ces techniques élargissent le champ d'application de la RMN à la caractérisation de surfaces ou de nano-objets. Au-delà de l'imagerie anatomique de l'IRM on observe le développement de l'imagerie fonctionnelle ou de la spectroscopie localisée qui trouve des échos et des applications pour la caractérisation *in situ* de la diffusion ou de la rhéologie dans une vaste gamme de température ou de l'imagerie du fonctionnement de batteries. Sur le plan de la dynamique, point fort historique de la technique, la conception de nouvelles approches expérimentales combinant plusieurs champs magnétiques élargit encore la gamme de fréquence analysable en conservant les atouts de sensibilité et de résolution de la spectroscopie résolue. En RMN du solide, enfin, l'avènement de vitesses de rotation, de plus de 100 kHz commercialement et de 150 à 200 kHz en cours de développement en laboratoire, est en passe de révolutionner la RMN du proton à l'état solide, dominée par les forts couplages dipolaires homonucléaires. Dans ce domaine, nous sommes en train d'assister à un changement de paradigme dans la conception des expériences de découplage ou de recouplage. Jusque récemment la rotation à l'angle magique restait typiquement moins puissante (quelques dizaines de kHz) que la manipulation des spins (titraires à centaines de kHz). L'avènement de très grandes vitesses de rotation est en passe de complètement modifier ce panorama et donnera certainement lieu à de nouvelles générations d'expériences.

L'histoire de la résonance magnétique nucléaire continue de s'écrire, la communauté française en est un élément moteur, et la liaison radio établie entre l'expérimentateur et le monde des électrons et des noyaux est encore riche de promesses...

Notes

[1] Page internet : www.cemhti.cnrs-orleans.fr/nom=massiot

[2] Massiot, Dominique : *Materials by NMR of Quadrupoles from room to high temperature*, in *Encyclopedia of Magnetic Resonance* - Wiley 2011 www.cemhti.cnrs-orleans.fr/?idpub=6102

[3] D.Massiot, E.Fayon, M.Capron, I.King, S.Le Calvé, B.Aloriso, J.O.Durand, B.Bujoli, Z.Gan, G.Hootson, « *Modelling one and two dimensional solid-state NMR spectra* », *Magn. Reson. Chem.* 40 70-76 (2002).

[4] Réseau RMN structurale dans le Bassin Parisien Fr2950 CNRS <http://rmnp.cnrs-orleans.fr>

[5] Infrastructure de Recherche - Résonance Magnétique Nucléaire - Très Hauts Champs - FR3050 CNRS <http://www.irrmn.fr>

[6] *The Nobel Prize in Physics 1944* - lecture by P. E. Hultén - Stockholm.

[7] E.M.Purcell, H.C.Torrey, R.V.Pound, « *Resonance Absorption by Nuclear Magnetic Moments in a Solid* » *Phys. Rev.* 69 37-38 1946.

[8] F.Bloch, W.W.Hansen, M.Packard « *The Nuclear Induction Experiment* » *Phys. Rev.* 70 474-485 1946.

[9] W.G.Proctor, F.C.Yu, « *On the Nuclear Magnetic Moments of Several Stable Isotopes* », *Phys. Rev.* 81 20-30 1951.

[10] W.C.Diddysen, « *Dependence of the F19 Nuclear Resonance Position on Chemical Compound* », *Phys. Rev.* 77 736-737 1950.

[11] H.S.Gulovsky, D.W.McCall, « *Nuclear Magnetic Resonance Fine Structure in Liquids* », *Phys. Rev.* 82 746-749 1951.

[12] E.L.Hahn, « *Spin Echoes* », *Phys. Rev.* 80 580-594 1950.

[13] E.R.Andrew, A.Brudbury, R.G.Eades, « *Nuclear Magnetic Resonance Spectra from a Crystal rotated at High Speed* », *Nature* 182 1650 1958.

[14] R.R.Ernst, W.A.Anderson, « *Application of Fourier Transform Spectroscopy to Magnetic Resonance* », *Review of Scientific Instruments* 37 93- 1966.

[15] Jean Jeener, « *The unpublished Basile Poite (1971) lecture notes about two-dimensional NMR spectroscopy* », in « *NMR and More* », M. Goldman et M. Pomeau Eds (1994).

[16] Paul C.Lauterbur, « *Image formation by induced local interactions: Example Employing Nuclear Magnetic Resonance* » *Nature* 242 190-191 1973.

[17] P.Mansfield, « *Multi-planar image formation using NMR spin echoes* », *J. Phys. C : Solid State Physics* 10 L55-L59 1977.

[18] R RMN-THC FR3050 - <http://www.irrmn.fr/>

[19] Stratégie nationale des infrastructures de recherche - <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid/70554/www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid/70554/la-feuille-de-route-nationale-des-infrastructures-de-recherche.html>

CHIMIE

C'okorants et teintures ou pigments naturels, une formidable

Histoire des civilisations. La couleur nous entoure. Elle est

I ndispensable pour communiquer. Un langage universel très

M ystérieux qui parfois nous échappe. Un rayonnement

I mportant de teinte, de luminosité, de saturation, des

E xtraordinaires molécules, pour que la vie soit plus belle.

Acrostiche de Pascale Zareibon



Patrick Maestre, né le 10 octobre 1952, à Bordeaux, est Docteur d'État en Physique et Chimie du Solide (Université de Bordeaux, Laboratoire de Chimie du Solide, mai 1981). Il débute sa carrière en 1980 chez Rhône-Poulenc, avec divers postes de chercheur sur le physique et chimie des matériaux inorganiques, particulièrement les ferrocènes, et leurs applications comme luminescence, pigments, matériaux magnétiques, catalyseurs.

P. Maestre est nommé « Pierre-Souriat » de Rhône-Poulenc en 1994, membre du Comité scientifique de R&D, puis de Rhodia, dont il devient Directeur scientifique en 2004. Il met alors en place les coopérations scientifiques de long terme du groupe dans les domaines de la polymère-chimie, chimie minérale, science des matériaux, polymères, chimie de coordination. Depuis 2013, il est Directeur technique, Recherche et Innovation, de groupe Solvay. Il a mis en place de nombreuses coopérations avec le monde académique, et entre autres 4 unités mixtes avec le CNRS et des Universités. P. Maestre est membre de l'Académie des Technologies, et il a reçu la médaille de l'Innovation du CNRS en 2015.

Une bonne collaboration entre le monde de l'industrie et celui de la science et de l'éducation est un des éléments clés de l'innovation dans sa patrie la plus ardue. Ce partenariat entre de nos jours de plus en plus dans les mœurs, en particulier entre le monde académique et les grands groupes, mais aussi les PME et étonnamment les start-ups, très souvent issues d'inventions académiques. Mais cela ne fut pas si évident il y a simplement une trentaine d'années, du fait d'une grande méfiance, incompréhension, voire inimitié entre les deux mondes.

L'exemple de Solvay et du CNRS

Et pourtant, comme le disait Pierre-Gilles de Gennes « Pour le progrès technique, quoi de mieux que de rapprocher la science et l'industrie ? »

Pour Solvay, ce rapprochement a toujours été une évidence. Le groupe fut créé en 1863 par Ernest Solvay sur une invention majeure, un nouveau procédé pour la synthèse industrielle du carbonate de soude, un constituant majeur du verre. Lorsque sa société se développa, Ernest Solvay soutint sans réserves le développement de la science, en créant les congrès Solvay de physique et de chimie, qui rassemblèrent dès 1911 les plus grands savants du domaine, et dont encore de nos jours l'objet de rencontres au plus haut niveau scientifique. En 1975, Rhône-Poulenc, dont la branche chimie Rhodia est désormais partie intégrante du groupe Solvay, signe le premier accord-cadre entre l'industrie et le CNRS. Depuis, d'innombrables collaborations ont été mises en place, sous toutes les formes possibles : soutien de thésards et post-docs, contrats de consultants, conseils scientifiques de très haut niveau pour challenger nos équipes, participation des chercheurs de Solvay aux instances du CNRS ou des universités, et bien entendu embauche dans nos équipes de recherche de très nombreux chercheurs formés dans les laboratoires académiques.

Mais le modèle probablement le plus original que nous ayons développé est celui des unités mixtes Industrie-CNRS-Universités, pour lequel nous fûmes également pionniers avec le CNRS dès les années 1980. Le principe est de regrouper des chercheurs industriels et académiques, en un même lieu et sur un projet scientifique commun, s'étendant de l'amont à l'aval. Les premières unités mixtes eurent pour thèmes les nouveaux procédés (à Décines près de Lyon), la chimie des silicones avec

Collaboration Industrie – Monde académique : ensemble pour innover

Robert Cornu à Montpellier, ou encore la physico-chimie des colloïdes entre Astéris et Sclay avec Bernard Cabanes (CEA – CNRS).

Aujourd'hui, quatre unités mixtes existent, dont deux UMI (Unités mixtes internationales) entre Solvay et le CNRS, associées à l'ensemble des projets, et d'autres partenariats selon les cas.

• La « COMPASS », Complex Assemblies of Soft Matter, fut créée avec le CNRS et Princeton University pour l'étude des fluides complexes (la « matière molle »). Il eut un impact essentiel sur la compréhension des systèmes formulés, et donc par exemple sur le développement de polymères cationiques dans les formulations de shampooings, de poly-électrolytes amphotères pour les fluides de fracturation hydraulique, ou encore de compositions détergentes avec agents hydrophiles anti-salissures.

Au milieu des années 2000 le partenariat Solvay-CNRS s'élargit à l'University of Pennsylvania, toujours sur des sujets liés à la formulation de systèmes complexes, et en particulier pour la mise en œuvre de films polymères conducteurs transparents, de polymères pour le contrôle précis de la viscosité, ou l'utilisation d'hydro-colloïdes pour le contrôle de la rétention d'eau dans les sols agricoles.

• Le Laboratoire des polymères et matériaux avancés, basé à Lyon, se focalise sur l'étude des polymères, de leurs mélanges, et de l'effet de la dispersion de charges dans les élastomères et les thermoplastiques. Il a pour objectif de développer des compétences de physique et physico-chimie pour étudier les systèmes hétérogènes, en lien avec les problèmes industriels associés du renfort des polymères et élastomères.



Nous avons ainsi pu renouveler la compréhension des polymères et de leurs propriétés, en intégrant les différentes échelles de la matière, et en utilisant une approche combinant théorie, modélisation et expérience. Des avancées majeures ont été amenées par le LPMA sur la connaissance de l'impact de la dispersion sur les propriétés mécaniques des élastomères renforcés (par des mélanges d'élastomères), sur la fatigue et usure dans les élastomères et thermoplastiques renforcés, sur le renforcement choc des thermoplastiques, et enfin sur la compréhension des mécanismes de dispersion et du couplage procédés/interactions charge-polymère.

• Le Laboratoire du Futur, le « LDF » est une Unité mixte Solvay-CNRS-Université de Bordeaux, créée en 2005 pour transformer radicalement nos outils et méthodes de recherche. Nous avons souvent échangé début 2000 avec le CNRS sur l'importance de pouvoir multiplier les essais pour tester plus d'idées des chercheurs, et accélérer les développements, sans pour autant faire de la simple analyse combinatoire. C'est en couplant le haut débit avec une vision scientifique de la conduite des essais (microfluidique et étude des écoulements sous contrainte par exemple) que nous avons pu mieux cibler les compositions optimales en formulation des fluides complexes ou en science des matériaux, ou les bonnes conditions opératoires de la réaction chimique, grâce à l'acquisition rapide des données cinétiques ou thermodynamiques de nos procédés.



Ce projet commun combine les outils de robotique et de micro-fluidique et fait appel à des compétences très variées, chimistes et physico-chimistes bien entendu, mais aussi micro-électronique, automatique, statistiques, modélisation, etc. L'unité mixte étudie la physique des écoulements en milieu très confiné et leur application à l'étude du comportement de nos formulations dans les conditions de contraintes fortes auxquelles elles sont soumises dans la réalité : application de crèmes sur la peau, injection de fluides pour la récupération du pétrole, mise en œuvre de lubrifiants sous haute pression... Grâce à la contribution de l'Unité mixte, nous avons développé le LDF comme le laboratoire avancé de Solvay. Il a multiplié par des facteurs de 10 à 100 la productivité en recherche et diffuse ses résultats et outils vers nos laboratoires. Il a de plus généré des connaissances scientifiques de haut niveau sur la micro-fluidique pour l'acquisition de données physicochimiques, les écoulements de fluides complexes à petites

échelles et la génération de matériaux au format microfluidique par auto-assemblage contrôlé de colloïdes. Ces travaux publiés dans des revues de haut niveau contribuent à la visibilité internationale de l'Unité mixte comme de Solvay^(2,3,4).

• Le laboratoire E2P2L, *Eco-Efficient Products and Processes* est la der-



Catalyse en émulsion de Pickering :

nière née des unités mixtes, en 2011. Basé sur notre site de Shanghai, il implique, outre le CNRS, 5 autres partenaires académiques français et chinois. E2P2L travaille sur des sujets en rupture, maisant science fondamentale et appliquée en chimie et catalyse. Nous vivons la mise au point de produits ou procédés écoresponsables d'enjeu industriel majeur comme par exemple les biosurfactants, la vanilline, de nouveaux monomères biosourcés, la valorisation du CO₂ en produits chimiques, ... On y travaille aussi bien l'oxydation, l'hydrogénation, l'amination et les réactions de couplage via de nouveaux concepts et méthodes. Des résultats très originaux ont été obtenus, par exemple par la catalyse en émulsion de Pickering (catalyseur à l'interface eau-huile), ou par électrochimie.

La collaboration entre les mondes académique et industriel est donc la clé pour combiner le développement de la connaissance et les applications de ces connaissances à des projets concrets. Elle passe évidemment par une très forte interaction entre les deux mondes qui doivent apprendre à se connaître, se respecter et définir ainsi sur le long terme des projets communs dans lesquels chacun apporte sa spécificité et sa valeur. La création de compétences s'accompagne ainsi de résultats concrets permettant le développement plus rapide des applications.

Références

- [1] A. Dequidt, D.R. Long, S. Merabia and P. Sotta, Mechanical properties of polymers and nanocomposites close to the glass transition, in « *Physics of polymer glasses* », C. Roth Editor, Wiley 2016.
- [2] N. Zang, M. Gharib, J. Ling, & J. B. Salmon, Drying with no-concentration gradient in large microfluidic droplets. *Soft Matter*, 11(18), 3637-3642, 2015.
- [3] J. Goyon, A. Colin, G. Ovarlez, A. Ajdari, & L. Bocquet, Spatial cooperativity in soft glassy flows. *Nature*, 454(7209), 84, 2008.
- [4] N. Lortie, F. Sarrasin, P. Guillot, P. Panizza, A. Colin, B. Paviot, & C. Aymonier, Some recent advances in the design and the use of miniaturized droplet-based continuous process - Applications in chemistry and high-pressure microflows: Lab on a Chip, 11(9), 779-787, 2011.
- [5] W.-J. Zhou, L. Fang, Z. Fan, B. Albel, L. Bonheviot, F. De Campo, M. Pera-Titus, J.-M. Clacens, Tunable catalysts for solvent-free biphasic systems - Pickering Interfacial Catalysts over amphiphilic silica nanoparticles, *Journal of the American Chemical Society*, 136, 4869-4872, 2014.



Le parcours de Régis Réau est jalonné de rencontres avec des personnes passionnées qui ont guidé son choix. Sur son chemin, sa curiosité et sa passion pour la recherche et l'innovation lui auront ouvert une vie professionnelle aux multiples rebroussements. Le fil conducteur de ce parcours : faire de la science, et la faire dans des conditions optimales, sur des sujets variés, avec la conviction qu'il y a plusieurs manières de faire de la science.

De la recherche fondamentale au CNRS, à la R&D d'Air Liquide.

Durant ses études à Poitiers, il effectue un stage de maîtrise à Lyon dans l'institut de recherche sur la catalyse (IRC), important laboratoire propre du CNRS. Il y rencontre Danielle Baillet-Latouch et Igor Tkatchenko. Ce dernier, dont la démarche scientifique est marquée par la rigueur, enrichie d'une vaste culture et pimentée d'un sens de l'humour unique, le convainc de faire une thèse. Séduit par cette aventure scientifique, il le suivra à Toulouse, où Igor Tkatchenko est nommé directeur du Laboratoire de chimie de coordination (LCC), un autre important laboratoire propre du CNRS, également figure de proue de la recherche française et internationale dans le domaine.

Attiré par une carrière industrielle plutôt qu'académique, Régis Réau part faire un post-doc en Allemagne, chez le professeur W. Nörm à Aachen, père du procédé industriel *Shell Higher Olefin Process*, muni d'une bourse von Humboldt. Mais, une nouvelle rencontre change son parcours : le jour de sa soutenance de thèse, il est abordé par Guy Bertrand, un autre membre éminent du LCC, qui sera à l'origine de la création en 2001 du *Joint Research Chemistry Laboratory*, unité mixte internationale avec le CNRS et l'université de Californie (Riverside puis San Diego), et futur membre de plusieurs académies dont l'Institut de France. Guy Bertrand, autre passionné de la science, le décide à rejoindre son groupe au LCC où il développe des thématiques très fondamentales : stabiliser des espèces organiques réputées instables. Recruté au CNRS comme chargé de recherche en

Un parcours de chimiste : Régis Réau

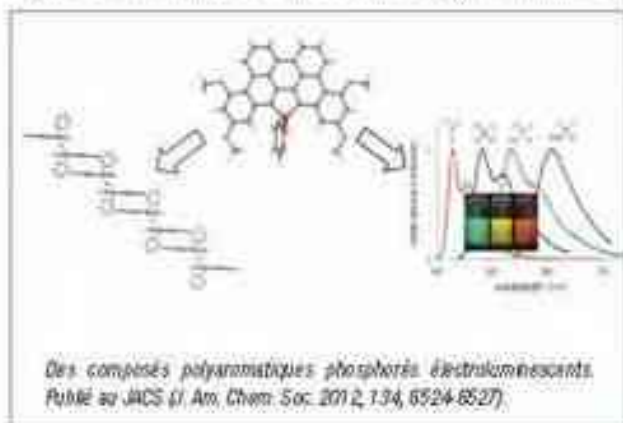
1990, Régis Réau rejoint donc l'équipe de Guy Bertrand, qu'il décrit comme une sorte de start-up de la recherche, en compétition avec de nombreux groupes internationaux.

Très attiré par l'enseignement et le transfert des connaissances, il prend la direction du Département de chimie organique du CNAM de Toulouse. Cette

expérience conforte son désir de faire de l'enseignement, et au bout de sept ans de CNRS, il répond positivement à une suggestion de Pierre Deneuf, directeur d'une UMR à l'université de Rennes 1 et sa troisième grande mission, de concourir pour un poste de professeur à Rennes. Le poste a pour thématique générale « Matériaux organométalliques pour l'optoélectronique ». Un nouveau défi scientifique, une chance qui lui est offerte par Pierre Deneuf de créer son propre groupe, totalement indépendant sur le plan scientifique, et pour lequel le CNRS et l'université de Rennes lui attribueront respectivement un ingénieur d'études, Valérie Debord, et un maître de conférences, Muriel Hessler. Ce trio de choc sera à l'origine d'une passionnante aventure jalonnée de nombreux travaux originaux, d'une reconnaissance nationale et internationale. Régis Réau s'investit simultanément dans l'enseignement et sa gestion (licence, master, école doctorale), dans la vie de l'université (membres du Conseil scientifique) et dans l'action menée en direction des jeunes et des non-scientifiques au sein de l'Espace des sciences de Rennes.

En 2001, il postule comme membre junior de l'Institut universitaire de France en présentant ses travaux récents sur la chimie des matériaux organophosphorés pour des applications en optoélectronique. Pendant cinq années, ce tremplin lui permettra de bénéficier d'un certain nombre d'ouvertures et d'une reconnaissance, certes nationale, mais également internationale.

Il devient expert auprès du ministère chargé de la Recherche de 2002 à 2007. En 2007, Max Malacria, une autre figure de la chimie française, lui propose de le rejoindre à l'AERES (Agence pour l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur), tout juste mise en place, dont il deviendra délégué scientifique adjoint. Il est essentiel que des scientifiques actifs, reconnus dans leur domaine, soient impliqués dans cette nouvelle agence, dont l'objectif est de créer une structure homogène pour toutes les disciplines et d'être garante de la qualité du système public. Il en fera partie jusqu'en 2011, lorsqu'il est appelé par Alain Fuchs à la tête de l'Institut de





Signature, en 2011, de la création de l'UMI Catalyse (E2P21) à Shanghai par Régis Réau (directeur de l'INC du CNRS), Patrick Maubert (Solvay) et des représentants des universités.

chimie du CNRS. Une nouvelle rencontre déf. Travailler sous la direction d'Alain Foch au service du CNRS et de la communauté scientifique est une expérience passionnante et très riche. Il y met une condition qui sera respectée durant tout son mandat : continuer à faire de la science au sein de son équipe rennaise et à publier.

Cette intense activité nationale n'empêche nullement une implication non moins importante au niveau international. Il est membre du comité d'organisation de la conférence internationale sur la chimie du phosphore. Il séjourne comme « *visiting professor* » aux universités de Durham et de Regensburg et il dirige l'UMI CNRS-Université de Zhengzhou « Matériaux organophosphorés fonctionnels » de 2009 à 2012. Durant cette même période, il est membre du comité et responsable de l'action « Science des matériaux et nanosciences » du réseau européen COST PhosNet, lequel aura une influence très positive en rassemblant toute la communauté du phosphore et en y associant tous les jeunes chercheurs européens du domaine.

Il anime simultanément un groupe à l'université de Rennes 1, qui s'est structuré et diversifié au cours du temps, notamment avec l'arrivée de jeunes chercheurs du CNRS. Ce groupe multiplie les collaborations internationales avec le secteur privé. Régis Réau totalise ainsi durant cette partie de sa carrière treize brevets, 150 publications dans des revues traitant aussi bien de chimie organique, inorganique, biologique que de matériaux. C'est dans ce contexte qu'il sera contacté en 2013 afin de devenir directeur scientifique de la R&D du groupe Air Liquide. Il sera chargé de

développer des projets à long terme basés sur des ruptures scientifiques et de favoriser l'innovation en ouvrant encore plus la R&D vers le monde académique, en citant les collaborations. Air Liquide est le leader mondial des gaz, technologies et services pour l'industrie et la santé. Présent dans 80 pays avec environ 65 000 collaborateurs, le Groupe sert plus de 3 millions de clients et de patients.

Oxygène, azote et hydrogène sont des petites molécules essentielles à la vie, la matière et l'énergie. Elles incarnent le territoire scientifique d'Air Liquide et sont au cœur du métier du Groupe depuis sa création en 1902. Air Liquide est implanté mondialement et possède des centres de recherche en France, Allemagne, États-Unis, Japon, Chine et Corée du Sud. Chacun de ces sites est organisé par compétences (matériaux, combustion, mathématiques appliquées, sciences du vivant-cariot...) avec, à sa tête, un directeur qui, comme le directeur de la R&D actuel, est

un scientifique. Les compétences sont organisées en réseaux transverses, en contact permanent, formant des « *Global Labs* » thématiques et internationaux. Régis Réau en chapeaute les directeurs en charge de la définition des compétences nécessaires à court et long terme, des feuilles de route qui dessinent les sujets à développer et les technologies clés de l'avenir.

Après cinq années passées au sein d'Air Liquide, il ressent une forme de continuité entre les mondes académique et industriel, et s'épanouit dans un environnement dont les valeurs sont les siennes et qui s'appuie sur une exigence d'excellence, liée à un très haut niveau technologique. Au sein de la R&D d'Air Liquide, on discute science et les découvertes faites dans le monde académique dans tous les domaines d'intérêt pour Air Liquide. La grande différence réside dans la capacité de financement des projets, une fois les décisions prises, qu'il s'agisse de court ou de long, voire très long terme.

Pour Régis Réau, ce nouveau défi démontre que la R&D industrielle peut être aussi riche d'initiatives personnelles et de dialogues avec les pairs scientifiques. Si les questions de financement et de personnel sont d'un autre ordre que dans le secteur public, celles liées aux constantes de temps et à la nécessité d'explorer le monde de l'application autant que celui de la réflexion théorique apportent une dimension qui nourrit un esprit curieux, à l'affût des nouveautés, et qui le changement stimule. Il s'agit encore et toujours de faire de la science, la meilleure et la plus originale, afin d'être à un niveau d'excellence mondial et de créer de la valeur, qu'elle soit scientifique ou économique.



Rose Agnès Jacquese est ingénierne de l'école de chimie de Strasbourg (1963). Après une thèse à Nancy (1968) suivie d'un post-doc au MIT (1968-69), elle entre au CNRS et s'installe à Poitiers (1969). Elle rejoint puis quitte l'administration du CNRS où elle est Directeur scientifique adjoint au Département de chimie et en charge du programme Femmes, puis Déléguée Régionale. Passant par la suite au ministère de la Recherche, elle traite la programmation scientifique en recherche et écologie ainsi que le suivi des programmes, notamment de l'impact ou du coimpact (préjet). Il faut noter sa contribution majeure à la mise en place du financement et du pilotage de la construction de deux œuvres de recherche : le Bâtiment Besupré (Mairie et CEA) et le Poudrier (p. 2, l'interv.)

Rose Agnès Jacquese, DRCE du CNRS, a été rectrice en chef de l'Actualité chimique, la revue de la Société chimique de France de 2010 à 2016. Le présent article est naturellement inspiré d'un entretien de l'Actualité chimique.

Cette rubrique illustre sur quelques exemples choisis en chimie et un peu en dehors, le long et patient chemin qui a permis aux femmes d'accéder aux formations scientifiques et à la reconnaissance par leurs pairs. Il y a encore à faire mais l'espoir est permis car la dynamique est plutôt favorable.

Emilie du Châtelet ainsi que Marie-Anne Lavoisier (et bien d'autres...) avaient déjà démontré au XVIII^e siècle ce que pouvaient valoir les femmes en science. Elles étaient les héritières binationnelles d'Hypatie d'Alexandrie, philosophe et astronome du V^e siècle, qui inventa notamment l'hydromètre, toujours utilisé par les vignerons. Elle fut assassinée par une foule effrayée par son érudition, assimilée, comme ce fut le cas plus tard, à de la magie. Érudition mathématiquement inconnue de Jean-Jacques Rousseau qui écrivait, en 1762, dans *Émile ou De l'éducation* : « La recherche des vérités abstraites et spéculatives, des principes, des axiomes dans les sciences, tout ce qui tend à généraliser les idées n'est point du ressort des femmes, leurs études doivent se rapporter toutes à la pratique ; c'est à elles de faire les observations qui mènent l'homme à l'établissement des principes ». Heureusement, d'autres penseurs affichaient une opinion différente. Ainsi François Poulain de La Barre, philosophe cartésien, écrivait en 1673 « l'esprit n'a point de sexe » dans *De l'égalité des sexes, de l'éducation des dames, de l'excellence des hommes*.

Entre ces deux extrêmes, 1727 marque la reconnaissance à Bologne de Maria Gaetana Agnesi, mathématicienne, qui peut être considérée comme la première titulaire d'un titre de « docteur ».

Un long chemin pour la formation des femmes en science

Il fallut attendre 1868 pour qu'Emma Clery devienne la première licenciée les sciences de France. La même année, la médecine accepta que Madeleine Brès s'inscrive au concours des hôpitaux. Quant à la première femme médecin des hôpitaux, ce fut, à Nantes, Violette Pouzo en 1919, suivie à Paris par Thérèse Bertrand-Fontaine, mais seulement en 1930. La chimie fut toutefois l'une des premières à admettre des étudiantes dans ses amphithéâtres et à accepter qu'elles participent aux travaux pratiques.

Le XIX^e siècle avait vu surgir des institutions d'éducation en complément des universités : l'École polytechnique et l'École normale supérieure ont

Où est la place des femmes scientifiques en France ?

été créées en 1794, mais l'ENS, dont la vocation est de former des enseignants, n'a réellement démarré qu'en 1826. Des écoles d'ingénieurs ont ensuite été ouvertes pour répondre aux besoins de l'industrie qui réclamait des ingénieurs : École centrale (1829), Institut de chimie appliquée (ex École de chimie de Paris en 1896) ... Ces établissements étaient réservés aux hommes car les femmes, malgré quelques personnalités féminines fortes évoquées plus haut, ne se destinaient pas aux sciences ni aux études supérieures, ni surtout

au milieu industriel. Un grand virage arriva avec la création de l'École normale supérieure de jeunes filles en 1881. Enfin on créait en France une structure à l'éducation supérieure des jeunes filles.

La Grande Guerre (1914-18) va faire progresser les mentalités par nécessité. Les jeunes hommes sont au front et les femmes doivent faire tourner les usines. C'est ainsi que dès 1916, l'Institut de chimie appliquée ouvre, non sans réticences, ses portes aux jeunes filles ; puis ce sera l'École centrale en 1921. Beaucoup plus tard ce sera l'École polytechnique en 1972.

Quelle est la situation actuelle dans ces établissements ? Il est instructif de noter qu'en 2017 le nombre d'étudiantes à Polytechnique représente 15,5 % de l'effectif total, un peu plus que dans les premières promotions, mais ce n'est toutefois que la moitié du pourcentage (28 %) de femmes en 2^e année de classes préparatoires. Dans la spécialité physique-chimie des Écoles normales supérieures, un écart entre genres s'est creusé après la fusion des ENS Sévres et Ulm, pour former l'ENS de Paris en 1986 et de Saint-Cloud et Fontenay-aux-Roses en 1987 pour former l'ENS de Lyon. À l'ENS de Paris on compte ainsi, en 2013, 33 % de femmes, soit 277 sur 852 élèves, mais ces chiffres sont trompeurs car si la parité est bien établie dans les sections littéraires, il n'y a en sciences, dites « dures », que 8 % de femmes. Par contre, la direction du Département de chimie de l'ENS est confiée pour la première fois de son histoire à une femme, Anne Boutin, en 2014. Alors que le pourcentage de filles dans les écoles d'ingénieurs plafonne à 27 %, la Fédération Gay-Lussac, qui regroupe 20 écoles de chimie,

peut s'enorgueillir d'en accueillir entre 50 et 57 % selon les années ! Leur recherche d'emploi peut parfois durer un peu plus longtemps que celle de leurs collègues masculins, mais sans entraîner de ségrégation majeure. La chimie n'est pas trop en retard sur la question.

Reconnaissance des femmes en science

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

Il a fallu attendre 1973 pour que le Collège de France (créé en 1530 sous François 1^{er}) ouvre ses portes à une femme avec un titre de professeur. Il s'agissait de la philologue et helléniste Jacqueline de Romilly. En ce qui concerne les femmes chimistes, Marie Curie, malgré tous ses mérites, y compris son double Nobel n'accède pas à l'Académie des sciences et il a fallu attendre 2013 pour voir entrer une première chimiste (Odile Eisenberg) puis une seconde (Janine Coussy) en 2017. Une compensation cependant, la secrétaire perpétuelle, Catherine Bréchignac est une femme, catalyste comme physicienne mais à la frontière de la chimie des nanosciences. La reconnaissance progresse même pour les chimistes.

Il faut saluer l'initiative du prix l'Oréal-Unesco pour les femmes et la science qui récompense depuis 1998 des femmes scientifiques de talent. Parmi les lauréates, on trouve la chimiste Ada Yonath lauréate 2000 et qui reçut l'année suivante le prix Nobel de Chimie, la quatrième Nobel de chimie, et

en médecine Elizabeth Blackburn qui suivit le même parcours aux mêmes dates. Plus récemment Emmanuelle Charpentier et Jennifer Doudna ont été lauréates 2016 de ce prix et ce n'est que l'une de leurs multiples reconnaissances internationales. On citera également en 2003 Johanna M.H. Levelt-Sengers pour ses travaux en thermodynamique (discipline devenue rare) et Dominique Langevin en 2006 pour ses recherches fondamentales dans le domaine des émulsions, mousses, etc.

Quant au Comité Nobel, il n'a depuis sa création récompensé que 40 femmes (majoritairement en Paix et en Littérature) pour 833 hommes. Le bilan : 2 prix en physique, 4 en chimie et 12 en physiologie et médecine dont, en 2008, Françoise Barré-Sinoussi pour ses travaux sur le VIH.

Apotons qu'en 2001, le ministère chargé de l'Enseignement supérieur et de la recherche a créé, avec la Fondation EADS, un prix Irène Jolot-Curie qui a été déjà attribué à 36 femmes scientifiques.

Il reste encore certaines barrières à abattre, notamment en ce qui concerne la reconnaissance du rôle éminent joué par les femmes en science. A titre indicatif, qu'en est-il par exemple des chimistes organiciennes ? S'il est traditionnel de nommer des réactions par le nom de « ceux » qui les ont découvertes, on ne trouve pas beaucoup de « celles ». Ainsi, une étude récente a porté sur les noms de réactions en synthèse organique qui s'honorent d'y voir une femme associée. On en a trouvé quatre, dont deux pour la seule Ima Goldberg, un pour Gertrude Maad Robinson et un pour Clare Hunsdiecker. On en trouve bien davantage quand on examine les réactions attribuées aux seuls hommes : Tiffeneau-Desmazov sans Bunka Tchouber, Cope sans Elizabeth Hardy, Eschenmoer-Claisen sans Dorothea Felix... Et plus récemment, sans rechercher l'exhaustivité, Jacobsen-Katsuki (1991) a perdu Jennifer Loebach, comme Myers (1994) a perdu Lydia McKinstry. On devrait pourtant se souvenir de ces chimistes à la brillante carrière et qui ne sont pas les femmes d'une seule réaction !

Dans les oubliées « célèbres », on évoque généralement Rosalind Elsie Franklin qui aurait, comme Marie Curie, pu être récompensée 2 fois : une fois pour ses travaux qui ont permis à Crick et Watson d'être récompensés en 1962 pour la structure en hélice de l'ADN, basée sur les analyses cristallographiques de Rosalind, et une autre fois pour ses travaux moins connus, sur la structure des virus qui en 1962 valurent le prix Nobel de Chimie à Aaron Klug. Décédée en 1958 à l'âge de 37 ans, elle ne pouvait d'ailleurs plus être récompensée. Lisa Meitner, qui découvrit avec Otto Hahn (Nobel de chimie 1944) la fission nucléaire, est un autre cas intéressant, lié aux conditions politiques qui régnaient à l'époque. Et pour mentionner, Margareta Bae (détection des particules chargées en fission nucléaire) nommée deux fois sans succès pour le Nobel, par Schrödinger et par Thimig. Quant à Eunice Newton Foote elle fut, en 1856, le premier (et donc la première) scientifique à identifier l'effet de serre du CO₂ atmosphérique. On citera enfin, le cas de deux « épouses... », dont l'apport n'a pas été reconnu : Esther Lederberg, dont le mari Joshua reçut le prix Nobel en 1958 dans le domaine de la génétique et des bactéries, et Mirna Marc Eisenstein qui participa activement jusqu'à leur divorce en 1916 aux travaux de son génial époux, lequel écrivait pourtant notre article, notre découverte, nos études... [9].



Marie Curie dans son laboratoire, avec sa fille Irène en 1920

Pourquoi les jeunes filles refusent-elles des perspectives de carrière passionnantes en boudant l'enseignement supérieur scientifique ? Aberration qui n'est pas propre à la France, bien au contraire. Selon la revue *Nature* de décembre 2013^[1] pour 100 travaux de recherche publiés, 25 sont signés par des femmes en France, 22 aux États-Unis, 20 au Royaume-Uni, 18 en Chine, 12 en Allemagne et 10 au Japon. Dans *l'Actualité Chimique*, magazine de la Société Chimique de France, une étude statistique sur les publications scientifiques de l'année 2017 montre que sur 356 auteurs, 101 sont des femmes, ce qui reflète assez bien les proportions des genres dans les laboratoires de recherche français. Les femmes sont présentes !

Fatalité ou espoir

La sous-représentation des femmes en science serait-elle le résultat d'un fait biologique ou social, ou même d'une fatalité ? Un contexte hostile (au sein de la famille, de l'école, etc.) serait-il à l'origine de cette sous-représentation ? La confiance des femmes en leurs propres capacités intellectuelles serait alors compromise, à l'instar du refus de reconnaître leurs connaissances et leur savoir-faire, ainsi que leur expertise technique dans tous les domaines, y compris dans celui de l'innovation technologique !

Dans *L'Arxone et la cuisinière*, publié à titre posthume en 2014, Alain Testart, chercheur en anthropologie sociale, montre que ce sont les croyances, tacites voire irrationnelles, constantes et quasi universelles, qui expliquent – depuis la Préhistoire probablement, et en tout cas dans de multiples sociétés traditionnelles encore de nos jours – la division sexuelle du travail. Et pourtant cette division n'est pas basée sur la pénibilité, la capacité d'initiative ou de conceptualisation, qu'il s'agisse de chasse, de pêche, et même de métallurgie... En France notamment, et bien qu'elles ne soient plus que 45 % en fin de 1^{re} au lycée à choisir la filière scientifique, les filles sont finalement plus nombreuses que les garçons à obtenir un bac S et leurs résultats sont meilleurs !

Au-delà de leurs capacités intellectuelles et techniques qui ne sont jamais remises en cause, que faut-il conseiller aux femmes pour trouver leur place en science ? Surtout, ne pas se laisser influencer par l'« effet Matilda » ou le plafond de verre, et donc :

- Avoir confiance en soi. Dans les rencontres qui jalonnent les carrières,

certaines sont essentielles et manquent les virages (voir l'entretien avec J. Maddaluno dans ce numéro). C'est le professeur de lycée ou l'enseignant universitaire ou plus tard le collègue, qu'il faut écouter quand il vous fait confiance. Ce fut sans doute longtemps un point faible des femmes qui manquent de confiance en leurs propres capacités. Il faut oser !

- Savoir s'adapter à l'environnement : le milieu académique est en évolution permanente en grande partie par le fait des lois qui structurent et déstructurent tour à tour le système et qui y instaurent la paix. Les femmes ont généralement une très bonne faculté d'adaptation et elles s'installent assez facilement et avec succès dans les nouvelles places qui leur sont offertes.

- Trouver sa place dans le groupe et dans la communauté scientifique car c'est là que se construit la reconnaissance. Cultiver l'harmonie et l'entraide au sein d'un groupe est un facteur essentiel en recherche particulièrement en science. Peut-être que les femmes sont plus douées que les hommes sur ce point car elles sont moins focalisées sur leur propre réussite.

- Avoir de l'enthousiasme et le communiquer : comment par exemple ne pas s'émerveiller devant les processus de la chimie moléculaire qui viennent de rapporter un prix Nobel à Jean-Pierre Sauvage. L'enthousiasme est un facteur d'entraînement qui se partage équitablement entre les hommes et les femmes, il ne faut pas s'en priver.

Pour être reconnue, il faut être connue et pour être connue, il faut être vue. Il faut donc oser car tous les espoirs sont permis. Il n'y a pas de déterminisme biologique.

Gilberte Chambaud et Rose Agnès Jacquesy

Références

- [1] *Actualité Chimique* – N° 385 (mai 2014).
- [2] Olson JA, Shea RM, Critical perspectives. *Named reactions discovered and developed by women*, Acc. Chem. Res, 2011, 44, p. 311.
- [3] Sharon Bertoch McGraw, Nobel Prize, *Women in Science*, Joseph Henry Press, Washington D.C., 2006.
- [4] Claude Monnerot, *Nobel vous avez dit Nobel*, Éditions Bérénice, 2012
- [5] Cité dans *Le Monde* du 27 février 2014.



Françoise Pénat, directeur de recherche honoraire, a commencé par une formation de technicienne de laboratoire dans une école professionnelle. Après une licence de Sciences physiques à l'université de Montpellier, elle a poursuivi (sans le 3^e cycle en Chimie organique), puis par un doctorat en Sciences physiques, réalisé à l'École nationale supérieure de chimie de Montpellier. Entrée au CNRS en 1959, elle a effectué un séjour post-doctoral à l'université d'Uppsala (Suède). Multidisciplinaire, ses recherches ont principalement concerné la synthèse de substances cycliques et alcyoniques, puis la chimie des composés organiques du phosphore. Elle a participé à l'enseignement en 3^e année universitaire et en 3^e année d'ingénieur de l'ENCM.

Depuis déjà longtemps, Françoise s'est attachée à mettre la science à la portée des plus jeunes et du grand public en organisant des activités pratiques et en mettant sur pied des conférences liées à la chimie dans la vie quotidienne. Elle a été correspondante régionale de l'AS pour le Languedoc-Roussillon ainsi que Membre du Conseil d'administration de notre Association.

Voici la petite histoire d'une jeune fille de 18 ans, pas encore très fixée sur ce qu'elle pouvait être sa vie professionnelle. Et pourtant !

Dans la décennie 1940-50, j'étais une élève moyenne, dans une ville moyenne de province, tout au moins jusqu'en classe de 3^e. Destinée par ma famille à « faire une école ménagère », car « moyenne » justement (pourquoi pas ?), puis marquant dès la 2^e, si ce n'est un léger penchement pour les « Sciences », tout au moins un recul certain devant des études littéraires. Donc que faire ?

Et voilà que, en classe de « Sciences expérimentales », la terminale C de l'époque, pour la 1^{re} fois de ma vie, je vois « réaliser » une expérience, avant, c'étaient les verres à pied et autres tubulures dessinés sur les livres scolaires, en noir et blanc : pour voir les changements de couleur, il y a mieux !... Cette expérience, c'était la combustion du benzène, ce liquide transparent dont on nous affirmait qu'il était constitué d'une substance contenant l'élément carbone. Bon ! Je veux bien, puisqu'on me le dit... La combustion du benzène, c'est faire brûler du benzène, pour peu que le professeur décide d'une combustion incomplète... Et l'expérience fut réalisée : une grande éprouvette de 2 litres contenant, peut-être, disons 100 cm³ de benzène préalablement chauffé : les élèves cantonnés au fond de la salle, l'expérimentatrice à l'autre bout... et VOODOOM : la flamme... Spectaculaire ! Et miracle : de petites particules noires qui flottent dans l'air retombent doucement : ... du carbone ! C'était donc VRAI !!! (Je le mets entre parenthèses : qui ferait aujourd'hui, au lycée, une telle expérience, dans une salle non équipée de détecteur de fumée, où toute flamme est bien sûr proscrite ?). Donc, 1^{re} révélation ! Rien ne vaut l'expérience !

Résultat : en classe de 1^{re}, je disais « Chimiste ? Moi ? Jamais ! ». En terminale, cela devint : « Chimiste ? Moi ? Pourquoi pas ? »

Donc l'année suivante : entrée dans une École technique de chimie, pour un cursus d'un an. Sagesse de mon père qui, devant ma forte dénégation initiale, puis mon soudain revirement, pensa qu'il y avait « peut-être un garçon sous cette », et qu'il fallait d'abord tester la nouvelle tendance.

Chimiste ? Non, sûrement pas ! (ou comment on vient à la chimie)

Ce fut à Paris que je commençai à manipuler moi-même ballons et autres verreries de laboratoire. De fait, il n'y avait pas beaucoup de villes en France où l'on pouvait trouver à l'époque ce genre d'enseignement. Et voici qu'un jour, au tableau d'affichage, parut un petit avis, indiquant qu'il était offert à ceux que cela intéressait, une place pour faire un stage d'un après-midi par semaine pendant 3-4 mois, dans un laboratoire CNRS à Mende. CNRS ? Qu'est-ce qui c'est ?

Connaissais pas ! Mais bon ! Comme je trouvais qu'on n'avait pas assez de travail dans cette École (personne n'est parfait, mais surtout, comme j'avais, sans le savoir à l'époque, ce que je sais maintenant être de la curiosité scientifique, je postulais donc... et je fus prise, à ma grande surprise d'ailleurs.

Là, parcours classique du stagiaire inexpérimenté intermittent : regarder, poser des questions éventuellement. Tout se passait normalement, sauf qu'un jour... arriva une « chercheuse » à mon avis, avec le recul du temps, en fin de thèse, ou peut-être déjà attachée au CNRS. Voici qu'elle me proposa de l'accompagner dans un autre laboratoire où elle faisait une expérience dont elle voulait vérifier le résultat. C'était une expérience de clonage par électrochimie : la cellule d'électrolyse avait une taille impres-



LES FEMMES, LES HOMMES, LES LABORATOIRES

tionnaire, une petite électrode allongée et plate y était plongée, dans un bain sombre agité de remous. La chercheuse me recommanda de m'approcher avec précaution. Et elle commença à dévisser cette petite plaque, et à l'examiner sous toutes ses coutures : « pour voir si cela a marché, car c'est la 1^{re} fois que cette expérience est réalisée. Ah, ce n'est pas encore fini ! ». Ah bon ! J'étais interloquée. Du jamais vu ? Et c'est là que j'ai commencé à poser des questions : Pourquoi ? Comment ? Mais si... etc. 2^e révélation : je venais de découvrir un métier qui m'ouvrait des horizons insoupçonnés. Je n'ai jamais su le nom de cette chercheuse que je n'ai vue que 2-3 heures, tout juste son prénom... dont maintenant je ne me souviens pas. Cela m'a toujours servie de ne pas pouvoir la remercier de cet accompagnement si pertinent de mon inexpérience. D'autant qu'avant de partir elle m'a dit : « Surtout, ne vous arrêtez pas là ! Si vous pouvez, continuez vos études ! ». J'ai pu.

1^{re} année de fac. Et c'est cette année-là que j'ai été totalement « emballée » par le cours de Chimie organique : c'est le mot : comme on dit : emballé, c'est pesé ! — des électrons qui se déplacent de façon logique, des substances inconnues que l'on pouvait créer.

Ce fut la 3^e révélation, décisive : je serai chimiste, chimiste organisatrice, et si possible, au CNRS. Ce fut possible. Grâce à Dieu. Une passion de vie ! Qui me tient toujours et encore à plus de... XX printemps ! En fait, devenir chimiste, c'est tellement facile : il suffit de combiner saine curiosité, volonté personnelle, entourage bienveillant et compétence communicative accueillante. Quel plaisir !

Merci à tous et toutes !

Françoise Péral



Patrick Michoux, directeur scientifique adjoint, et Eva Jakab Toth, directrice du CBM, vous ont fait l'honneur de rédiger pour l'A3 Magazine dédié à la chimie, cette présentation de « 50 ans du CBM » à l'occasion de l'anniversaire de sa création sur le campus d'Orléans La Source. Nos auteurs ont ainsi récapitulé différents chercheurs du CBM par leurs articles scientifiques (André Erck, Claudine Médja) ou la réception de leurs livres autobiographiques (Charles Sadron, Paul Vigry). Nous remercions chaleureusement ces 7 chercheurs, auteurs et des 2 formats qui contribuent à son A3M.

Cet événement d'histoire et mémoire est important pour les membres et les anciens de cet important laboratoire, mais aussi pour toute la communauté scientifique régionale. Nous avons pu y contribuer par les souvenirs personnels et différentes archives historiques et géographiques, accessibles sur les parcours et documents relatant ce demi-siècle de recherches... et de découvertes.

Le Centre de biophysique moléculaire (CBM) a fêté ses 50 ans. Il fut le premier laboratoire construit sur le campus du CNRS d'Orléans qui s'ouvrit en 1967. Le professeur Charles Sadron voulut y développer la biophysique, une discipline à l'interface de la physique, de la chimie et de la biologie. Unité propre de recherche (UPR) de l'Institut de chimie du CNRS, c'est un laboratoire majeur du campus orléanais avec un effectif de 140 personnes. Au cours de ces 50 années, le CBM a obtenu une reconnaissance internationale pour la qualité des recherches menées et les résultats obtenus. Environ 350 jeunes docteurs furent formés et contribuèrent à sa renommée. Plusieurs ont fait ou font une brillante carrière dans le secteur académique du privé. De nombreux chercheurs étrangers y ont séjourné et ont également renforcé sa visibilité. Le 15 septembre 2017, une journée scientifique a eu lieu avec différentes conférences sur les domaines de recherche qui ont marqué et contribuent de marquer le laboratoire. De façon anecdotique, la conférence sur l'exobiologie coïncida avec le jour de la désintégration programmée de la sonde Cassini sur Saturne. Cette journée fut l'occasion de réunir tous ceux et celles qui ont passé un long moment au Centre de biophysique moléculaire.

Naissance : 1965-1967

En 1963, le CNRS décide de construire un Centre de recherche à Orléans La Source sur un terrain proche du campus universitaire en pleine renaissance. Alors professeur au Muséum national d'histoire naturelle à Paris, Charles Sadron âgé de 61 ans occupant la chaire de biophysique, lance un projet de laboratoire de biophysique, discipline scientifique orientée vers l'étude du fonctionnement et de la structure des organismes vivants à l'aide des concepts et des techniques relevant de la physique et de la physico-chimie, depuis le niveau moléculaire jusqu'à l'organisme entier. En 1967, des chercheurs et techniciens venus de Strasbourg (CRM) et du Muséum national d'histoire naturelle

Les 50 ans du Centre de biophysique moléculaire

occupèrent le laboratoire. Son organisation multidisciplinaire permettait de mener des recherches en biophysique en s'appuyant sur la physique, la chimie et la biologie. Sept groupes de recherche y étudiaient les polynucléotides et les polypeptides, la conformation des protéines, des acides nucléiques, des polypeptides et des copolymères, les interactions polynucléotides-polypeptides, les interactions des cations paramagnétiques avec les polypeptides et polynucléotides, l'ADN.

La singularité résidait dans l'organisation de groupes travaillant dans un environnement puissamment outillé où se trouvaient différents instruments hautement performants : spectromètres de résonance paramagnétique



Fig. 1 : Instrumentation : (a) spectromètre de dichroïsme circulaire ; (b) spectrofluorimètre permettant des mesures de fluorescence impulsionnelle ; (c) spectromètre de résonance paramagnétique électronique ; (d) diffractomètre RX.

électronique (PPE), de résonance magnétique nucléaire (RMN), d'absorption de la lumière, de fluorescence et dichroïsme circulaire, de rayon X (Fig. 1). À cette époque les instruments étaient imposants et occupaient un grand espace. Les chercheurs les utilisaient pour leurs travaux mais également développaient des nouvelles méthodes d'analyse des macromolécules biologiques. La fluorescence impulsionnelle, développée par Philippe Wahl, connaît une renommée internationale.

Les directeurs du CBM

Charles Sadron, physicien, en fut le premier directeur de 1967 à 1973. Après avoir créé le Centre d'étude de physique macromoléculaire à Strasbourg, qui devendra le Centre de recherches sur les macromolécules en 1964, puis l'Institut Charles Sadron, il fut professeur de biophysique au MNHN à Paris. Sa vision de la biophysique lui permit d'organiser la recherche au CBM autour de grands instruments dédiés aux études structures-fonctions des macromolécules biologiques. Vers la fin de son mandat, un groupe de recherche sur les sucres et leurs récepteurs se constitua autour de Michel Monsigny, lequel groupe fut à l'origine du développement de la biologie cellulaire.

Claude Hélène, chercheur au CBM, dirigea le laboratoire de 1974 à 1982. Il contribua de façon importante à la biophysique des acides nucléiques et aux mécanismes physico-chimiques fondamentaux qui régissent les interactions entre les acides nucléiques et leurs partenaires dans de nombreux phénomènes biologiques. Il fut le premier président de la Société française de biophysique (SFB) créée en 1982. Il créa ensuite et dirigea jusqu'en 2002, l'unité 201 de l'Inserm, au MNHN à Paris, dédiée à la reconnaissance moléculaire et au contrôle des fonctions cellulaires. Sous son impulsion, le groupe de Nguyen T. Thuong spécialisé dans la synthèse des nucléotides et oligonucléotides permit l'accès à de nouvelles molécules nécessaires aux études physico-chimiques sur les acides nucléiques. Il joua un rôle important dans le développement par Claude Hélène des oligonucléotides antisens et anti-gène, nouvelles molécules permettant de réguler l'expression des gènes et qui ouvraient de grands espoirs pour lutter contre certaines maladies ou infections virales.

Claude Nicolas succéda à Claude Hélène de 1983 à 1986. D'origine roumaine et professeur à l'Institut Max-Planck à Mülheim en Allemagne, il avait une notoriété dans le domaine de la biophysique, des biotechnologies et de

la délivrance de médicament. Sa venue renforça l'axe biologie cellulaire et vectorisation, notamment dans l'utilisation de liposomes pour la délivrance d'ADN.

Michel Davne, 1987 à 1992, professeur de biophysique à l'Institut de biologie moléculaire et cellulaire du CNRS à Strasbourg, avait été un élève de Charles Sadron à Strasbourg et s'était illustré dans la physico-chimie des acides nucléiques. Il avait développé des collaborations avec des chercheurs du CBM (Marc Leng et Claude Hélène). Pour permettre aux scientifiques de mieux évoluer, Michel Davne remplaça l'organisation en 9 groupes de recherche par 23 opérations de recherche plus petites, rompant ainsi avec la structure pyramidale jusque-là en place.

Paul Vigny, professeur de biophysique à l'université Pierre & Marie Curie à Paris, fut directeur de 1993 à 2002. Il développa la biophotonique, notamment en installant un prototype de microspectrofluorimètre construit à Paris et qui permettait de faire des mesures d'intensité et des spectres de fluorescence de composés fluorescents à la surface et à l'intérieur des cellules. Paul Vigny créa 5 axes de recherches. Il organisa le regroupement des chercheurs répartis alors sur trois bâtiments très proches, en lançant la construction d'une nouvelle aile perpendiculaire au bâtiment principal qui s'achèvera fin 2009. En 1996, il créa localement une structure nommée Le Studium qui permet d'accueillir dans de très bonnes conditions des chercheurs étrangers de haut niveau pendant une période variant de quelques mois à un an avec pour objectif de dynamiser et d'ouvrir à l'international la communauté scientifique locale. Le Studium qu'il présida jusqu'en 2014, fait partie aujourd'hui du paysage scientifique de la région Centre-Val de Loire.

Jean-Claude Bellet (2003 à 2011), chimiste et RMNiste était directeur du Laboratoire de RMN biologique de l'Institut de chimie des substances naturelles (ICSN) à Gif-sur-Yvette. Avec lui s'ouvrit l'ère de l'imagerie et de la spectroscopie par résonance magnétique nucléaire (RMN). Il fut membre du Comité de direction du Pôle image de la Région Centre (Centre Image). Le CBM s'équipa alors d'un imageur à aimant horizontal de 9,4 Teslas, un des premiers en France. Jean-Claude Bellet consolida la biophotonique en recrutant un directeur de recherche et une chargée de recherche pour développer des composés luminescents de lanthanides utilisables en spectroscopie et bioimagerie.

Eva Jakub Toth, directrice depuis 2012, est une chimiste d'origine hongroise qui fut Maître assistante, de 2001 à 2005, au Laboratoire de chimie inorganique et bioinorganique à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) en Suisse. Repérée par Jean-Claude Balci pour son expertise dans le domaine des agents de contraste pour l'imagerie médicale par résonance magnétique (IRM), elle intègre le CBM en 2005 pour développer la chimie des agents de contraste pour l'IRM et renforcer le pôle imagerie au CBM et en région.

L'ADN du CBM

Les thématiques de recherche et les technologies développées entre 1967 et 1982 qui sont encore présentes dans les recherches actuelles et dont certaines sont développées ci-dessous constituent l'ADN du CBM.

RMN

La spectroscopie de résonance paramagnétique électronique (RPE) et de résonance magnétique nucléaire (RMN) ont été utilisées et développées pour élucider la structure et la dynamique des molécules biologiques. Installé en 1969, le premier spectromètre de RMN (fréquence de 90 MHz) permit la détermination de la structure de di- ou tri-peptides. En 1973, une RMN 90MHz FT (à transformée de Fourier) fut installée. L'obtention de spectres RMN 2D et 3D avec des appareils plus performants permit de résoudre, avec le concours de la cristallographie, les structures tridimensionnelles de plusieurs protéines, d'oligonucléotides et de leurs complexes. Exemples : des défensines d'insectes, des protéines transporteurs de lipides, la surfactine, des peptides antigéniques, des complexes polypeptides-phospholipides. Actuellement la plateforme RMN est composée de 3 spectromètres 400 MHz, 600 MHz et 700 MHz (Fig. 2).



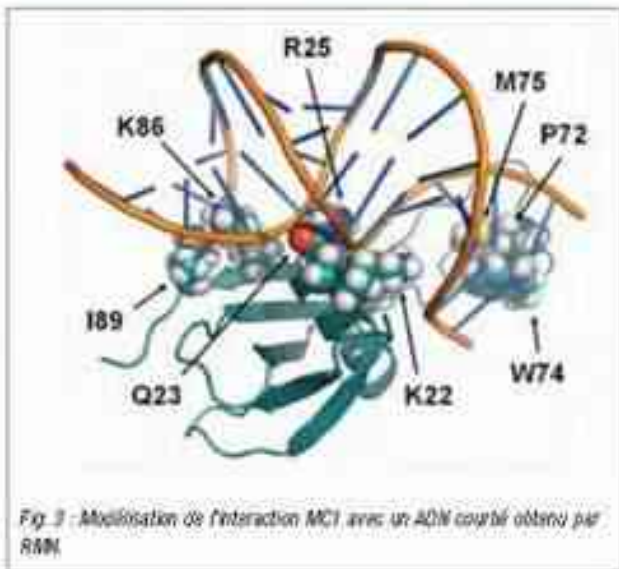
Fig. 2 : Résonance magnétique nucléaire : (a) 1969, spectromètre de RMN 90 MHz, (b) 2017, plateforme RMN avec Spectromètres 400 MHz (BRUKER 400 MHz), 600 MHz (VARIAN INOVA 600 MHz) et 700 MHz (BRUKER 700 MHz), (c) 2017, spectromètre d'imagerie magnétique RM à aimant horizontal de 9,4 Tesla.

Peptides et polypeptides

La synthèse de peptides et de polypeptides fut un axe fort au travers d'études structurales de polypeptides transportant des ions (gramicidine A) ou formant des structures en feuillet β . Des outils méthodologiques reposant sur des réactions de couplage chimique permirent de synthétiser des peptides complexes et des polypeptides de grande taille en couplant des fragments peptidiques déprotégés. Par exemple, la synthèse d'un glycopeptide de grande taille candidat vaccin pour induire une réponse immunitaire contre des cellules tumorales a été obtenue en couplant ainsi 3 unités répétitives glycosylées de 20 acides aminés de l'antigène tumoral MUC1 avec le peptide universel épitope T-helper (FADRE). La synthèse de peptides prébiotiques qui fut initiée par André Brack pour étudier la formation des molécules organiques constituant les briques du vivant conduisit à l'émergence d'une thématique originale nommée exobiologie, un domaine pluridisciplinaire centré sur l'origine de la vie, son évolution, l'étude des plus anciennes traces de vie terrestre et la recherche de traces de vie sur d'autres planètes pour laquelle le CBM a acquis une renommée internationale.

Acides nucléiques, interactions protéines-acides nucléiques

De nombreuses études structurales originales sur des oligo-nucléotides, des désoxyribonucléotides, des polynucléotides, l'ADN méthylé furent réalisées par dichroïsme circulaire. La RMN 2D (proton-proton et proton-phosphore) et la spectroscopie optique permirent de résoudre plusieurs structures d'oligonucléotides isolés et complexés. Les réactions de photocrosslinking de l'ADN en présence de la benzophénone ou de l'acétophénone mirent en évidence la formation de produits d'addition de la benzophénone, de dimères de thymine et de produits de coupure de l'ADN. La forme Z de l'ADN avec une hélice gauche à un seul sillon, suscita d'intenses travaux pour la localiser dans les cellules qui nécessitent la préparation d'anticorps anti-ADN-Z. Les travaux sur le cis-platine permirent d'élucider les déformations induites dans l'ADN suite à la fixation de cet agent anti-tumoral et mutagène qui peut former des adduits intra-brins ou inter-brins en pontant deux guanines et courtant la double hélice de l'ADN. La transposition de ces études chez la drosophile montra que le cis-platine pouvait aussi entraîner des délétions suite à la cassure de l'ADN au cours de la réparation des adduits platine-ADN. La grande maîtrise de



la synthèse d'oligonucléotides modifiés ou non en 3' ou en 5' par des colorants, des photostabilisateurs ou des transporteurs, permet de réaliser de nombreuses études sur la conformation des acides nucléiques et leurs interactions avec les protéines. Elle contribua aussi au développement de

oligonucléotides anti-sens et anti-gène. Les études sur les interactions protéine-acide nucléique intervenant dans la transcription du message génétique de l'ADN en ARN intéressèrent plusieurs systèmes biologiques : répresseur de l'opéron lactose, MCT (methanogen chromosomal), l'ADN glycosylase Fpg, MutS, l'ARN polymérase, GreA et GreB, Rho... (Fig. 3).

Glycobiologie

Cette discipline scientifique dédiée à la structure, la biosynthèse, et la fonction biologique des glycoles, oligosaccharides liés à des protéines ou à des lipides, fut initiée avec l'étude de la lectine du germe de blé (WGA) et ses interactions avec la N-acétylglucosamine, l'acide N-acétylneuraminique et leurs oligomères. La limuline fut aussi bien étudiée car mitogène pour les lymphocytes. Les lectines fluorescentes permirent de déterminer la nature de glycoconjugués à la surface de diverses cellules normales et pathologiques. Inversement, des protéines glycosylées (néoglycoprotéines) fluorescentes permirent la détection et la caractérisation de lectines membranaires chez des cellules normales ou cancéreuses et même dans les noyaux cellulaires. L'implication des glycoles et des glycoconjugués fut mise en évidence dans la domiciliation des lymphocytes, les interactions entre cellules endothéliales et cellules tumorales, l'attachement d'une bactérie pathogène (*Agrobacterium tumefaciens*) sur le tissu végétal du peuplier infecté. La vectorisation de médicaments se développe en utilisant des lectines, néoglycoprotéines, glycopolymères ou anticorps monoclonaux.



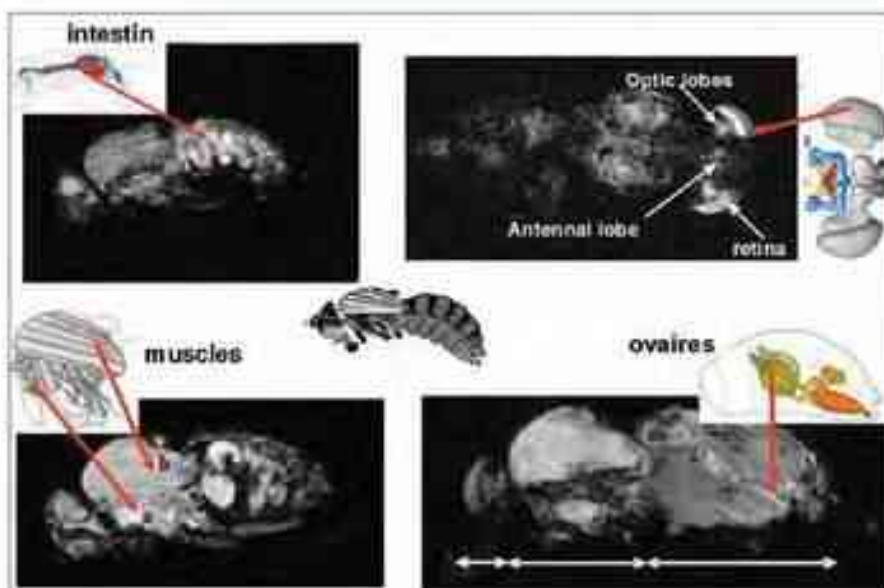


Fig. 5B : IRM, première réalisation IRM de la drosophile (mouche du vinaigre) ouvrant la possibilité de détecter et de localiser l'expression de certains gènes et de métabolites.

couplés à des agents cytotoxiques ou des activateurs de la fonction des macrophages, puis plus récemment pour développer des thérapies innovantes comme la nanomédecine, la thérapie génique et les vaccins ARN.

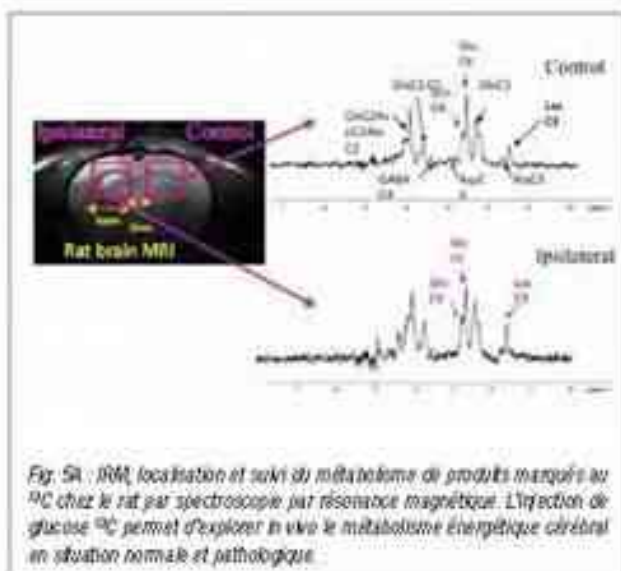


Fig. 5A : IRM, localisation et suivi du métabolisme de produits marqués au ^{13}C chez le rat par spectroscopie par résonance magnétique. L'injection de glucose ^{13}C permet d'explorer in vivo le métabolisme énergétique cérébral en situation normale et pathologique.

Cytométrie en flux et microscopie confocale

En 1983, le CBM en s'équipant d'un analyseur de cellules (cytomètre en flux) et d'un trieur de cellules (Fluorescence Activated Cell Sorter, FACS), se plaça au premier rang des laboratoires français disposant de ce type d'équipement lourd. Leur présence constitua un atout important pour le développement de la biologie cellulaire. Actuellement, le laboratoire dispose

de 6 salles de culture cellulaire dont 4 de niveau P2, de chambres d'hypoxie et une plateforme de cytométrie en flux et imagerie cellulaire (Fig. 4).

IRM

Des spectromètres de résonance magnétique à aimant horizontal de 9.4 (Fig. 2) et 7 Tesla vinrent compléter le parc instrumental afin de développer l'imagerie (IRM) et la spectroscopie (SRM) par résonance magnétique chez des souris et des rats. L'injection de glucose marqué au carbone ^{13}C permet d'explorer in vivo par SRM le métabolisme énergétique cérébral en situation normale et pathologique (Fig. 5A). Le CBM a été un des rares laboratoires où l'IRM de la drosophile (mouche du vinaigre) fut réalisée (Fig. 5B). Des sondes innovantes à base de complexes de gadolinium Gd^{3+} pour l'IRM et des sondes bimodales pour l'IRM et pour la spectroscopie optique se développent pour détecter des enzymes, des neurotransmetteurs et des cellules cancéreuses.

Conclusion

Actuellement, certaines recherches qui s'appuient sur la biophysique, la chimie et la biologie moléculaire, ont pour but de comprendre les mécanismes moléculaires fondamentaux qui sous-tendent les processus biologiques et leur régulation. D'autres s'appuient sur la biochimie, biologie moléculaire et cellulaire, développent des stratégies thérapeutiques innovantes en utilisant des modèles cellulaires et animaux. D'autres développent des techniques d'imagerie de spectroscopie magnétique et optique ainsi que des sondes d'imagerie optique et biologique et des agents de contraste IRM applicables en médecine. D'autres, en recherchant les plus anciennes traces de vie terrestre et sur d'autres objets célestes, ouvrent de nouvelles perspectives sur l'environnement et la formation des briques de la vie conduisant aux premières cellules. La biophysique théorique et computationnelle contribue à la connaissance de la structure et la dynamique des protéines, à la configuration des récepteurs sur la surface cellulaire dans la liaison ligand-récepteur. Cette multidisciplinarité permet de mener des recherches originales de niveau international pour décrypter les phénomènes biologiques et pour développer des biotechnologies utiles pour la médecine.

Remerciements

Jean-Philippe Grist, auteur d'un historique des 27 premières années du CBM (Pour une histoire scientifique du Centre de biophysique moléculaire : les vingt sept premières années).

Isabelle Frapart et tous les membres du CBM pour les différentes photos.

Patrick Mobux, Eva Jakab Toth



Cécile Asselineau-Collin a terminé sa carrière à Toulouse comme directrice de recherche au CNRS dans un laboratoire assez atypique. Sans formation initiale de l'enseignement supérieur, mais douée d'un naturel ouvert et curieux, elle est remarquée après plusieurs stages en laboratoire, pour la pertinence de ses observations et la rigueur et la qualité de son travail. Après la soutenance en 1955 d'une thèse de l'Université de Paris, elle entre au CNRS où elle développe des recherches en chimie des métabolismes naturels. Ses travaux, associés à ceux de son mari, le Pr Jean Asselineau, au Centre de recherche de biochimie et génétique cellulaires (CRBGC) du CNRS à Toulouse, notamment ceux relatifs aux mycobactéries dans le cadre des recherches sur les facteurs de la tuberculose, puis de la lepre, lui valent une reconnaissance internationale. Prosaïque continue, elle a perdu l'essentiel de ses souvenirs elle a toute sa tête et une mémoire vivante. En raison de retraite et avec l'aide d'une jeune, elle continue à travailler sur les acides mycoliques, elle nous relate des réactions de Daziers au Chaper et du virus de l'insémination qui seraient possibles.

Le document quasi historique qui suit relate une expérience de la recherche au laboratoire de chimie du service de Pharmacologie de la Faculté de Médecine de Paris, pendant la seconde guerre mondiale. Il a été communiqué via Liliane Gorrion et se trouve ici dans une version abrégée. La version intégrale sera présentée sur le site web de notre Association. En tout cas, il a été corrigé et validé par l'auteur. La photo de Jean et Cécile Asselineau, dans les années 60 au CRBGC, a été transmise par Marie et Gilbert Lancelle.

Entrant en 1941 au laboratoire de chimie du service de Pharmacologie de la Faculté de médecine de Paris, on ressentait un sentiment étrange, auquel on ne s'accoutumait que lentement, au fil des jours. Quittant le vestibule qui précédait ce laboratoire, on entrait dans une salle approximativement carrée,

qui pouvait avoir environ une douzaine de mètres de côté. Mais ce qui surprenait, c'était la hauteur sous plafond, qui dépassait cinq mètres et qui correspondait à la hauteur des fenêtres donnant sur la rue Hautefeuille. Aux murs et au centre de cette grande salle étaient des paillasses équipées pour la chimie, faites de tôle, recouvertes d'un enduit protecteur. Le faux plafond était supporté en son milieu par un pilier carré, qui semblait émerger du centre d'une grande table, et auquel étaient appuyées quelques étagères où paraissaient abandonnés quelques livres et cahiers. On comprenait facilement que ce lieu avait pu être une niche bourdonnante, soudainement privée de toute vie. Les jeunes étudiants masculins et français avaient brusquement abandonné leurs travaux pour cause de mobilisation, et parmi les autres, nombreux étaient ceux qui avaient d'excellentes raisons d'éviter tout risque de rencontre avec l'occupant allemand.

De la porte d'entrée sur le vestibule à la porte d'accès au « petit laboratoire », il n'y avait que quelques pas. Ce petit laboratoire, construit avec les mêmes éléments que le « grand laboratoire », donnait également sur la rue Hautefeuille, qu'arpentait plusieurs fois par jour, en chantant et maugrant le pas, un groupe de jeunes soldats allemands strictement encadrés par des sous-officiers. Un modeste espace en retrait garni d'une table et d'une chaise ainsi que d'étagères, était réservé au chef du laboratoire de chimie. Une porte vitrée donnait accès à une pièce assez austère qui était le bureau que le professeur Tiffeneau partageait avec sa secrétaire. Une seconde porte

Le laboratoire de chimie-pharmacologie à Paris pendant la guerre

vitrée, symétrique de la première, mettait ce bureau en communication avec le laboratoire de physiologie. Le professeur Tiffeneau, Docteur es-sciences, passionné de chimie, enseignait la pharmacologie à la Faculté de médecine, sans jamais oublier qu'il était aussi médecin et pharmacien, convaincu que ces trois

disciplines devaient s'interpénétrer. Les murs du bureau étaient tapissés d'étagères parmi lesquelles se distinguaient à peine, contourné avec elles, un étroit escalier menant à l'étage supérieur où était aménagé un second bureau. Au moins quatre fois par jour, Tiffeneau traversait le laboratoire de chimie pour se rendre à son bureau ou pour le quitter. Ces contacts quotidiens étaient superficiels mais affables ; il causait à la ronde et serrait les mains qui se trouvaient par hasard sur son parcours. A mon arrivée, au début de l'année 1941, seul le petit laboratoire était occupé, par Blanca Tchoubar et sa technicienne Suzanne Lefebvre, et par Marguerite Henriot qui dans ce même lieu avait été durant une dizaine d'années la technicienne de Jeanne Lévy, avant de passer au service d'un laboratoire industriel, le laboratoire Crinex, où j'avais fait sa connaissance. Ce dernier avait fermé ses portes fin 1940, tandis que le professeur Jeanne Lévy émigrerait en zone libre, confiant à Marguerite Henriot le soin de synthétiser quelques barbituriques, à inclure dans une étude en cours au laboratoire de physiologie.

Mon amie Marguerite Henriot avait demandé au professeur Tiffeneau la permission de me faire participer à son travail, dans le seul but de m'aider à acquérir une formation. Tiffeneau n'y avait mis qu'une seule condition : que Blanca soit d'accord, et celle-ci avait fait confiance à mon amie. Mais nos synthèses étaient tout juste commencées lorsque Marguerite Henriot fut invitée à reprendre sa place au laboratoire Crinex, dont elle devait en quelque sorte la consigner. Je me préparais donc, avec beaucoup de



Analyse par chromatographie en couche mince d'un mélange réactionnel (RBC), dans les années 60.

regret, à renoncer à mon projet d'apprentissage, lorsque mes trois mentors se persuadèrent qu'avec un bon protocole écrit et un accès sans réserve aux conseils dont j'éprouverais moi-même le besoin, ils m'estimaient capable de poursuivre les synthèses sous la direction de Bianca. Mon amie Marguerite Henriot me confia, en tête-à-tête, qu'« on » n'était pas mécontent de cette opportunité de vérifier expérimentalement jusqu'où pouvait mener l'apprentissage sur le tas de la chimie, à partir de travaux non spécifiquement conçus pour l'enseignement. L'envie d'en faire la démonstration était pour moi à la fois intimidante et stimulante. Dans cette aventure, la disponibilité sans faille de Bianca et l'atmosphère de chaleureuse amitié qui s'est rapidement établie dans notre trio avec Suzanne a joué un rôle décisif.

À cette époque, le financement de la recherche était sous la totale dépendance de firmes industrielles pour qui il représentait un investissement à risque. Quelques grandes firmes étaient associées de manière durable à quelques prestigieux laboratoires universitaires, mais dans la plupart des cas les contrats étaient précaires et concernaient une étude limitée dans ses objectifs et dans le temps. La préparation d'une thèse était considérée comme une entreprise personnelle de poursuite des études pour laquelle les bourses étaient aussi rares que parcimonieuses et convoitées. Les bénéficiaires ou les postulants s'adonnaient donc à de petits boulots auxquels ils sacrifiaient une partie de leur temps. C'est ainsi que Bianca, deux ou trois fois par semaine, était absente le matin, nous laissant à Suzanne et à moi les consignes qui devaient nous permettre de continuer un travail commencé avec elle.

Ses indications et ses mises en garde étaient en général suffisamment précises pour aboutir au résultat prévu. Mais il arriva un jour que l'obtention d'un produit amphiphile nous prit au dépourvu. Le précipité annoncé à la suite de la neutralisation du mélange réactionnel était éphémère ! Dès son arrivée, Bianca nous fit un exposé fort intéressant sur les propriétés générales des molécules amphiphiles, et sur les raisons impides de notre échec, avant d'aborder une démonstration de savoir-faire. Alors qu'elle triomphait, proclamant dans un éclat de rire : « voyez la main du maître », un léger glissement du pH anéantissait son succès. « Tout juste une main de demi-maître » conclut Suzanne. Bianca venait d'être dotée d'un surnom

qu'elle garda toute sa vie, et qui suscita bien des interrogations quant à sa signification et à son origine, la confusion phonétique (décrimée) aidant. De courtes discussions impronables entre Bianca et Titeneau étaient fréquentes, faisant suite soit à l'obtention d'un résultat expérimental, soit à la parution d'un article dans la presse scientifique, réduite à son expression française et allemande durant l'occupation. / / En dépit de leur tendance commune à analyser toute situation avec logique et sang-froid, Bianca était un peu perturbée lorsqu'elle nous raconta le bref échange qu'elle venait d'avoir avec le patron. Alors qu'elle se préparait à contrôler, par quelques tests chimiques, la qualité d'un produit resté au fond d'un flacon étiqueté cyanure de potassium, Titeneau, présent par hasard, prit le flacon et la spatule et s'approchant de l'évier fit couler du robinet un mince filet d'eau. Prélevant un fragment du contenu du flacon, il tira la langue et l'y déposa. Puis, se penchant au-dessus de l'évier, il rinça soigneusement sa langue sous le filet d'eau, avant de déclarer : « il est carbonaté au moins aux trois quarts, ne comptez pas dessus pour faire une cyanhydrique ». Et comme Bianca se montrait un peu effrayée par le risque que comportait la méthode de contrôle employée, il affirma qu'à condition de la bien maîtriser elle était sans danger et d'une très grande fiabilité jointe à sa simplicité. Toutefois il ajouta qu'il était préférable de ne pas la montrer à des étudiants, par crainte qu'il se trouve parmi eux quelque maladroit. / / Dès le milieu de l'année 1941, le petit puis le grand laboratoire se sont repeuplés peu à peu. Je ne citerai, parmi ces nouveaux venus, que ceux avec qui j'ai eu des relations amicales au-delà de brefs contacts professionnels. Tout d'abord est arrivée Madeleine Lambert (pénit madame Saliat), venue préparer une thèse de doctorat en pharmacie. Puis est arrivée une très jeune femme, Irène Oberbauer-Eltzow qui venait de terminer une licence de chimie à la Sorbonne, et souhaitait faire un stage pratique. / / Quelques années plus tard, nous associations comme témoins, Bianca et moi, au mariage d'Irène avec Hugh Felkin, qui avait rejoint l'équipe CNRS construite par Bianca.

Paula Marion était une jeune juive polonaise venue en 1939 poursuivre des études de chimie à Paris, où elle avait une sœur française par son mariage. Elle nous stupéfia parfois par sa détermination à tourner en dérision toutes les menaces qui pesaient sur elle. Lorsqu'un matin, arrivant au laboratoire avec son sac à main pressé sur sa poitrine, elle nous découvrit dans un éclat de rire fétide jaune qu'elle masquait ainsi, nous nous sommes forcées pour rire avec elle. Il en fut de même lorsqu'elle exhiba sa carte d'identité bâchée d'un tampon « juif utile ». Pourtant des amours alarmantes croquant, elle finit par accepter un soir de l'été 1942, de ne pas quitter le laboratoire, et durant plus d'une semaine campa dans le « bureau du haut », se gardant bien, la nuit venue, d'allumer une lampe signalant sa présence. C'est durant cette semaine-là qu'eut lieu l'horrible rafle du Vel'd'hiv. / / Peu de temps après, elle nous invita à assister à la cérémonie de son mariage par procuration avec son fiancé retenu en Allemagne dans un camp de prisonniers militaires français. Ils espéraient tous deux que l'acquisition par mariage de la nationalité française pourrait les aider. / /

Nous avons aussi, durant quelques mois, eu pour collègue un gargon très sympathique, assez original, dont l'enthousiasme était effrayant. Alexis Gébline terminait à la Sorbonne des études de chimie faisant suite à des études de physiologie et d'entomologie, ce qui était cohérent avec



Evaporateur rotatif pour l'élimination des solvants (CRGG, années 50)

son souhait d'être associé à une recherche pluridisciplinaire ayant pour but l'étude du paludisme. Dès la fin de la guerre, il partit au Tchad et lorsque je l'ai rencontré vingt ans plus tard, il partageait son temps entre l'Afrique et Paris où il enseignait à la Sorbonne. Toujours joyeux et plaisantant, il me dit qu'il avait beaucoup oublié la chimie, mais était devenu un spécialiste des moustiques, dont il pouvait identifier une centaine d'espèces, désespérant de les connaître toutes.

Tiffeneau recevait souvent des visiteurs, qui parfois portaient le nom d'un manuel de référence comme Polonovski, ou celui d'une réaction classique de la chimie organique. Ainsi le vieux professeur Darzens, qui Tiffeneau traitait avec égards et qui emmitouflé dans son manteau, ne retirait ses gants de laine que pour saisir papier et crayon pour défendre son point de vue concernant une réaction. Il est vrai que nos locaux n'étaient pas chauffés. Nous voyions aussi passer, plus alertes, Bourgauf ou Delépine et, parmi les plus jeunes, Hasar et madame Ramart, et bien d'autres. Le but de chacune de ces visites était généralement assez spécifique : souci administratif, problème d'enseignement, jury de thèse ou encore soumission d'un article qu'on souhaitait voir présenter à une prochaine séance hebdomadaire de l'Académie. Un jour du printemps

1942, nous avons vu se présenter un visiteur inattendu. La femme de ménage /.../ se chargea de transmettre sa carte de visite au patron, qui reconnaissant le nom d'un éminent chimiste, alla aussitôt, souriant, à la rencontre de son visiteur. Mais, dès qu'ils furent à quelques mètres l'un de l'autre, l'officier sanglé dans son uniforme, dans un cliquement de talons, leva le bras droit pour un très classique salut nazi, effaçant le sourire de son hôte qui, néanmoins, l'invita à l'accompagner dans son bureau. Mais l'entrevue avec le colonel allemand fut de courte durée et se termina là où elle avait commencé /.../. Regagnant son bureau sous nos regards interrogateurs, Tiffeneau se contenta de hausser les épaules.

Tiffeneau et Bianca avaient en commun un sens critique très développé, et le souci de ne lâcher une idée qu'après en avoir examiné toutes les conséquences. Cette tournure d'esprit a pu jouer un rôle dans la tentation de généralisation dans l'interprétation de résultats expérimentaux concernant l'étude de la transposition pinacologique. Tiffeneau s'était intéressé très tôt à ce type de réaction, proposant une interprétation en termes de radicaux libres dotés de différentes capacités migratoires. Il était aussi très intrigué par l'inversion de Walden, et étudia ce phénomène au travers de réactions mettant en jeu des couples de diastéréoisomères. Cette approche particulière de l'étude des mécanismes réactionnels cumulait évidemment plusieurs handicaps, parmi lesquels l'ignorance de la notion de complexe intermédiaire initiant une réaction, concept qui se développait au sein de l'école anglaise dirigée par Ingold. Dès la fin de l'occupation et le retour des revues étrangères, Tiffeneau et Bianca se précipitèrent sur les récents fascicules de « *J. Chem. Soc.* » et de « *J. Org. Chem.* », et constataient que la compréhension des mécanismes réactionnels avait beaucoup évolué en cinq ans mais qu'il restait encore beaucoup de travail pour expliciter certaines réactions complexes, parmi lesquelles de nombreuses transpositions intramoléculaires. Ce travail, Bianca, encouragée par Tiffeneau, était bien décidée à y participer.

Dès le mois de juillet 1945, de nombreux anciens collaborateurs de Tiffeneau se manifestèrent. L'un d'eux, vivant à Washington, nous fit une touchante et succulente surprise, sous forme de chocolat en poudre et de café. Ce cadeau était adressé « aux membres actuels du laboratoire où j'ai été si courtoisement accueilli lorsque j'ai dû fuir mon pays devant la montée du nazisme ». Nous avons immédiatement pensé que la meilleure façon de partager ce trésor était de le consommer ensemble. Nous avons réussi à nous procurer deux ou trois litres de lait, mais le sucre était introuvable, et même la saccharine était strictement rationnée. Nous avons levé cet embarras en en faisant la synthèse à partir d'un précurseur trouvé opportunément dans la riche collection de produits accumulés par les nombreux chercheurs qui nous avaient précédés au laboratoire. Nous avons décidé d'offrir, durant tout un après-midi, à chacun de nos visiteurs agréablement surpris, un verre de nos précieux breuvages, jusqu'à épuisement du stock. Ce fut l'occasion d'évoquer nos nombreux amis exilés. Nombreux étaient ceux qui avaient commencé une nouvelle vie aux Etats-Unis et ne reviendraient pas en Europe.

Mais l'annonce du retour à laquelle Tiffeneau manifesta le plus de plaisir fut probablement celle d'un neurobiologiste d'origine autrichienne qui, fuyant Berlin, avait rejoint le laboratoire parisien en 1935. Hermann Scheiner et

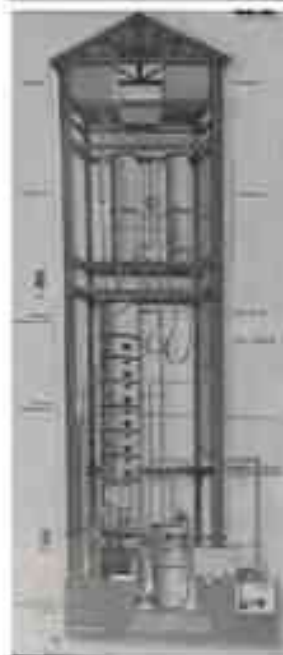
son épouse Edwige avaient passé les cinq années de guerre à Toulouse, où ils avaient réussi, vaille que vaille, à travailler - travaux scientifiques pour l'un, leçons de piano ou de chant pour l'autre - Mais l'invasion de la Zone libre par l'armée allemande les avaient contraints à se cacher avec l'aide généreuse et irremplaçable de l'Évêché. C'est à Toulouse, dans cette période de clandestinité, qu'ils ont rencontré un jeune ingénieur chimiste hongrois, Zoltan Weilhart, qu'ils présentèrent, la paix revenue, à Bianca Tchoubar. Elle l'invita à rejoindre son équipe et à tenter sa chance au CNRS. Les époux Scheiber représentaient à eux deux un véritable concentré de culture universelle, auquel Titiéneau était certainement sensible. Malheureusement, leurs retrouvailles furent de courte durée.

Titiéneau se dirigeait, à la Gare du Nord, vers le train qui devait le conduire auprès d'une ancienne collaboratrice gravement malade, lorsqu'il fut foudroyé par une embolie cérébrale, dont il décéda durant son transport à l'hôpital voisin. Les dernières semaines de sa vie avaient été consacrées à démontrer qu'on ne pouvait imputer à la culture allemande, dans sa généralité, le déploiement de l'idéologie nazie. Il se dépensa pour la défense de son beau-frère emprisonné, le Professeur Fournier, éminent pharmacologue et chimiste, à qui le gouvernement français reprochait d'avoir accueilli pendant la guerre, dans son important service de l'Institut Pasteur, de nombreux chimistes allemands, dont certains avaient probablement fait allégeance à Hitler.

Titiéneau, dont l'attachement aux principes républicains ne faisaient de doute pour personne, fit remarquer qu'un haut responsable de l'Institut Pasteur n'avait pas d'autre alternative que d'accepter ces chimistes allemands ou bien de livrer son laboratoire à l'autorité allemande, au risque d'y entailler tout l'Institut. Il lui fut en outre facile de fournir une liste de chercheurs qui, ayant fui les laboratoires allemands, avaient trouvé refuge à l'Institut Pasteur tout comme au laboratoire de pharmacologie de la Faculté de médecine. Lors des obsèques de Marc Titiéneau, l'église Saint-Séverin

se révélait un peu exigu pour contenir le groupe chamarré des représentants en robe de nombreuses universités françaises et étrangères, ainsi que quelques académiciens en costume d'apparat. Durant les semaines suivantes, toute l'équipe de Bianca Tchoubar s'activait en vue du transfert du laboratoire de chimie de la Faculté de médecine vers l'Institut Alfred Fournier, où l'accueillait le professeur Jeanne Lévy. Le CNRS réussit assurément bientôt la pérennité et l'extension de l'équipe de chimistes dirigée par Bianca Tchoubar. Ce déménagement fut l'occasion de découvrir les richesses que recelaient les nombreuses caisses laissées par tous les théoriciens, depuis 1930. Il fallut plusieurs semaines pour inventorier et classer, selon leurs fonctions chimiques, plusieurs centaines de fioles.

Une page venait d'être tournée sur un volet de la très longue histoire de la pharmacologie, volet auquel Titiéneau et Fournier, avec leurs équipes, avaient apporté une substantielle contribution. Le souci de soulager la douleur accompagnant les maladies, qui était alors une ambition réaliste, avait engendré une recherche ciblée concernant les analgésiques. La mise au point de nouveaux analgésiques, sans cesse plus efficaces, avait contribué à satisfaire cette attente, mais elle avait aussi contribué à étayer la notion de groupement chimique fonctionnel lié à une propriété thérapeutique définie. Après la production par synthèse chimique de médicaments anti-infectieux, tels que les sulfamides et les dérivés organiques de l'arsenic, puis la découverte des antibiotiques, l'ambition de la pharmacologie s'appuyait sur l'espoir de guérir des maladies infectieuses ravageuses qui, durant des siècles, avaient été subies et plus souvent combattues par des prières que par des remèdes à efficacité contrôlée. Dans cette nouvelle orientation, le rôle de la chimie était moins lié à la maîtrise de la synthèse qu'à celle de l'analyse structurale de constituants de plus en plus divers et de plus en plus complexes des êtres vivants. L'étude des mécanismes réactionnels de la chimie organique restait cependant un outil indispensable dans la recherche d'hypothèses et d'interprétations concernant l'interaction entre la drogue et sa cible.



Un chimiste pour élaborer le rhum* Neisson en Martinique

Dans la rhumerie familiale fondée en 1932, Hildevert-Pamphile (dit Jean) Neisson, ingénieur chimiste (ENSCP - promotion 1939) a mis toute son expertise de chimiste dans la mise au point d'une colonne à distiller à plateaux (type Savalle), modèle unique entièrement en cuivre qui fonctionne depuis 1952. Le jus de canne à sucre fermenté y est distillé à des degrés compris entre 65 et 75 % d'alcool, conformément au cahier des charges de l'AOC Martinique. C'est grâce au savoir-faire d'un chimiste qui a imaginé une conduite particulière de la colonne Savalle que le rhum Neisson est considéré comme l'un des meilleurs de Martinique.



Gilbert Chambaud & Claudine Neisson Vernier

* « Un peu d'alcool est dangereux pour la santé »

Des chimistes dans tous leurs états

Deux vocations... un nom : Alexandre Borodine



Saint-Petersbourg : 31 octobre 1833 (cal. julien), ou 12 novembre (cal. grégorien) : naissance d'un petit garçon. Il aurait dû se nommer Aleksandr Louk'vich Gedianov, voire Gedianovitch, car descendant d'une famille géorgienne. Mais, ce n'est pas sous ce nom qu'il fut déclaré : fils naturel d'une liaison de son père biologique (avec une jeune russe de 25 ans, Avdot'ia Antonova, il devint, pour l'histoire, Aleksandr Porfirévitch Borodin. Son père de substitution, Porfirii Borodin, avait la condition de « serf » de Gedianov : de ce seul fait, Alexandre le devint aussi. Cela commençait mal ! Mais, sept ans plus tard, Gedianov eut quelques regrets : sentant venir la mort - il avait alors 62 ans -, il libéra son fils du servage (la Russie abandonna le servage en 1861, sous Alexandre II, après avoir doté financièrement Avdot'ia Antonova pour l'avenir).

Alexandre grandit avec une éducation bien organisée par sa mère gouvernante et précepteurs : l'instruisant des langues étrangères et des mathématiques, tout en l'initiant à la pratique de quelques instruments de musique. A 9 ans et demi, le garçonnet déjà capable de jouer à l'oreille, écrit sa toute première composition : une polka pour piano, dédiée à une certaine « Hélène » dont il était tombé amoureux. D'autres écrivent des poèmes... Avec un ami de son âge, ils vont écouter des concerts, s'amuse à jouer de la musique ensemble. A 14 ans, il décide d'écrire un concerto pour flûte, puis un trio pour violon et violoncelle, tous instruments dont il savait user.

Cependant, Alexandre était également attiré par les sciences expérimentales, s'intéressant au pourquoi des choses. La chimie sollicitait particulièrement sa curiosité, au grand effroi de sa mère devant les quelques tentatives d'expériences menées à la maison. A 17 ans, certainement conseillé par sa mère qui voulait d'épouser un médecin militaire, le Dr Kleinecke (Gedianov était mort alors qu'Alexandre avait 10 ans), il fut orienté vers l'Académie médico-chirurgicale militaire de St-Petersbourg, où il entra en tant qu'externe, se vieillissant d'un an pour la bonne cause. Cinq ans plus tard, en 1856, il en sortit diplômé « cum eximia laude ». A presque 23 ans, les portes s'ouvraient devant lui. Lors de ses études, il n'avait pas délaissé la musique, composant et publiant quelques mélodies et pages de musique de chambre. Concours de circonstances et déjà signe du destin, le hasard des services à l'Académie lui fit rencontrer à l'hôpital un officier de la prestigieuse garde Preobrazhensky, le lieutenant Modeste Moussorgsky, de 6 ans son cadet. On en reparlera.

Le voici maintenant accueilli, cette fois en tant qu'interne hospitalier, au 2^e hôpital militaire - Armée de terre - de l'Académie. Il doit commencer à « patiquer » : il faut prendre en charge les soldats malades, voire blessés : la récente guerre de Crimée a causé des dégâts... Hélas, fort compassant pour ses patients, Borodine supporte difficilement la vue des blessures et du sang : s'évanouir pendant les interventions n'est pas très recommandé... Il devient vite clair que le métier de chirurgien n'est pas fait pour lui.

Il faut donc s'éloigner de la pratique clinique : fort logiquement compte tenu de ses goûts, il s'oriente alors vers la chimie-médicale. Il en résulte une thèse : « Sur l'analogie entre l'acide arsénique et l'acide phosphorique dans leur comportement chimique et toxicologique », soutenue à 25 ans, assortie de la publication de 2 articles scientifiques dans le bulletin de l'Académie de St-Petersbourg : *Recherches sur la constitution chimique de l'hydrazinamide et l'amazone*⁽¹⁾.

Depuis son entrée à l'Académie militaire, Borodine avait été très favorablement remarqué par le Pr Nicolas Zinin, fondateur de l'école russe de chimie. Ce dernier l'encouragea vivement à visiter des laboratoires étrangers, afin d'acquies de l'expérience. Aujourd'hui, cela s'appellerait « post-doctorat ». Borodine, 26 ans, part donc pour Heidelberg, pôle d'attraction des jeunes chimistes russes (A. Butlerov, de 6 ans son aîné, ainsi que D. Mendeleev, contemporain de Borodine et également élève de Zinin, y furent à la même époque). Là, il travaille sous la direction d'E. Erlenmeyer, alors jeune professeur-adjoint (privatdozent). Son séjour dura 3 ans. En regard au succès de ses travaux, sa bourse fut prolongée : il en profite pour voyager encore quelques mois en Europe occidentale : à Paris, où il assiste à des cours, devient membre de la Société chimique, puis à Pise où il effectue quelques recherches auprès du Pr P. Tassinari, analyticien. Plusieurs publications en résultèrent⁽²⁻⁴⁾.

Son éloignement de la Grande Russie favorisa certainement son rapprochement avec une jeune pianiste russe rencontrée à Heidelberg... car il épousa Ekaterina Sergeevna Protopopova un an après leur retour à St-Petersbourg. Il avait bien sûr continué à fréquenter les salles de concert et d'opéra, ici et là, et même composé quelques pages musicales, destinées à la musique de chambre (quatuor, quintette, sextuor, sonate, pour piano et/ou cordes), mais rien de vraiment majeur. Le Pr Zinin ne lui avait-il pas recommandé, avant son séjour post-doctoral, « d'écrire un peu moins de chansons » ?

Nous sommes donc fin 1862 quand Borodine revient au pays. Le Pr Zinin, ravi de l'accueillir à nouveau, lui propose un poste de professeur assistant de chimie organique à l'Académie de médecine militaire de St-Petersbourg (Borodine y sera d'ailleurs nommé professeur en titre deux ans plus tard, occupant la chaire libérée par le départ en retraite du Pr Zinin). Il est alors trentenaire. Il dispose maintenant, dans les locaux de l'Académie, d'un laboratoire moderne et d'un appartement voisin : un simple couloir les sépare ! Était-ce vraiment judicieux ? Tout



Congrès fondateur de la Société chimique de Russie, 1868. Au 2^e rang 2^e à gauche : A. Borodine ; 2^e à droite : O. Mindelsky ; presque tous les membres étaient de Saint-Petersbourg.

Archives of the Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia. Tiré de : *The life and death of Professor Alexander P. Borodine: Surgeon, chemist, and great musician. Author links open overlay panel Igor E. Konstantinov MD.*

va donc très bien : il aime enseigner et ses étudiants l'apprécient. Seulement voilà... Dès son retour à St-Petersbourg, Borodine avait renoué avec ses relations musicales de la place, notamment avec M. Moussorgsky. Le jeune officier de la garde rencontré quelques années plus tôt à l'hôpital, en 1856, avait depuis quitté l'armée et s'était rapproché du milieu musical : un groupe s'était formé, dont la plus forte personnalité était le compositeur Mily Balakirev. Et, justement, un médecin ami de Borodine et violoncelliste amateur, S. Botkin, lui fit rencontrer ce M. Balakirev ! Avec l'arrivée de Borodine, plus âgé que les autres, ce groupe allait devenir le fameux « Groupe des Cinq » : M. Balakirev, A. Borodine, C. Cui, M. Moussorgsky, et N. Rimski-Korsakov. L'idée majeure était d'élargir le répertoire symphonique russe, bien trop occidentalisé de l'avis de Balakirev, en s'inspirant vraiment de la tradition nationale slave. Dans cette optique, reconnaissant que Borodine savait écrire de la musique et semblait inspiré, Balakirev le poussa fortement à composer une symphonie... et celui qui, jusqu'alors, se considérait plutôt comme un dilettante et ne prenait pas trop au sérieux ses propres compositions, se laissa convaincre.

De ce fait, les activités de Borodine s'accroissent. D'abord, il devait transmettre son savoir en chimie, continuer à expérimenter au laboratoire, mais aussi participer à la vie scientifique de l'Académie : il s'impliqua notamment dans la mise sur pied d'un enseignement spécifiquement destiné aux femmes (obstétrique, puis médecine générale) : rien n'existait alors dans ce sens en Russie, il finalisera ce projet quelques années plus tard et prendra en charge sa mise en œuvre jusqu'en 1893. Début 1868, il participe au Congrès fondateur de la Société chimique de Russie. Mais, il doit aussi penser musique : composer la symphonie demandée. Les journées étaient bien remplies. Il écrit, avec quelque regret, semble-t-il : « ... Pour d'autres, la composition de musique est

le but de leur vie. Pour moi, c'est simplement une distraction, un repos, consommateurs de temps. Je suis absorbé par mes affaires, ma science, mon académie et les étudiants... ».

Ces va-et-vient entre art et science allaient perdurer. En 1869, V. Stassov, qui tenait un rôle important dans la vie culturelle de son pays, lui suggéra de composer un opéra sur un poème épique russe évoquant un fait historique de l'an 1185 : « le Dit de l'ort d'Igor ». Borodine souscrivit au projet et se mit au travail... très momentanément ! En 1871, se rapprochant encore de Rimski-Korsakov, maintenant professeur au Conservatoire de St-Petersbourg, il entame l'écriture d'une 2^e symphonie, et participe même, avec ses amis du Groupe, à la composition d'un opéra « collectif », chacun s'attribuant un acte ! En 1874, il se remet au « Prince Igor »... un certain temps. La 2^e symphonie paraît en 1876. Pendant ce temps... écoutons plutôt Rimski-Korsakov, le musicien : « ... le plus souvent, je le trouvais à son laboratoire, en train de faire passer quelques gaz d'une cornue à une autre ; il transvasait du vide dans du vide, disais-je... », et le même de se plaindre qu'entre les cours, les étudiants, le travail clinique, les sociétés « ... mon cœur avait mal de voir comment un grand génie perdait son temps sur ces questions et ne pouvait accomplir son vrai travail ». Cela rappelle étrangement les propos du Pr Zinn, le chimiste : « ... vous perdez trop de temps à penser à la musique. Un homme ne peut pas servir deux maîtres ». Oui, deux passions pour un même homme.

Que faire ? D'autant que, en 1877, au cours d'un voyage professionnel à l'étr, Borodine avait pris l'initiative d'une visite au célèbre Franz Listz (1811-1886), à Weimar : ce dernier, au vu des écrits et des quelques extraits que lui joua Borodine, l'encourage vivement, lui recommandant « d'ignorer les critiques » : voilà de quoi prendre confiance en soi ! Borodine décide donc de continuer à mener de front ses deux passions. Quatuors et autres mélodies se succèdent... et toujours le chantier du Prince Igor qui se prolonge : certaines parties sont terminées - les « Danses poloviennes » seront jouées pour la 1^{re} fois en 1879 - d'autres traitent encore. En 1880, l'esquisse symphonique « Dans les steppes de l'Asie centrale », dédiée à Listz, est composée en un temps record.

Mais, le temps passe. Le Groupe des Cinq évolue : en 1881, son ami Moussorgsky est mort. Son épouse est malade. Borodine, ne sachant pas refuser, répond à toutes sortes de sollicitations. D'autant que sa renommée a franchi les frontières : ses œuvres sont jouées en Allemagne, en France, en Belgique... Et il compose toujours. Une 3^e symphonie est même en chantier. Avec sa « vie professionnelle » à mener, tout cela fait beaucoup ! Pourtant, un nouveau quatuor « collectif » Rimsky - Liadov - Borodine - Glazounov est composé en 1886. Borodine a maintenant 53 ans ; il commence à ressentir des problèmes de santé... et *Le Prince Igor* n'est toujours pas achevé.

Borodine ne lâchera pas : lors d'une soirée festive à l'Académie de médecine, en février 1887, il décède brutalement : crise cardiaque ? rupture d'anévrisme ? Les versions diffèrent. Aucun des médecins présents ne put le sauver. Ce sont Rimski-Korsakov et Glazounov qui acheveront l'opéra : il sera créé le 4 novembre 1890 au théâtre Mariinsky, à St-Petersbourg. L'amitié est une bien belle chose...



Le Groupe des Cinq. De g à d : Moussorgsky, Rimsky-Korsakov, Borodin, Balakirev, Glazunov. Au centre, de profil, le critique Vladimir Stassov.

Notes

[1] - On trouve sur le site Springer Link la liste complète des publications scientifiques et des œuvres musicales de Borodine, ainsi que des citations de lui-même et des témoignages de ses contemporains, édité en fin du livre : « *Aleksandr Porfir'evich Borodin. A Chemist's Biography* », par N. A. Figurovskii et Yu. I. Solov'ev, Springer Verlag 1998. « Parmi des publications plus récentes, on citera celle du musicologue André Lischke : *Alexandre Borodine*. Collection Horizons, Bleu nuit Ed., 2004.

[2] - L'une de celles-ci décrit une réaction nouvelle publiée par Borodine en 1891, elle fut « redécouverte » en 1942 par des chimistes allemands qui la publièrent sous leur nom. Cette réaction porte maintenant le nom de *réaction de Borodine-Hunsdiecker*.

[3] - Il est probable que Borodine travaillait alors à ce qui serait le sujet de sa prochaine publication : le dosage de l'urée dans l'urine par le dégagement d'azote. Une adaptation française du livre « *Ma vie musicale* » de N. Rimsky-Korsakov édité par Pierre Lafitte et Cie, Paris, en 1914, particulièrement émouvante pour ses témoignages sur ses amis compositeurs, est en accès libre via le site <http://www.gutenberg.org>

Françoise Plerat

Un autre visage des chimistes

Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794)



« La République n'a pas besoin de savants ». C'est la réponse du Président du tribunal révolutionnaire, Jean-Baptiste Coffinhal-Dubail, au docteur Jean-Noël Hallé qui énumère aux juges les services rendus par le chimiste à la patrie et à la science. Lavoisier est guillotiné le jour-même de sa condamnation, le 8 mai 1794 en tant que fermier général. Jean-Baptiste Coffinhal-Dubail fut exécuté par les thermidorien quelques mois plus tard.

Le chimiste Claude-Louis Berthollet, membre du Comité de salut public,

essaya de s'approprier les notes de Lavoisier. Ces notes furent adroitement récupérées par l'épouse de celui-ci.

Michel-Eugène Chevreul (1786-1829)

Professeur de chimie aux Gobelins et au Muséum d'histoire naturelle, il en est le directeur pendant 28 ans. On lui doit la découverte des bougies stéariques et une théorie des couleurs par cercles chromatiques. Il a consacré une étude aux sciences occultes au grand dam de ses confrères du Muséum. Sa longévité (103 ans) lui a permis d'être témoin du début de la Révolution française et, cent ans plus tard, de sa commémoration lors de l'Exposition universelle symbolisée par la Tour Eiffel.

Emile Duclaux (1840-1904)

Disciple préféré de Louis Pasteur, il lui succéda à la direction de l'Institut de 1895 à 1904. Normailien, il enseigne la chimie à la faculté de Clermont-Ferrand. Il collabore aux travaux de Pasteur, notamment sur les vers à soie et les micro-organismes, avant de le rejoindre à Paris en 1878. Une chaire de chimie biologique fut créée à son intention à la Sorbonne. L'écrivain (et médecin) anglais A. J. Cronin y fut l'élève de celui qu'il appelait « Le grand Duclaux ».

Marcelin Berthelot (1827-1907)

Lorsque Ernest Renan quitte le séminaire de Saint-Sulpice à 22 ans, il s'inscrit comme étudiant libre à Paris. Il prend pension dans une petite institution de la rue de l'Abbé de l'Épée. Son voisin de chambre est un brillant élève de Math-spé au lycée Henri IV, Marcelin Berthelot. C'est le début d'une grande amitié, pour la vie. Au cours de conversations sans fin, ils échangeaient leurs projets et leurs connaissances. En hiver, Marcelin apportait des tisanes à Ernest dont la chambre n'était pas chauffée. Doué aussi bien pour les lettres et les sciences, Berthelot s'oriente vers la chimie. Ses travaux sur la synthèse organique et la thermochimie sont connus. Ses recherches sur l'alchimie le sont moins ! « Des origines de l'alchimie » (1885) explore l'histoire de la chimie dans l'Antiquité et le Moyen Âge. Il est aussi l'auteur d'une quadrilogie :

- Science et philosophie
- Science et morale
- Science et éducation
- Science et libre-pensée.

Son rôle politique commence en 1870 comme Président du comité scientifique pour la défense de Paris. Sénateur inamovible en 1881, il est chargé de l'instruction publique et des Beaux-Arts en 1886 et, enfin, ministre des Affaires étrangères en 1896.

Les dernières années de Marcelin et Sophie Berthelot furent attristées par une succession de décès : celui de leur ami Ernest Renan en 1892, puis ceux de leur fille aînée et de son fils unique. En 1907, Sophie Berthelot succombe à son tour à une maladie cardiaque. Son mari ne lui survit que quelques instants. Ils sont inhumés ensemble au Panthéon.

Maria-Françoise Lalou

De Marcelin Berthelot à Pierre Potier, la chimie et la paix en l'an 2000

Une proclamation de Marcelin Berthelot (1827-1907), reprise par Pierre Potier (1934-2006), a occasionné une petite recherche bibliographique collective autour de la science, l'histoire, la politique et la futurologie !

Voici d'abord comment le grand chimiste du XIX^e siècle voyait la civilisation en l'an 2000 :

Dans ce temps-là, il n'y aura plus, dans le monde, ni agriculture, ni pâtres, ni laboureurs : le problème de l'existence par la culture du sol aura été supprimé par la Chimie ! Il n'y aura plus de mines de charbon de terre, ni d'industrie souterraine ! Le problème des combustibles aura été supprimé par le concours de la Chimie et de la Physique.

Il n'y aura plus ni épidémies, ni perfectionnisme, ni guerres, ni frontières ennemies de sang humain ! La navigation aérienne, avec ses moteurs empruntés aux énergies chimiques, aura relégué ces institutions surannées dans le passé !... Un jour viendra où chacun emportera pour se nourrir sa petite tablette azotée, sa petite motte de matières grasses, son petit morceau de fécule ou de sucre, son petit flacon d'épices aromatiques accommodés à son goût personnel ; tout cela fabriqué économiquement et en quantités impuisables dans nos usines ; tout cela indépendant des saisons irrégulières, de la pluie ou de la sécheresse, de la chaleur qui dessèche les plantes ou de la gelée qui les détruit ; tout cela, enfin, exempt de microbes pathogènes, origine des épidémies.

Ce jour-là, la chimie aura accompli dans le monde une révolution radicale, dont personne ne peut calculer la portée. L'homme gagnera en douceur et en moralité, parce qu'il cessera de vivre par le carnage et la destruction des créatures vivantes. Il n'y aura plus de distinction entre les régions fertiles et les régions stériles.

Dans cet empire universel de la force chimique, ne craignez pas que l'air, la beauté, le charme de la vie humaine soient destinés à disparaître ! Si la surface terrestre cesse d'être utilisée comme aujourd'hui, elle se recouvrira, alors de verdure, de bois, de fleurs ; la terre deviendra un vaste jardin arrosé par l'effusion des eaux souterraines et où la race humaine vivra dans l'abondance et dans la joie de l'éternelle ère d'or.



Aux derniers « Rendez-vous de l'Histoire » (octobre 2017) à Blois, dont le thème était : *Eureka* - inventer, découvrir, innover, l'historien Jean-Noël Jeanneney, dans son discours inaugural, cita, tout en le résumant partiellement, Marcelin Berthelot comme scientifique, mais aussi comme homme politique visionnaire, avec son concept de « Chimie et paix ». Jean-Noël Jeanneney a bien voulu indiquer ses sources :

Il cite le passage ci-dessus dans sa propre œuvre magistrale « L'Histoire, la liberté, l'action », tout en mentionnant qu'il l'a emprunté à une annexe d'un livre prophétique de l'entre-deux guerres « Europe ma patrie » de



Gaston Rieux. En fait, celui-ci a reproduit l'article d'un journaliste, Jean Cabrerets, qui alertait dès 1927 sur le risque d'une nouvelle guerre franco-allemande :

« Si l'on vit plus longtemps, après 1918, on s'en rendra probablement compte : c'est le fait sur lequel il chantait en poète, de concert avec son ami Renan, l'avenir de la science. Poète, mais non utopiste. Marcelin Berthelot, homme politique, ministre des Affaires étrangères, sut, en effet, regarder en face le sombre avenir qui se dessinait pour l'Europe au lendemain de 1870... »

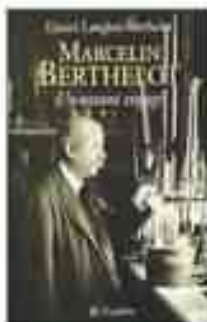
... / La Science, mère de l'industrie, productive d'abondance, peut seule résoudre, sans révolutions, le problème d'une meilleure vie matérielle pour l'univers entier. Il faut, cependant, que les hommes apprennent à utiliser exactement l'outil scientifique. C'est la condition majeure d'une pleine réussite de la Science, dont la « faillite », au surplus, n'est pas à redouter. Mais le temps presse. L'an 2000 approche ! »

J.-N. Jeanneney fait une analyse critique du discours de M. Berthelot :

En peignant la course des progrès de l'agronomie, Berthelot sous-estimait certainement pour arrêter la « fin des paysans ». / En revanche, il s'est trompé, et l'erreur est aussi instructive que ses justes anticipations, sur deux points essentiels. Les progrès techniques n'ont pas remplacé les repas (les plats préparés, surgelés et autres, ce n'est pas la même chose). Est-ce donc que la technique ne le permettrait pas ? L'explication est ailleurs. La culture des pleurs, de la bouche s'y oppose bien plus que la technique. / Il n'a prévu juste, au terme au moins qu'il avait fixé, que pour les pays les plus développés, les autres n'ayant que très médiocrement profité de ces progrès de la Chimie que Berthelot salue avec un grand C.

... / A ne considérer que les pays avancés, le déclin du charbon, sinon celui du pétrole, est en effet devenu une réalité. L'énergie nucléaire répond à l'attente de Berthelot. Mais elle se heurte, comme on sait, dans la plupart des pays, à une inquiétude dont les partis écologistes se font les porte-parole et qui elle-même fonctionne sur un tout autre tempo. / L'essor des transports et des migrations humaines, temporaires ou définitives, a pu avoir un effet antibelligère et contribuer à l'abaissement progressif des systèmes de protection commerciale, en dépit de tous les cahots. Quant à l'idée d'une relation de causalité entre, d'une part, la fin de l'énergie et la disparition de la viande de boucherie - que le suite à d'ailleurs démentie - et, d'autre

part, une pacification des âmes, elle témoigne d'une conception naïve d'un mouvement continu de l'humanité, au même rythme, dans tous les secteurs de son activité. / ...



C'était ne pas envisager l'éventualité d'un mouvement qui s'est accéléré dans les derniers temps : la dilapidation des ressources de la planète sous l'effet du boom démographique et des nouvelles industries. Phénomène enclenché plus tard et désormais déchaîné.

Mais l'histoire ne s'arrête pas là et passe par Pierre Potier, selon l'investigation menée par plusieurs de nos collègues. Muriel Le Roux nous a indiqué que, dans la préface du livre « Marcelin Berthelot, un savant engagé » de Daniel Langlois, Pierre Potier cite le texte complet du passage concerné, dans un discours de Berthelot, prononcé à un banquet en 1894. De plus, Jean-Claude Lahmann a retrouvé son fac-similé dans la Lettre des sciences chimiques (2000) avec justement le titre « En l'an 2000 ».

Retenons en particulier la conclusion :

« Messieurs, que ces rêves ou d'autres s'accomplissent, il sera toujours vrai de dire que le bonheur s'acquiert par l'action poussée à sa plus haute intensité par le règne de la science. Telle est mon espérance, qui triomphe du monde, suivant le vieux mot chrétien ; tel est notre idéal à tous ! C'est celui de la Chambre syndicale des produits chimiques. Je bois au travail, à la justice et au bonheur de l'humanité ! »

Références :

- [1] Les Rendez-vous de l'Histoire (octobre 2017) à Blois, sur le thème : Euréka - inventer, découvrir, innover. Discours inaugural de Jean-Noël Jeanreney.
- [2] L'Histoire, la liberté, l'action, Jean-Noël Jeanreney, 2013, p. 877-879 (repris de : L'Histoire va-t-elle plus vite ?).
- [3] Europe ma patrie, Gaston Ricu, 1928. Appendice XI : Vie de Berthelot (page 179).
- [4] Le Quotidien, 23 octobre 1927, article du journaliste Jean Cabrerets.
- [5] Discours de Monsieur Berthelot, prononcé au Banquet de la Chambre des produits chimiques, le 5 avril 1894.
- [6] Marcelin Berthelot Un savant engagé, Daniel Langlois-Berthelot, édition JC Lattès, 1999.
- [7] Lettre des sciences chimiques n°73 (déc. 1999 - juillet 2000), Tribune libre de Pierre Potier.

Informations collectées par Paul Gille

Henri Sainte-Claire Deville, entre ENS, Sorbonne et SCF



Le 11 mars 2018 marque le bicentenaire de la naissance d'Henri Sainte-Claire Deville. Brillant chimiste, très attaché à la Société chimique de Paris (ancêtre de la Société chimique de France, SCF) dont il fut le septième président en 1863, il

s'est illustré dans la chimie des métaux et leur élaboration, et a incontestablement marqué l'histoire de la chimie du XIX^e siècle par ses travaux sur l'aluminium et l'industrie associée^[1].

Cela justifierait certainement d'évoquer cet anniversaire, mais nous avons une raison supplémentaire, plus personnelle, d'être attachés à lui : Henri

Sainte-Claire Deville nous accompagne dans toutes nos réunions importantes par sa présence dans le tableau monumental (à l'échelle de la salle) qui orne la salle du Conseil au siège de la SCF, 250, rue Saint-Jacques à Paris. C'est ce tableau et son histoire que je souhaite commenter dans ce petit texte qui lui est dédié.

En préambule, j'aimerais remercier Dominique Melet qui a attiré notre attention et notre curiosité sur ce tableau. Il en a fait une étude approfondie et critique^[2], et considère que ce tableau et son double à l'École normale supérieure, sont les pièces maîtresses de l'iconographie de Sainte-Claire Deville, à laquelle on peut ajouter un buste en aluminium et divers autres objets de moindre importance.



Tout commence par une commande de l'État en 1886 de deux tableaux destinés à la Faculté des sciences de Paris, la Sorbonne pour décorer sa Salle des commissions : il s'agit de représenter deux enseignants de la Sorbonne ayant contribué à la renommée de l'établissement. L'un sera le médecin Claude Bernard et l'autre le chimiste Henri Sainte-Claire Deville, nommé professeur à la Sorbonne en 1852. Il restait à choisir le peintre et ce sera Léon-Augustin Lhermitte, qui jouissait à l'époque d'une grande notoriété.

Les deux tableaux sont de même dimension (280 x 180) et représentent le Maître, entouré de ses collaborateurs, présentant une expérience devant un auditoire. Le tableau de Claude Bernard, achevé en 1889, est maintenant à l'Académie nationale de médecine ; celui de Henri Sainte-Claire Deville, qui nous intéresse plus particulièrement ici, fut achevé en 1890 et se trouve donc dans la salle du Conseil de la SCF. Les deux tableaux ont vraisemblablement quitté leur site d'origine pour leur implantation respective actuelle lors du démantèlement de l'université de Paris dans les années 1968-1970.

Dans le tableau dédié à Sainte-Claire Deville, le peintre parle d'une leçon sur l'aluminium où le professeur, entouré de ses proches collaborateurs, occupe le centre de la composition, une main montrant un dispositif expérimental, l'autre posée sur la table. À sa gauche, Louis Troost est appuyé sur un appareil ; derrière lui se tient Henri Debray ; à sa droite, Paul-Gabriel Hautefeuille est penché sur la grille à gaz et manœuvre d'une main les clés de l'appareil tout en tenant de l'autre une lampe à alcool afin d'adjoindre la réaction à la vue de l'expérience en cours on peut douter qu'il s'agisse d'une leçon sur l'aluminium^[3]. À gauche du tableau se trouve Alfred Ditté, partiellement caché par le cadre, qui semble réfléchir sur la portée de la découverte et caresse sa barbe de la main gauche. Si l'on en croit le peintre lui-même, cette leçon se déroulait à l'École normale supérieure (ENS) et non à la Sorbonne, comme cela est parfois évoqué.

Peu de temps après la présentation du Sainte-Claire Deville, en mai 1890, la direction des Beaux-Arts en commande au peintre une copie « modèle aux deux tiers », destinée à l'ENS ; cette commande se justifie pleinement car Henri Sainte-Claire Deville a passé toute sa carrière à l'ENS où il fut recruté comme maître de conférences en 1851 puis devint directeur du Laboratoire de Chimie en 1868 et le resta jusqu'à sa mort en 1881. On peut



On peut penser que l'École de la rue d'Ulm avait sollicité une sorte de compensation quand elle apprit que la Sorbonne revendiquait Henri Sainte-Claire Deville comme l'un des siens à part entière, d'autant plus que sa leçon se déroulait à l'ENS si l'on en croit Lhermitte. Depuis sa réception, le second tableau n'a jamais quitté les locaux de l'École, où il occupe le mur du fond de la bibliothèque du Département de Chimie au 24, rue Lhomond. Sa taille lui permet de s'y adapter parfaitement et on pourrait sans doute y trouver une explication à la « réduction » par rapport au premier tableau. Le peintre Léon-Augustin Lhermitte ne fait pas état d'autres versions de ce tableau et note à propos du second Sainte-Claire Deville avoir exécuté une redite en dimension réduite et avec variantes. De fait dans ce tableau, l'un des personnages, Henri Debray, au lieu d'être entre Louis Troost et Henri Sainte-Claire Deville, est rapproché du premier plan et groupé près d'Alfred Ditle, la tête tournée en sens contraire.

Ce point nous amène à un commentaire sur la réalisation des tableaux. Si on considère la date de leur exécution (1889 et 1890), les deux Maîtres, Claude Bernard (1813-1878) et Henri Sainte-Claire Deville (1818-1881), étaient décédés, ainsi qu'Henri Debray (en 1888) ; les compositions ont été peintes en s'appuyant sur des représentations photographiques des personnages qui ont été placés dans un décor choisi. Il n'est donc pas étonnant qu'il puisse y avoir des variantes sur les toiles, et le déplacement d'un personnage en est une qui ne doit pas surprendre et qui a peut-être une justification. Dans son article, Dominique Mellet émet des hypothèses « tordues » sur l'énigme posée par ce déplacement d'Henri Debray que vous auriez certainement plaisir à découvrir !

Quant au buste en aluminium, il se trouve toujours à l'ENS, dans la bibliothèque du Département de Chimie ; une copie en plâtre de plus grande taille a longtemps été exposée dans l'un des halls de l'escalier principal du bâtiment situé rue Lhomond. Il attendrait sagement qu'on leur retrouve une digne place pour honorer Henri Sainte-Claire Deville.

Gilberte Chambaud
Présidente de la Société chimique de France

Références :

- [1] Foucault J., *Les conséquences économiques et sociales de l'œuvre de Sainte-Claire Deville*, L'Act. Chim., 1983, 4, p. 22.
- [2] *Annuaire de chimistes 1857-2007 : 150 ans de chimie en France avec les présidents de la SFC*, L. Lesclapart (coord.), SFC/EDP Sciences, 2007, p. 475-482.
- [3] Mellet D., « *Exce au f* » : Quelques remarques/réflexions sur un tableau de Léon-Augustin Lhermitte représentant Henri Sainte-Claire Deville donnant une leçon de chimie entouré de ses collaborateurs, collègues.

Note :

Cet article a été publié dans le N° 427-428 de l'Actualité Chimique (2018).

Le site dédié à Hubert Curien

En 2015 et 2016, une petite équipe d'anciens collaborateurs d'Hubert Curien, animée par Bernard Decomps, directeur général de la recherche et de la technologie de 1991 à 1996, a entrepris de maintenir le souvenir de ce serviteur exemplaire de la science et de la nation que fut Hubert Curien. Après l'élaboration d'un dossier pour la revue d'Histoire de la recherche publiée par le CNRS, un site internet a été mis en place, hébergé par le CNES. Un petit comité, présidé aujourd'hui par Jean-Claude Lehmann, suite à la disparition de Bernard Decomps, veille aux destinées de ce site, notamment en validant les documents et les textes proposés par ceux qui ont connu et apprécié Hubert Curien. Ce site « Une vie pour la science » doit vivre et c'est pourquoi il est demandé à ceux qui possèdent un document ou un témoignage à proposer de le déposer dans la rubrique « contacter » de ce site.

Jean-Claude Lehmann



<http://curien.univiepostdoctorale.cnrs.fr/>

Le mystère et l'humour de Stephen Hawking

Stephen Hawking est sans doute, après Albert Einstein, le physicien qui a le plus impressionné le grand public, mais pour des raisons très différentes. Dans le cas d'Einstein, il s'agit d'une passion du public pour tout ce qui est génial et profond. Mais dans le cas de Hawking, il s'agit aussi de la tragédie qu'a vécue un homme emprisonné dans son propre corps et de l'énergie incroyable qu'il a déployée pour vaincre ce handicap épouvantable et communiquer avec le monde entier.

Oui, Hawking est un grand chercheur qui a résolu des problèmes très importants, comme le fameux rayonnement de Hawking, par lequel un trou noir perd progressivement son énergie jusqu'à sa disparition complète. Il a travaillé sur des problèmes essentiels et son livre sur la nature du temps (nature qui demeure aujourd'hui un des mystères impressionnants de la science moderne) a connu un succès planétaire et mérité. Mais au-delà de tous ses grands succès scientifiques, Stephen Hawking a donné une leçon de courage utile à toute l'humanité et c'est par cette qualité de caractère extraordinaire qu'il s'est imposé à tous comme un exemple surprenant du triomphe de l'esprit sur toutes les malédictions qui peuvent surgir de la nature. Il a fait honneur à l'homme dans son adversité.

Quel était le secret de cette étonnante résilience ? Je crois qu'elle tenait à son indestructible sens de l'humour. Je me souviens d'avoir dîné avec lui dans une soirée à South Kensington. Il avait tout de suite compris que j'étais doublement intimidé en sa présence, à la fois par son immense culture scientifique et par le spectacle impressionnant du combat incessant qu'il menait pour se faire comprendre. Il a donc cherché, avec beaucoup de finesse, à me mettre à mon aise. À l'aide de sa voix, de sa timide voix de synthèse, il m'a donc interpellé :

« Savez-vous, qu'à la suite d'un sondage, j'ai remporté le deuxième prix d'intelligence du Royaume-Uni ? »

Bien sûr, ce fut le point de départ d'une merveilleuse conversation. À l'époque, j'étais très impliqué dans certains combats pour la défense de la recherche scientifique. Stephen Hawking le savait et partageait le même engagement : il a d'ailleurs refusé un titre de noblesse qu'on lui proposait en Angleterre justement parce qu'il estimait indigne, voire offensant, que le gouvernement de Sa Majesté essaye de l'acheter de cette manière. Le premier prix d'intelligence, soit dit entre parenthèses, avait été remporté par un homme d'affaires qui s'était beaucoup enrichi cette année-là.

Ce sens de l'humour extraordinaire, il l'a poussé jusque dans certaines interventions scientifiques. C'était sa marque de fabrique. Un jour, il nous a présenté une théorie surprenante. Il voulait écrire l'équation fondamentale de la mécanique quantique (l'équation de Schrödinger) qui d'ordinaire s'applique aux systèmes microscopiques tels que l'atome, en remplaçant l'atome par l'univers tout entier.

« Pour ce faire, nous dit-il à cette occasion, je remplace simplement la fonction d'onde ψ de Schrödinger par une fonction Ψ (avec majuscule) qui représente celle de l'univers. Mais je garde la même équation. Donc, notez bien : la minuscule est pour l'atome et la majuscule, pour l'univers.



Photo credit : Steve Boxall/steveboxall.com.

Au bout d'un moment d'hésitation, un de mes collègues mathématiciens, interloqué, lui demanda :

« Mais que signifie cette fonction Ψ ? Pour un atome, c'est clair : la fonction Ψ permet de calculer des probabilités. Que peut-on calculer comme probabilité à partir de votre fonction Ψ ? »

« Bonne question, répondit la petite voix métallique de Hawking après un assez long travail de clavier visiblement pénible. Peut-être pourrions-nous calculer ainsi la probabilité d'être ici dans notre univers plutôt que dans quelque autre univers voisin... »

Il est vrai que Hawking cherchait une théorie complète de l'univers qui aurait répondu à toutes sortes de questions fondamentales. À la différence de Voltaire, qui n'admettait pas qu'il y eût une horloge sans horloger, Stephen Hawking espérait une théorie complète qui aurait accompagné toute l'existence de l'univers depuis sa création jusqu'à sa fin probable en donnant des explications si profondes que l'intervention de Dieu n'aurait plus été nécessaire. Mais en fait, s'il était parvenu à trouver une telle théorie, n'aurait-il pas simplement remplacé une théologie par une autre ? Je me suis toujours demandé si Stephen Hawking y croyait vraiment ou si ce n'était pas, de sa part, une forme de plaisanterie, une face de physicien autour du mystère de la Création et de cette ténéreuse chiquetade qui, selon Pascal, était la seule intervention de Dieu nécessaire dans la philosophie de Descartes pour faire démarrer l'univers. Mais voilà encore un secret (comme celui de son humour indestructible) que Stephen Hawking a emporté avec lui.

Jamais je n'ai osé lui révéler que je suis poète. Il m'aurait chagriné qu'il ne me prenne plus au sérieux.

Jean-Patrick Connerade

Le chant choral à la portée de tous

Alfred Schwartz n'a pas qu'une brillante carrière de chercheur à son actif. Bien connu de nos lecteurs et des voyageurs AS, notre collègue a accepté de partager sa passion de toujours, le chant choral, un art à la portée de tous.

Directeur de recherche honoraire de l'IRD (Institut de recherche pour le développement, ex-Cirad, Office de la recherche scientifique et technique outre-mer), sociologue africaniste, j'ai conduit tout au long de mon itinéraire professionnel des travaux en rapport avec la problématique du développement en Afrique de l'Ouest. Des années 60 aux années 90, j'ai ainsi été amené à réaliser des enquêtes de terrain successivement en Côte d'Ivoire, au Togo et au Burkina Faso. Dans ces deux derniers pays, je me suis tout particulièrement intéressé à l'impact de l'extension récente et spectaculaire de la culture du coton sur les sociétés paysannes de la zone soudanaise. J'ai rendu compte de la dimension géopolitique de cette recherche lors d'une conférence que j'ai été invité par l'IAS à présenter au siège du CNRS, et dont le contenu a été publié dans le Bulletin n° 59 de l'été 2012, sous l'intitulé « Le coton africain dans la tourmente de la mondialisation ». À mon retour en France, j'ai dirigé pendant quatre ans le laboratoire « Sociétés du Sud et développement » (LSSD) de l'Orstom, avant de rejoindre en 1998 le ministère de la Coopération et de la Francophonie, puis celui des Affaires étrangères, en tant que chargé de mission « Politique de recherche en sciences sociales et économiques ». Retratté depuis 2002, j'ai intégré l'IAS en tant que conjoint de chercheur du CNRS. Anne-Marie Pillot-Schwartz, géographe africaniste. Ensemble nous avons pu continuer à parcourir notre vaste monde en participant aux voyages organisés par l'IAS, ce qui nous a permis également de faire la connaissance d'anciens chercheurs ou techniciens de la recherche de disciplines différentes des nôtres et d'apprendre plein de choses nouvelles en leur compagnie...

J'ai découvert le chant choral en 1979, au Togo, il y a donc bientôt quarante ans ! J'y ai fait mes premières armes, comme ténor, au sein d'une chorale internationale fonctionnant sous l'égide de l'Institut Goethe à Lomé. Dix ans plus tard, j'ai rejoint un ensemble vocal du même type à Ouagadougou, au Burkina Faso. De retour en France, j'ai chanté pendant huit ans dans la « Maîtrise des Hauts-de-Seine », un ensemble qui compte alors deux chœurs, un chœur d'hommes et un chœur de garçons, qui bénéficie d'un appui financier important de la part du Conseil général dont elle porte le nom et a son siège à Rueil-Malmaison. Particularité de cette maîtrise : les meilleurs chanteurs du chœur de garçons sont sélectionnés pour constituer le Chœur d'enfants de l'Opéra de Paris ! Avec ce nouvel ensemble, les concerts se multiplient en Île-de-France, mais des tournées sont également organisées à l'étranger. J'aurai ainsi l'opportunité d'aller chanter, en 1994, en Sicile, en 1995, dans l'Ouest des États-Unis et du Canada, en 1996, à Chypre, en Syrie et en Jordanie, en 1998, de nouveau aux États-Unis - en Louisiane, dans le Mississippi et en Floride... Je quitte cette formation en 2000, pour rejoindre le « Chœur philharmonique international », en résidence à l'Unesco, dont il soutient régulièrement les campagnes promises pour la sauvegarde du patrimoine culturel mondial et qui l'a nommé à ce titre « Artiste de l'Unesco pour la paix ». À la tête de cet ensemble, Amine Kouider, un chef de chœur et d'orchestre franco-algérien, ouvert à toutes

les musiques du monde. Des concerts en Île-de-France - à l'Unesco, à la Seine musicale de Boulogne-Billancourt, dans des églises prestigieuses -, mais aussi des déplacements en province... Ma fidélité, à travers le temps, à la pratique du chant choral ne peut s'expliquer, bien sûr, que par le réel sentiment de satisfaction personnelle, voire de bien-être, que cette activité m'a procuré tout au long de ces nombreuses années. Un sentiment qui n'est pas seulement de nature physiologique, mais peut être simplement de nature intellectuelle aussi à travers l'évocation, directe ou indirecte, du contexte historique ou culturel auquel l'œuvre chantée, voire le cadre scénique dans lequel elle est produite font référence.

Le chant choral, c'est, en tout premier lieu, une entrée en communion physique avec une œuvre musicale, à travers l'interprétation par nos organes vocaux à la fois des notes et des paroles qui en sont les constituantes. Notre système auditif est, certes, également mis à contribution mais, dans la pratique du chant choral, nous sommes davantage des acteurs que des auditeurs. Pour parvenir à donner le meilleur de nous-mêmes dans cet exercice, un apprentissage est nécessaire - mais, je l'affirme, il est a priori à la portée de tous ! Une chorale est dirigée par un chef : c'est lui qui est en charge de cette initiation à l'œuvre musicale. La connaissance du solfège peut, certes, faciliter cette phase de découverte de l'œuvre mais le travail « à l'oreille » est tout aussi important. Apprendre le solfège n'est, par ailleurs, pas une tâche insurmontable : la lecture d'une portée musicale ne s'apparente-t-elle pas un peu à un jeu ? Chez le choriste débutant comme chez le choriste confirmé, la motivation et l'investissement personnel sont les vrais facteurs déterminants dans l'apprentissage d'une œuvre. Les répétitions sont programmées à cette fin : il faut les suivre avec régularité et assiduité ! « La musique est une somme de détails », disait Pierre Boulez. La maîtrise de ces détails est précisément l'objectif premier du travail de répétition et la condition sine qua non d'une interprétation réussie de toute œuvre.

Le chant choral, c'est, en second lieu, une activité de groupe, une aventure collective. Une chorale est, de nos jours, généralement composée d'hommes et de femmes qui ont un seul et même objectif : parvenir à la meilleure interprétation possible d'une œuvre musicale. Pour atteindre cet objectif, un lien fort se tisse ainsi spontanément entre les choristes. Dans ma chorale actuelle, le « Chœur philharmonique international », nous sommes quelque 150 chanteurs - une centaine de femmes, une cinquantaine d'hommes -, d'une vingtaine de nationalités, de tous âges et de tous milieux professionnels. Le tutoiement et la convivialité sont de règle. En plus de la répétition hebdomadaire du jeudi soir, une répétition mensuelle nous réunit un samedi après-midi. Elle est agrémentée d'une pause-buffet, à la préparation de laquelle choristes masculins comme choristes féminins contribuent... avec des surprises gastronomiques souvent inattendues. Une chorale qui fonctionne en quelque sorte comme une grande famille, tout particulièrement unie autour de son chef le jour où l'œuvre musicale au programme est présentée au grand public en concert...



Le Chœur et l'Orchestre philharmonique international en concert à la Seine musicale en juin 2017. Au programme : *Carmen*, de Georges Bizet.

Le chant choral, c'est, en troisième lieu, une porte d'entrée fascinante dans l'histoire de notre humanité et dans notre façon d'être au monde, à travers les représentations qui en sont faites dans les genres musicaux multiples qui voient le jour au fil du temps... Lorsque l'on chante le « Chœur des esclaves » de l'opéra *Nabucco* de Verdi, comment ne pas avoir une pensée compatissante pour la population du royaume de Juda emmenée en captivité par le roi de Babylone, Nabuchodonosor II, après la destruction de la ville de Jérusalem et de son temple en 587 avant J.-C. ? Comment ne pas se révolter contre ce que fut, du XI^e au XIX^e siècle, la traite négrière atlantique et l'esclavage auquel elle donna lieu en de nombreux endroits du continent américain - et en particulier aux États-Unis - lorsque l'on participe à l'interprétation d'un « *negro spiritual* », un genre musical populaire né de la quête de liberté à laquelle les esclaves noirs américains aspiraient ?

Le chant choral, c'est, en quatrième lieu, également une porte d'accès à l'histoire de notre monde à travers ce que peut évoquer de certains de ses épisodes les plus marquants le cadre scénique dans lequel l'œuvre musicale est interprétée. Comment ne pas revivre l'épopée de Moïse lorsque l'on chante dans la basilique byzantine qui en commémore la mémoire depuis le IV^e siècle au sommet du Mont Nébo, en Jordanie ? Comment ne pas être interpellé par le rôle joué par le baptême de Clovis, en 496, dans l'évangélisation du royaume des Francs - la future France - lorsque l'on a l'honneur de chanter dans la basilique Saint-Rémi à Reims ?

En ce qui me concerne, ces quatre dimensions du chant choral ont toujours été inséparables. Et, plus elles opèrent ensemble, plus elles sont à même, lorsque le jour du concert l'œuvre est interprétée dans les règles de l'art, de générer un état émotionnel tellement fort, tellement envahissant, parfois accompagné de frissons, qu'on a l'impression d'entrer dans un autre monde, d'être doté comme par magie d'un « supplément d'âme ». La pratique du chant choral serait à l'origine de la sécrétion par notre cerveau d'au moins deux hormones reconnues par les chercheurs en neurosciences comme productrices d'effets bénéfiques sur notre organisme : la dopamine, l'hormone par excellence du bien-être ; l'ocytocine, « une hormone antistress impliquée dans l'empathie, l'attachement et le lien social » (Cf. conclusions d'une étude du chercheur Daniel Levitin, de l'université McGill de Montréal, in *MISEN Filia* magazine n° 40, décembre 2015). L'impact positif de ces deux hormones sur notre organisme, leur rôle dans le déclenchement de ce « supplément d'âme » lors de l'exécution d'une œuvre musicale, ne peuvent que contribuer à expliquer l'attachement, voire la passion ou l'addiction, à même d'être portés une vie durant à l'activité qui est censée en assurer la libération dans notre cerveau, le chant choral.

Alfred Schwartz

Pour la science, Anne-Lan ne pense pas qu'à soie !

La talentueuse peintre sur soie Anne-Lan, dont les lecteurs d'A3 Magazine ont déjà eu connaissance du travail pour la reconnaissance de l'œuvre de Jeanne Villepreux-Power, déploie toujours la même énergie pour mettre en lumière cette scientifique injustement méconnue. Ainsi a-t-elle organisé la célébration des 200 ans du mariage à Mesagne, en Sicile, de Jeanne Villepreux, brodeuse à Paris, née à Juillac, avec un jeune lord irlandais, Sir Flower. Un mariage heureux puisqu'il lui permettra notamment de devenir en quelques années une naturaliste alors renommée, à l'origine des aquariums. En avril 2018, Jeanne Villepreux-Power eut droit à une conférence d'Éveline Peyre, paléontologue (CNRS, MNHN), sur le thème Jeanne Villepreux : de la rebelle à la scientifique. Puis, le 2 juin, c'est Anne-Lan, Présidente de l'association « Jeanne Villepreux-Power femme de science et artiste », qui présentait elle-même sa protégée au musée Labenche à Brive. Enfin, du 28 juillet au 11 août, c'est à Porpezac-le Blanc qu'aura lieu une

exposition de minéraux et de coquilles fossilisées, en l'honneur de Jeanne. Enfin, du 7 au 17 septembre, la ville de Juillac en Corrèze et l'Association Jeanne Villepreux proposeront trois expositions sur cette « petite corrézienne mère de la biologie marine », sur le thème « de la broderie aux Sciences expérimentales ».

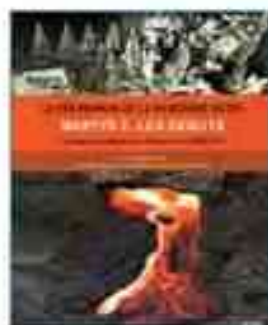


Jeanne Villepreux-Power

Pour en savoir plus, vous pouvez contacter Ann-Lan au 09 53 62 83 94 ou à l'adresse électronique : contact@anne-lan.com

Fabrice Bonardi

Le fer romain de la Montagne Noire. Martys 2 : les débuts.
25 années de recherches pluridisciplinaires (1989-2013) sous la direction de Jean-Marc Fabre, Claude Domergue, Francis Dabosi, supplément 43 de la RAN. Editions de l'Association de la revue archéologique de Narbonnaise, 2016 ; Presses universitaires de la Méditerranée (PUM), Montpellier. ISBN 979-10-90555-03-2



Cette étude sur la sidérurgie à l'époque romaine de la Montagne Noire (Occitanie) a commencé par la parution en 1993 d'un premier document relatif au site de Martys 1 : *Un centre sidérurgique romain de la Montagne Noire. Le Domaine des Forges (Les Martys, Aude)*, sous la direction de Claude Domergue, supplément 27 de la RAN, CNRS Editions, Paris, 1993. ISBN 2-222-04728-5. La deuxième partie de ces études, concernant le domaine de Martys 2, est proposée aujourd'hui dans une présentation accessible à tous.

Le centre sidérurgique romain de la Montagne Noire, situé dans le domaine des Forges (aux Martys, dans l'Aude), date du 1^{er} siècle avant J.-C. et sa production en fer a été évaluée à 110 000 tonnes pendant trois siècles. Il a donc suscité un vif intérêt et la mise en place, avec l'aide des institutions universitaires et du CNRS, d'une équipe interdisciplinaire faisant appel à des chercheurs de plusieurs UMR et centres universitaires toulousains travaillant dans des spécialités complémentaires. Nous remercions notre collègue (actuellement de l'IA3) Francis Dabosi, professeur honoraire de l'ENSICET-HP Toulouse, et éminent métallurgiste ayant beaucoup œuvré dans ce cadre, d'avoir attiré notre attention sur ces recherches qui se sont développées pendant près de 25 années. Le rôle de la chimie dans ces études archéologiques a été déterminant.

L'étude comporte trois grands volets :

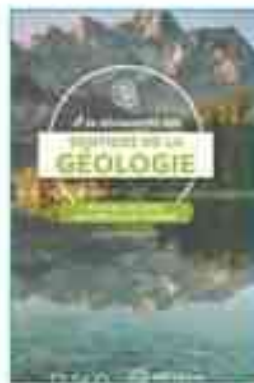
- Le premier est relatif aux fouilles archéologiques réalisées sur deux sites de ce Domaine : Montouch, en grande partie intact et bien conservé depuis l'antiquité, où six bas fourneaux de réduction ont été mis à jour et le Grand Ferret, moins bien conservé mais qui pose quelques énigmes.
- Le deuxième volet rassemble les données physico-chimiques permettant de caractériser les divers matériaux : fer, minerais, scories, déchets, restes de bas-fourneaux, sols d'ateliers... recueillis lors des fouilles. Il est intéressant de noter que l'on observe la même composition chimique pour le fer retrouvé dans plusieurs épées de la même époque ou légèrement postérieures, au large des Saintes Maries de la Mer. Il est donc probable que l'on travaillait à Martys pour « l'exportation » !
- Le troisième volet rassemble les données des expérimentations de simulation menées pour comprendre et reproduire les modalités de fonctionnement des ateliers et bas-fourneaux en usage dans notre région d'Occitanie, au sein de notre érie...

Prenez le temps de découvrir ce panorama de la métallurgie gallo-romaine, il vous étonnera !

Liliane Garrichon

À la découverte des sentiers de la géologie - Plus de 100 sites naturels à découvrir

Alain Foucault, 2018. Dunod éd. Paris, 208 pages, ISBN-13: 978-2100777907



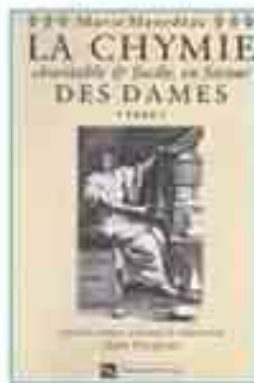
Ce guide s'adresse aux naturalistes amateurs et aux promeneurs. Il nous fait découvrir plus de 100 sites naturels remarquables de nos régions, tous faciles d'accès. Au gré de nos promenades, nous allons rencontrer des roches, des minéraux, des fossiles : le moindre caillou que nous trouverons sur notre chemin est le témoin d'une prodigieuse épopée, celle de la Terre. Illustré par plus de 500 photos, ce livre nous donne toutes les clés pour identifier les minéraux, les roches et les fossiles les plus communs que vous rencontrerez et décrypter cette histoire.

Où peut-on voir les plus belles coulées de basalte ? Pourquoi le cap Blanc-Ner est-il blanc ?

Plongez dans ce livre, laissez-vous guider par notre confrère Alain Foucault à la rencontre des mystères de la Terre...

La Chymie chantable & facile, en faveur des dames, de Marie Meurdrac, 1666

réédité par Jean Jacques, CNRS Editions 1999. ISBN : 978-2-271-05726-6



Ce livre actuellement épuisé est une réédition moderne de l'ouvrage de Marie Meurdrac, plusieurs fois réédité au XVII^e siècle, et il peut être considéré comme un important témoignage sur les premiers pas de la chimie en tant que discipline scientifique. Le règne de Louis XIV voit en effet la transformation progressive d'une alchimie plusieurs fois centenaire en une science qui va lentement devenir la chimie moderne. Après avoir exposé les propriétés des « matières premières » (végétaux, animaux, minéraux et métaux) et la manière de les préparer, Marie Meurdrac donne la composition de ses crèmes et onguents pour l'embellissement du visage, la beauté des cheveux, et de ses remèdes pour la santé en général. Un témoignage étonnant sur la science et les soins de beauté de l'époque.

Dans son avant-propos, Marie Meurdrac revendique sa légitimité d'auteur : « Quand j'ai commencé ce petit Traité, ça a été pour ma seule satisfaction, et pour ne pas perdre la mémoire des connaissances que je me suis acquises, par un long travail, et par diverses recherches plusieurs fois répétées. J'ai été tentée de le publier ; mais si j'avais des raisons de le mettre en lumière, j'en avais pour le tenir caché : je m'objectais à moi-même que ce n'était pas la profession d'une femme d'enseigner, qu'elle se doit demeurer dans le silence, écouter et apprendre, sans témoigner qu'elle sait ; qu'il est

au-dessus d'elle de donner un Ouvrage au public, et que cette réputation n'est pas d'ordinaire avantageuse, puisque les hommes méprisent et blâment toujours les productions qui partent de l'esprit d'une femme. Je me flattais d'un autre côté que je ne suis pas la première qui ai mis quelque chose sous la Presse, que les Esprits n'ont point de sexe, et que si ceux des femmes étoient cultivés comme ceux des hommes, et que l'on employât autant de temps et de dépenses à les instruire, ils pourroient les égaler».

Pour l'exemple, voici la dernière des centaines de petites recettes contenues dans l'ouvrage (non garantie par la rédaction...):

Pâte pour rendre les cheveux blancs, châtrains & noirs par une même voie: Prenez trois onces de Litharge d'or, deux écuillées de bonne lessive commune, une écuillée de chaux-vive, faites bouillir avec huit onces d'eau de roche, incorporant le tout ensemble et le faites cuire jusqu'à ce qu'il devienne épais comme de la moutarde, de cette moutarde frottez-en les cheveux avec un drapau, quand ils seront bien dégraisés avec quelque lessive ou éponge; laissez le tout une demi-heure. Et si vous voulez que cette pâte sente bon, vous pouvez, en la faisant cuire, y ajouter de la poudre d'iris de Florence à discrétion. L'usage vous fera connaître que la première fois les cheveux deviendront blancs, la deuxième châtrains et la troisième noirs.

La four et le volatil, Chimie et alchimie, de Paracelse à Lavoisier

de Didier Kahn, CNRS Éditions, 2016, ISBN : 978-2-271-08905-4.



«La four et le volatil» ou comment du feu requiert les lumières. C'est un petit livre érudit, très bien étéréoté, dont la lecture doit être attentive, au moins pour les soixante premières pages. Il s'écrit progressivement en débrouillant, comment l'alchimie, une vision «erronée» de la nature évolue vers une science : la chimie. C'est un livre d'histoire des sciences et de l'évolution des idées et des concepts sur la matière, depuis le Moyen Âge jusqu'à l'émergence au XVIII^e siècle d'une méthode scientifique expérimentale ; méthode qui permet d'établir puis de valider des faits mais aussi des conceptions nouvelles de la matière pouvant conduire à des applications.

L'accouchement fut difficile, le combat long et incertain. L'auteur décrit avec minutie l'évolution des idées sur la matière, les pratiques et les motivations des nombreux auteurs ou courants, relevant de l'alchimie. Les techniques de la chimie (distillation, transformation, fermentation, cristallisation, etc.) pratiquées depuis longtemps à des fins utilitaires, cohabitaient alors avec différentes formes d'alchimie qui traitaient entre autres de la composition des métaux, de la transmutation, de la médecine. Ces disciplines portaient toutes des visions pour maîtriser l'état de la matière mais avec des outils conceptuels inadéquats. La position des alchimistes était difficile. Leurs connaissances étaient respectables, mais leur incapacité à prouver leurs idées était un lourd handicap, suscitant leur goût du secret donc les soupçons à leur encontre d'escroqueries diverses. La diffusion de l'imprimerie

leur donna une large audience. L'auteur illustre la transition de l'alchimie vers la chimie en analysant la production bibliographique d'un alchimiste célèbre : Paracelse (1493-1541).

Le rôle de l'expérimentation, le concept de preuve, le statut de savant ont fait l'objet de longs débats dont l'issue a séparé croyances et faits expérimentaux. Cette évolution donnera naissance aux prémices de la chimie moderne portées par Lavoisier.

Jacques Jarrin

Ancien Directeur de la Chimie et de la Physique à l'FPEN

Galilée dans l'histoire, Science, religion, politique, de Jean-Paul Walch, 2017.

Collection Histoire des sciences des éditions Nouveau Monde, dirigée par Denis Guthrie.



Il y a 400 ans, l'Église condamnait Galilée en lui interdisant d'enseigner la théorie héliocentrique forgée par Nicolas Copernic. Cet épisode capital des débuts de la science moderne est souvent résumé en quelques traits simplistes, l'intransigeance de l'Inquisition, la défense désespérée d'un savant qui finit par se rétracter... « Et pourtant elle tourne ! »

Mais l'affaire est plus complexe. Elle plonge ses racines dans une époque, celle des idées nouvelles sur la Terre et l'Univers, des voyages d'exploration, des premières observations astronomiques, des grands protecteurs de la science et des savants qui interviennent jusque dans les arènes du Saint-Siège, ainsi que de ses adversaires implacables qui conduisent Giordano Bruno au bûcher. Et elle se prolonge bien au-delà, jusqu'aux travaux de Newton, à leur traduction par Émile du Châtelet et à leur défense acharnée par Voltaire...

Dans cet ouvrage, Jean-Paul Walch replace l'affaire Galilée au cœur de son époque, en rappelant également les liens étroits qu'entretenaient encore astronomie et astrologie : les astres, loin d'être immuables, sont le reflet de la vie chaotique des hommes qui les contemplent et commencent seulement à les comprendre...

Critique de l'histoire des sciences, de Michel Ray

CNRS Éditions, 2017, ISBN : 978-2-271-09184-0.



On a toujours tendance à faire remonter les commencements de la science aux Grecs anciens. On tient pour acquis qu'elle incarne un progrès en marche, qu'elle se construit linéairement de manière cumulative, chacun ajoutant une brique à l'édifice commun. La science serait universelle, surplombante, détachée de tout substrat idéologique et culturel, et les écrits de nos prédécesseurs ne seraient que des essais, souvent naïfs, pour nous permettre de devenir ce que nous sommes.

KIOSQUE : LU, VU, ENTENDU

Il n'en est rien. Nos prédécesseurs se préoccupaient de la construction de modes ayant leur propre signification, leur propre cohérence, comme autant de systèmes de pensée à une époque donnée. La question du « progrès » n'a, dans ce cadre, pas grande signification.

En revanche, un chemin traverse la pensée occidentale depuis les Grecs : celui de l'ordre démonstratif, lancé par les Éléments d'Euclide, poursuivi en terre d'Islam, renforcé au XVI^e siècle en Occident, où naissent les mathé-

matiques comme nous les connaissons. Mais cet ordre démonstratif vaut pour sa forme, pas pour son contenu.

En prenant une position résolument critique, en revisitant les approches historicistes de l'histoire des sciences, en interrogeant l'homogénéisation idéologique des pensées dans l'histoire globale, Michel Bay développe une nouvelle sensibilité aux constructions du passé comme à celles du présent, et ouvre une nouvelle voie pour l'avenir.

LES CAHIERS DE L'ASSOCIATION

Les Petits déjeuners de la science et de l'innovation
Au menu : de bonnes nouvelles !

Les trois partenaires historiques des Petits déjeuners de la science et de l'innovation, l'Association française pour l'avancement des sciences (AFAS), la Société d'encouragement pour l'industrie nationale (SEIN) et l'A3 / Rayonnement du CNRS ont été récemment rejoints par la Société des ingénieurs et scientifiques de France.



Et comme une bonne nouvelle ne vient jamais seule, il faut noter l'important succès de la séance du 12 avril 2018, intitulée « Quelques muons de trop et voilà Khéops mise à nu ! », à laquelle ont assisté près de 100 personnes.

Mehdi Tayoubi, vice-président stratégie et innovation chez Dassault Systèmes a présenté la mission ScanPyramid, dont il est co-directeur. Cette mission s'appuie notamment sur la muographie grâce à des détecteurs de muons développés par l'université de Nagoya, le KEK japonais et le CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives). ScanPyramid a permis de révéler, en novembre 2017, la présence d'un

grand vide inconnu dans la pyramide de Khéops « monument dans lequel aucune structure majeure n'avait été trouvée depuis le Moyen Âge ».

La séance du 17 mai 2018 a été consacrée à la « société intelligente », une opportunité pour l'électronique organique.

Les Petits déjeuners de la science et de l'innovation vous donnent rendez-vous pour de nouvelles découvertes ! Ils sont en effet gracieusement ouverts aux adhérents de l'A3, mais aussi aux personnes que vous connaissez et qui pourraient être intéressées. Il suffit pour cela de s'inscrire par mail à : stao@orange.fr.

Les Petits déjeuners de la science et de l'innovation se tiennent un jeudi par mois à l'Hôtel de l'Industrie, 4, place Saint-Germain-des-Prés à Paris (6^e) généralement à 18h30. Les dernières innovations technologiques y sont présentées par des experts scientifiques ou industriels reconnus.

(Il est à noter que les séances peuvent être visionnées sur le site de l'AFAS, également accessible par l'onglet « Petits déjeuners science et innovation » du site de l'A3 www.a3cnrs.org).

Fabrice Bonard

BIENVENUE À NOS NOUVEAUX ADHÉRENTS

BESSON Marie-Nicole	33000 Pessac	JEANDEL Denis	69300 Lyon	PEREZ Alain	69006 Lyon
BOISSON Henri-Claude	31300 Castelnau-Tolosan	KAPLI Madeleine	75012 Paris	ROUSSET Bernard	31180 Castelmaurou
BRUOT François	33310 Lormont	KRIEBELER Bernard	31500 Ramonville-Saint-Agne	TACUCCONE Adeline Marie	93350 Le Perreux-Robinson
CALAS André	33000 Bordeaux	KOFMAN Wladik	38100 Grenoble	TESSER Daniel	92700 Colombes
CRAGNETTO Carle	34070 Montpellier	LAURENCE David	91470 Bouilly-le-Troux	THIENG Jean-Claude	75003 Paris
GAROXUGES Christine	75007 Paris	MAMY Sylvie	25000 Besançon	TRUC Orlhy	13009 Marseille
DUPRÉ Emeline	91160 Lorgny	MORELLO Dominique	31500 Toulouse	ZEFFI Jean-Pierre	31140 Saint-Loup-Garraud
FAIRE Iris-Claude	37380 Nouzilly	PARTENSKY Christine	69002 Lyon		

Un nouveau Représentant régional A3 en Bretagne et Pays de la Loire

A3 magazine présente régulièrement les adhérents prenant une responsabilité dans l'association. C'est le cas dans ce numéro pour André Perrin, nouvellement nommé Représentant régional A3 pour la Bretagne et les Pays de la Loire. Son parcours professionnel s'intègre opportunément dans ce numéro faisant une large place à la chimie.



André Perrin, né en 1943, a fait des études de chimie à l'ENSCB (Chimiste, promotion 1964) et à l'université de Rennes. Il a intégré le Laboratoire de chimie minérale du professeur J. Pigunt et a soutenu en 1968 une thèse de 3^e cycle en Chimie et en 1976 une thèse de doctorat en Sciences physiques sur la synthèse, les études structurales et vibrationnelles de nouveaux complexes di- et tétra-nucléaires de l'ion uranyle. Entré au CNRS en 1968, il a fait toute sa carrière à l'université de Rennes, jusqu'au grade de DR1 obtenu en 2006.

Après un séjour postdoctoral à Bordeaux (CMCB, Prof. P. Hegenmüller, 1977-1978), il a rejoint l'équipe de Marcel Sergent avec lequel il a travaillé sur les « supraconducteurs de type $PbMo_2S_3$ », appelés « phases de Chevrel » (découverts à Rennes en 1971), dans le but de contrôler leur densité électronique par substitution d'une partie du molybdène par du rhénium, plus riche en électrons. Le succès de cette approche lui a ensuite permis de développer une cristallochimie extrêmement riche de nouveaux composés à « clusters » octaédriques de rhénium, caractérisés par la présence de fortes liaisons métal-métal.

Parallèlement à ce travail, il a conçu et construit au laboratoire des bâti de dépôt en couches minces par pulvérisation cathodique et ablation laser et les a mis en œuvre pour la fabrication de films de phases de Chevrel, de supraconducteurs à haute température critique (cuprates tels que $YBa_2Cu_3O_7$) et, plus récemment, de matériaux ferroélectriques. Il s'est particulièrement attaché à la caractérisation de la croissance épitaxiale de ces films par leur étude par diffraction des rayons X à l'aide d'un diffractomètre 4-cercles de lecture.

L'ensemble de ce travail a donné lieu à l'encadrement de 14 thèses d'université, plus de 200 articles dans des revues d'audience internationale, une dizaine de revues ou de chapitres d'ouvrages et plus de 300 conférences et communications dans des congrès nationaux et internationaux.

André Perrin a été responsable du service de microscopie électronique à balayage et microanalyse électronique du laboratoire puis l'initiateur du CMEBA (Centre de microscopie électronique à balayage et microanalyse électronique), Service scientifique commun de l'université de Rennes 1, dont il a été directeur de 1999 à 2009. Il a également été Directeur de l'Institut de chimie de Rennes (Fédération de recherches CNRS 2108) de 2002 à 2004, à la suite de son fondateur P.-H. Dikneuf.

Tout au long de sa recherche au CNRS, il a eu des activités d'enseignement au niveau du DEA de Chimie du solide, du Magistère matériaux, du DESS Méthodes spectroscopiques d'analyse et caractérisations physico-chimiques dans les domaines de la microscopie électronique, des couches minces et de la cryogénie. Il a également dispensé un cours sur la croissance et les caractérisations de couches minces dans plusieurs universités étrangères : Sao Carlos (Brésil), Araraquara (Brésil), université Ben Gourion à Beer-Sheva (Israël), Bishkek (Kirghizistan), Novosibirsk (Russie), João Pessoa UFPB (Brésil).

Après son départ en retraite (2009), André Perrin a effectué plusieurs séjours comme professeur invité au LIEC de l'université de Sao Carlos (Brésil) et continue à travailler en collaboration avec ce laboratoire sur des nanomatériaux à base d'argent pour la photocatalyse. Par ailleurs il s'est investi dans la sauvegarde du patrimoine scientifique de l'université de Rennes 1 (membre de la Commission culture scientifique et technique, porteuse de la mission PATSTEC, correspondant scientifique pour le domaine de la chimie) et a organisé plusieurs expositions à la Bibliothèque Universitaire à l'occasion des années internationales de l'ONU (années de la Chimie, de la Cristallographie, de la Lumière et des Légumineuses).

André Perrin est lauréat de la Société française de chimie (prix de la Division chimie du solide 1991), Professeur Honoraire de l'Institut des matériaux de Taiwan (IPC 1989), Fellow of the Dore Foundation (Irlande 2002) et membre de l'Académie européenne des sciences (depuis 2012).

Nota :

Un prochain numéro d'A3 Magazine présentera André Calas, désormais Représentant régional A3 en Aquitaine.

ILE-DE-FRANCE

Programme des activités proposées par la représentation IdF au 2^e semestre 2018

Excursion à Tours, 18 septembre 2018

A la découverte d'aspects inédits de la cathédrale Saint-Gatien de Tours

Accueil par la Société archéologique de Tours (SAT) avec laquelle nous avons un partenariat et visite de la chapelle Saint-Libert. La chapelle Saint-Libert est une chapelle située dans le centre de Tours qui vient d'être restaurée par la Société archéologique de Touraine. C'est une ancienne église romane, datant principalement du XII^e siècle, se trouvant dans le plus vieux quartier de Tours. Elle est en partie construite sur le rempart du castrum gallo-romain du IV^e siècle, le long de la Loire.



Nous assisterons à deux conférences :

1. La sculpture fantastique au XV^e siècle à la cathédrale de Tours par G. Fleury : placés en contre-jour ou en des endroits très élevés, les chapiteaux imaginés du XV^e siècle sont particulièrement surprenants. Ils sont tous authentiques et inédits. Les exemplaires étudiés se situent à l'intérieur de l'édifice, aux supports de l'avant-corps, aux triforiums, aux remplages aveugles des faces intérieures des tours, aux supports de la grande rose ouest. Ils constituent, avec les chapiteaux végétaux, qui sont beaucoup plus nombreux, les seuls témoins subsistants de l'art de la cathédrale au Moyen Âge finissant.
2. Le vitrail de Saint Jacques de la cathédrale de Tours par D. Péronard-Mée : dans les archives de la SAT, sept cartons aquarellés proposant, au XV^e siècle, la restauration d'un panneau en mauvais état d'un vitrail de Saint Jacques à la cathédrale de Tours. Une question : la restauration avait-elle été effectuée, et si oui, par qui ? Une réponse imposée par les textes. Puis des surprises : une nouvelle datation, une nouvelle origine, un miracle de Saint Jacques très populaire mais dans une version inconnue dont la version tourangelles semble unique. D'où une nouvelle question : une image peut-elle précéder ou adapter un texte ?

Ces conférences seront suivies de la visite commentée de la cathédrale.

Visites à Paris (sous réserve de confirmation)

- Jeudi 27 septembre : Musée Jacquemart-André, expo « Caravage ».
- Vendredi 12 octobre : Grand Palais, expo « Miro ».
- Jeudi 18 octobre : Musée Cognacq-Jay, « la fabrique du luxe ».
- Mardi 6 novembre : la crypte de Notre Dame.
- Vendredi 23 novembre : Musée Carnuschi, « Trésors de Kyoto ».
- Mardi 11 décembre : Musée d'Orsay, Picasso bleu et rose.
- Vendredi 18 janvier : Musée Maillol, Giacometti.

Conférences à l'auditorium du campus Gérard Mége

- 9 octobre : Napoléon et de Gaulle deux héros français, par Patrice Gueniffey, Directeur d'études à l'IEHSS.
 - 8 novembre : de l'œnologie à la viticulture : des traditions aux innovations, quelles recherches pour quels enjeux ? par Jean-Louis Escudier, chargé de mission Iria (Montpellier).
- Le livre du même nom de cet auteur, présenté dans notre n° 71, rubrique « Kiosque », est nommé pour représenter la France, en livre sur le vin, au concours Gourmand Awards à Yantai en Chine du 21 mai au 1^{er} juin.
- 4 décembre : Yves Dubreuil, Président de Renault-Histoire.

*Véronique Machelon,
Représentante régionale A3 Ile-de-France*

Le plancher de Joachim : L'histoire retrouvée d'un village français

Jacques-Olivier Boudon - Paris, vendredi 16 mars 2018

Ce vendredi 16 mars, le professeur Jacques-Olivier Boudon, historien spécialiste de l'histoire de la Révolution française et du Premier Empire, professeur à Sorbonne Université, est venu nous parler, dans l'auditorium Marie Curie du campus Michel-Ange du CNRS à Paris, d'une recherche étonnante et inédite. Partant d'inscriptions découvertes au revers du plancher du château de Picomtal dans les Hautes-Alpes, à quelques kilomètres d'Embrun, Jacques-Olivier Boudon fait revivre un village français de la fin du XIX^e siècle. Disposant des témoignages directs d'un menuisier, Joachim Martin, il nous permet d'entrer de plain pied au cœur d'une société villageoise, avec ses secrets, ses misères, ses espoirs, et ses craintes aussi devant les changements qui s'annoncent avec l'arrivée du chemin de fer et l'avènement de la République. Joachim Martin s'avère un témoin exceptionnel des mœurs de son temps d'autant qu'il sait qu'il ne sera probablement pas lu de son vivant. À travers son témoignage, c'est toute une époque que Jacques-Olivier Boudon fait revivre sous sa plume d'historien et qu'il nous a permis de découvrir le 16 mars dernier pour le plus grand plaisir de ses nombreux auditeurs.



Véronique Machelon

Visite du musée des moulages

Hôpital Saint-Louis - Paris, mardi 13 février 2018

À la suite de la peste de 1603, Henri IV ordonne, en 1607, la construction d'un hôpital pour maintenir les « pestiférés » hors des murs de la capitale. Il lui donne le nom de son aïeul Saint-Louis. L'hôpital est rapidement achevé en 1612. On peut encore admirer ces beaux bâtiments dans le quadrilatère, rappelant la place des Vosges. En 1801, l'hôpital est dédié aux malades de la peau et devient le « temple de la dermatologie » grâce aux travaux de Jean-Louis Alibert qui a ouvert la voie à l'école de dermatologie française. Le musée des moulages illustre cette discipline et la façon dont elle a été enseignée au cours du XIX^e siècle jusqu'au milieu des années 1960. C'est Alphonse Devergie, médecin de l'hôpital Saint-Louis, qui eut l'idée de créer un musée des malades de la peau, donnant ainsi aux étudiants un outil de travail privilégié. À la fin du XIX^e siècle, Charles Laffra a l'idée de faire reproduire les maladies de la peau à l'aide de moulages en cire et fait appel pour cela à Julien Baretta, un artisan fabriquant des fruits en carton-pâte. Julien Baretta réalise son premier moulage en 1867 et resta 46 ans à l'hôpital Saint-Louis réalisant des pièces qui devaient résister au temps et être susceptibles d'être présentées lors de congrès. Le bâtiment qui abrite ces moulages est inauguré en 1889 au cours du premier Congrès international de dermatologie, soulignant le prestige de l'hôpital dans le domaine de la dermatologie. Des moulages réalisés par Baretta et ses successeurs à la demande des médecins sont utilisés pour illustrer les cours de dermatologie jusque dans les années 1960. Le dernier moulage a été réalisé en 1960.



Aujourd'hui la collection dite « pédagogique » compte 3 660 moulages auxquels s'ajoutent la collection Alfred Fournier pionnier de la lutte contre la syphilis, le fonds Péan consacré à des curiosités chirurgicales et fonds Parrot (malformations congénitales infantiles). En tout plus de 4 800 pièces constituent la collection des moulages de l'hôpital Saint-Louis. Cette collection est un témoin précieux de l'état sanitaire du pays à un moment donné et de l'histoire de la médecine. Elle constitue aussi, à sa manière, un patrimoine artistique à préserver. Les moulages et les vitrines qui les contiennent ont été classés à l'inventaire des monuments historiques en 1992 et le bâtiment a été inscrit à l'inventaire supplémentaire des monuments historiques en 1997.

Véronique Machelon

Visite de l'hôtel de la Monnaie

Paris, jeudi 8 février 2018

Des conditions climatiques difficiles et des transports chaotiques n'ont pas découragé les 25 personnes présentes à la visite du musée de l'hôtel de la Monnaie à Paris ce jeudi 8 février. Et aucun ne l'a regretté, certainement. Profitant d'un rayon de soleil providentiel, nous avons commencé par une visite des extérieurs, une enfilade de cours faisant office de puits de lumière pour éclairer les ateliers. En effet, il est difficile aujourd'hui d'imaginer que, malgré la relative sobriété de l'art décoratif, ces magnifiques bâtiments construits sous Louis XV par l'architecte Antoine Denis étaient destinés à être le lieu de fabrication de notre monnaie. Aujourd'hui délocalisées à Pessac à côté de Bordeaux, les nouvelles installations sont plutôt figure de banquier, protection oblige !



Une des premières presses pour fabriquer les pièces de monnaie.
Photo V. Machelon

De l'extraction du métal à la frappe, du marteau à la presse mécanique, des monnaies antiques à l'euro, nous avons découvert le nouveau musée, ses collections et les secrets de fabrication d'une des dernières manufactures en activité de Paris. Il reste en effet quelques ateliers qui contiennent essentiellement à des activités artistiques : frappe au marteau, frappe à la presse ou frappe au balancier... Au fil des années, les techniques ont évolué pour permettre un rendu plus net et précis. Ainsi nous avons découvert l'atelier de fondre, l'atelier de cisèlerie et de patine, et le Grand Monnayage, cœur de la Monnaie de Paris. C'est ici qu'une partie de la fabrication des pièces commémoratives de 2 euros a été réimplantée. Ces pièces font l'objet de campagnes de frappe exceptionnelles chaque année. Au cours de notre périple, nous avons pu apercevoir les étapes consacrées au travail de graveur, fondeur, estampeur, patineur, cisèleur, bipouter et emailleur, les outils, des objets à différents stades de conception. Au-delà des ateliers, c'est un patrimoine exceptionnel que le musée du 11, qui Conti présente avec environ 2 500 objets de ses collections dont certains n'ont encore jamais été révélés au public. Dans une salle à l'allure de coffre-fort, sont rassemblés des trésors aux histoires incroyables dont un trésor sous-marin, une découverte fortuite, une prise de guerre et un trésor enfoui. Nous avons pu admirer la nuée de lingots en or et en argent qui composent le trésor de Hué.

LA VIE DES RÉGIONS

Des trésors enfouis et retrouvés, mais aussi de très belles créations contemporaines que nous avons pu admirer à la fin du parcours, témoignages de la créativité et du savoir-faire des artisans d'aujourd'hui. Sans oublier la vitrine consacrée à la fabrication des décorations, légions d'honneur, médaille, et autres... Un clin d'œil à la visite que nous avons faite au printemps dernier au musée de la légion d'honneur.

Véronique Macheion

LANGUEDOC-ROUSSILLON

Le long chemin, de la recherche aux applications pharmaceutiques

A Jacou, au nord des campus universitaires de Montpellier, un ancien garage abrite un immense plateau ouvert dédié de fresques d'art urbain (photo 1). Ce plateau est dédié à des espaces de convivialité et aux



Photo 1. Le cœur de l'entreprise : plateau ouvert ou « open space » (photo Jean-Manuel Cros).

laboratoires. Nous voici, ce 17 octobre 2017, chez Médical (<http://www.medicell.com>). Jusqu'en 2009, l'entreprise fondée en 2002 à partir des découvertes de Michel Vert, l'un de nos collègues et ancien chercheur au CNRS à Montpellier (voir interview ci-après), a connu tous les tracasseries habituels du passage de la recherche au développement : incubation, jeune pousse, levée de fonds, etc. À présent, elle teste des médicaments, dont deux sont en essais cliniques. Discrètement, elle a recruté plus de 120 salariés, tous actionnaires. Pour cette visite nous avons été accueillis par Adolfo Lopez Noriega, responsable des recherches, Jean-Manuel Cros, responsable d'un des programmes et par Michel Vert (photo 2). Cette croissance exponentielle tient au gel BEPO (bioresorbable disposition), assemblage complexe de polymères biomédicaux qui, au contact de fluides corporels, se solidifie en une boulette translucide dans laquelle est emprisonnée la molécule active d'un médicament. Injectée sous la peau ou proche du lieu d'action, elle diffuse la molécule durant un laps de temps qui va de quelques jours à quelques mois selon sa formulation en réduisant sensiblement les doses. Technique innovante, elle ouvre des perspectives à une foule de molécules connues. Médical a conclu des partenariats



Photo 2. Les acteurs de notre visite : de gauche à droite, Adolfo Lopez Noriega, responsable des recherches, Jean-Manuel Cros, responsable d'un des programmes et Michel Vert, notre ancien collègue du CNRS (photo Serge Rambaut).

avec des groupes pharmaceutiques couvrant un large éventail : psychiatrie, douleur, anesthésie, oncologie, contraception, maladies tropicales et même, initialement, usages vétérinaires. BEPO est une solution au problème de l'observance des traitements. Les premiers médicaments, développés en partenariat avec un acteur international confidentiel, ciblent des maladies psychiatriques, domaine où une proportion significative des malades arrêtent leur traitement en cours de route. Comme la technologie possède l'immense atout de diffuser localement sans impacter tout l'organisme, la chirurgie orthopédique souhaite l'utiliser avec des anti-inflammatoires locaux. À moyen terme, l'entreprise ambitionne de délivrer 10 millions de doses par an au prix de 1 ou 2 euros la dose. Après trois exposés en salle et la visite des installations, nous avons interviewé les acteurs de cette visite.

Votre carrière au CNRS a été longue et riche en succès scientifiques. Pouvez-vous nous en donner les étapes-clés ?

Michel Vert : J'ai eu la chance d'une formation originale au lycée avec la préparation d'un BEI, puis d'un BTS en parallèle au bac général, puis la propédeutique pour poursuivre à la faculté des sciences de Paris après un court passage en prépa abandonnée car trop orientée vers l'ingénierie. J'y ai obtenu une licence de chimie, puis une spécialisation en chimie macromoléculaire en plein développement en 1961. En 1965, j'intègre le CNRS immédiatement après une thèse de 3^e cycle et prépare un doctorat d'état à l'université de Rouen. Je n'ai plus quitté le CNRS. De stagiaire, je suis devenu chargé de recherche dans une ERA de l'université de Rouen, puis Directeur d'un premier laboratoire à l'INSA de Rouen. J'ai quitté la Normandie pour créer une URA devenue UMR à la Faculté de Pharmacie de Montpellier : un projet pluridisciplinaire chimie-biologie appliquée que mes collègues rouennais avaient torpillé. Pour poursuivre des travaux brevetés en 1996, j'ai contribué à fonder en 2002 deux sociétés : Arterial Remodeling Technologies et MedinCell, les coûts pour des applications chez l'homme devenant excessifs pour la recherche publique. Rejoint en 2007, je continue à assister MedinCell si nécessaire.

En ce qui concerne la science, ma formation, lorsque polymères de synthèse et macromolécules naturelles n'avaient pas encore été séparés, m'a conduit vers des polymères originaux intermédiaires, sans intérêt pratique, car trop coûteux. Le déclin vint d'un chercheur du domaine naissant des biomatériaux

qui m'a convaincu de leurs potentiels biomédicaux. La suite est un enchaînement vers les polymères dégradables, les applications en orthopédie, en pharmacologie et même dans la protection de l'environnement.

Les biopolymères artificiels en quelques mots.

MM. L'idée est très simple. Il s'agit de polymères synthétiques biocompatibles et dégradables dérivés de métabolites, c'est-à-dire de petites molécules naturelles présentes en biochimie. Composés polymères qui, par dégradation régénèrent les métabolites qui sont alors excrétés ou éliminés d'un organisme par voies naturelles, c'est-à-dire dans le cas du corps humain par excrétion ou métabolisation pour former des tissus ou de l'eau et du gaz carbonique exhalés.

Des 22 brevets aux transferts de technologie en passant par la création de startups, où avez-vous rencontré le plus d'obstacle ?

MM. A toutes les étapes. Il y a bien sûr la recherche puis la prise de brevet. L'innovation est en place mais, sans valorisation, elle n'est rien. Ensuite vient le transfert et la recherche de financements dont le montant devient vite inaccessible aux moyens publics. J'ai eu à contribuer à trois cas. A chaque fois, il a fallu trouver un entrepreneur et des financements, c'est-à-dire un ou des financeurs. Il faut en vouloir !

Quid des stents biodégradables ? Qu'en est-il actuellement ?

MM. Une trentaine de patients ont été traités selon les protocoles réglementaires. Une entreprise japonaise devait acheter la technologie mais des résultats moins enthousiasmants que prévu d'un concurrent étranger ont découragé les acquéreurs. Le projet est à nouveau bloqué sans que sa technologie soit remise en cause. Retour à la case départ ou presque !

Consultant voire mentor, comment se passent vos échanges avec les jeunes chercheurs ?

MM. Oh, c'est très simple. Quand ils ont un problème, ils viennent me voir et j'essaie de les aider. Il n'y a pas que les jeunes chercheurs. J'apporte mes connaissances essentiellement au niveau scientifique.

Votre innovation phare est le gel injectable BEPO. Décrivez-nous ses objectifs et son mode d'action.

Adolfo Lopez Noriega. BEPO doit améliorer la qualité de vie des patients et réduire les risques associés aux traitements oraux. Un malade chronique ingère pilules ou comprimés tous les jours. Cette méthode est loin d'être idéale et, ce, pour de nombreuses raisons. Le respect absolu des prises lors d'un traitement chronique par voie orale est contraignant et conduit à une dose d'exposition souvent sous-optimale. De la même façon, dans le cas des traitements avec de possibles effets secondaires, les patients sont susceptibles d'interrompre leur traitement avec les conséquences que l'on imagine. De plus, le fait de prendre un comprimé chaque jour est un rappel permanent, psychologiquement néfaste pour les patients et leurs proches, de la présence de la maladie. Avec une seule administration de médicament, le patient aura une concentration thérapeutique sûre et contrôlée de principe actif dans le sang à long terme.

BEPO utilise des copolymères de type « PEG-PLA » bio-résorbables qui sont dissous dans un solvant organique biocompatible. La substance active est ajoutée à l'ensemble qui devient soit une suspension, soit une solution.

Lorsque ce mélange est injecté dans tout milieu aqueux du corps (le milieu sous-cutané par exemple), le solvant organique se diffuse et le copolymère précipite formant un dépôt solide, piégeant ainsi la molécule active. La diffusion du médicament survient lors de la dégradation des polymères. Il est possible de contrôler finement cette cinétique en jouant sur la composition.

La quête du *Brazil*, c'est-à-dire le dosage optimal entre copolymères, principe pharmaceutique actif et solvant semble très expérimental, voire empirique.

ALN. Comme je vous le disais, la technologie BEPO paraît simple mais multiparamétrique : la taille des copolymères, la taille du PEG (polyéthylène glycol) et celle de la partie PLA (polylactide), le ratio entre copolymères, le ratio entre substance active et copolymères. Il est vrai qu'obtenir une formule optimale semble empirique. Notre expérience nous permet de définir a priori la formulation susceptible de correspondre à la pharmacocinétique d'une substance active donnée. De plus, nos procédés suivent le principe de QbD « *quality by design* » (qualité de conception), qui nous permet d'identifier très tôt les paramètres-clés influençant le profil de diffusion désiré.

En vous recentrant sur la santé humaine, les coûts deviennent considérables impliquant codéveloppement, partenariat avec les entreprises pharmaceutiques. N'y a-t-il pas un risque d'aboutir à un pilotage de vos recherches par « l'aval » ?

ALN. Oui c'est le cas. Cependant, nous concevons toujours nos relations avec nos partenaires comme des collaborations. En effet, avant d'engager un nouveau partenariat lors des négociations, nous restons fermes sur l'idée que chaque projet n'aboutira que si nous le faisons ensemble. Indubitablement, nous n'avons pas le poids économique pour accéder au marché et avons besoin de mettre en place des partenariats pour la commercialisation de nos produits. Nos partenaires ont besoin de notre expertise pour développer les formulations les plus optimales. Dans tous les cas, l'ensemble des procédés de développement est fait en étroite collaboration en liaison avec des équipes dédiées : autorisation de mise sur le marché, essais précliniques, expertise toxicologique. C'est réellement un travail d'équipe. Parfois facile, parfois plus difficile, mais toujours en équipe.

ALN. Avec la croissance exponentielle du nombre de projets de recherche, du nombre de chercheurs de 22 nationalités, comment fonctionne cet écosystème ?

Vraiment bien ! L'équipe est jeune et dynamique. Le nouvel arrivant est rapidement intégré. Il suit une formation interne de trois semaines pour s'immerger dans notre « culture », à nos technologies et à nos façons de travailler. Cet environnement multiculturel et ses 22 nationalités est une de nos forces en phase avec notre esprit d'innovation. Nous additionnons savoir-faire, expériences et points de vue pour concevoir de nouvelles façons de faire, de penser « *out of the box* ». Cet écosystème me convient à merveille, je viens d'Espagne et j'ai passé la plupart de ma vie professionnelle à l'étranger.

Vous dirigez un des projets de recherche, de quoi s'agit-il ?

Jean-Manuel Crie. « *Rodhi* » est un des projets internes du pôle recherche. Il a pour objectif le maintien et l'expansion de la propriété intellectuelle. L'innovation est la condition sine qua non des entreprises biotechnologiques. Elle permet d'étendre la technologie existante mais n'est applicable que par l'extension ou le dépôt de nouveaux brevets. Notre équipe travaille

étroitement avec tous les acteurs du pôle recherche et centralise les résultats. Nous identifions les résultats inattendus ou novateurs et évaluons leur potentiel de propriété intellectuelle. Lorsque la décision est prise de protéger un nouvel aspect de la technologie, l'équipe interagit avec les cabinets de brevets nationaux et internationaux et réalise les expérimentations nécessaires à sa bonne exemplification.

Entre pillosse, pilotage et interactions avec vos équipiers, comment se partagez vos activités ?

JMC. 30 % aux labo et 70 % à la gestion du projet : gestion financière, organisation et planification des activités, interactions avec les acteurs externes, rédaction de rapports, etc. Ayant toujours eu un fort attrait pour la pillosse et ne pouvant me résoudre à m'en défaire, je réserve 30 % pour travailler avec l'équipe dans la mise en place et la réalisation d'expériences. Une de nos spécificités est la polyvalence : l'équipe assiste le chef de projet et vice versa, bouleversant ainsi les codes hiérarchiques souvent figés dans la majorité des entreprises.

La ruche de l'« open space » suppose un fonctionnement symbiotique. Qu'en est-il ?

JMC. Cela implique, de fait, un respect des autres pour garantir un silence relatif mais présente surtout des avantages. Les équipes sont organisées en « îlots » ce qui rend facile une communication entre membres. Pour ce qui est des interactions avec les autres équipes, il suffit de se lever et de faire quelques mètres ! Cette organisation est unanimement plébiscitée.

Vous êtes déjà un ancien, comment imaginez-vous les développements à venir ?

JMC. Oui déjà un ancien ! Après seulement quatre ans ! La nombre d'employés a été multiplié par cinq. Cette dynamique se poursuit et laisse présager le meilleur pour le futur. MedinCell est une entreprise atypique. Nous voulons changer les codes du monde pharmaceutique pour permettre l'accès aux soins au plus grand nombre à un coût minimal. Nos traitements sont plus ciblés, justement dosés, limitent ainsi les effets secondaires. Nous touchons au but. Nous rendons possible une meilleure observance des traitements et permettrons aux populations, qui n'ont pour l'instant qu'un accès limité aux soins, de pouvoir bénéficier de traitements de longue durée à faible coût.

Propos recueillis par Serge Rumbal

Le Centre spatial universitaire de l'université de Montpellier

Cette visite, qui a réuni 8 membres de l'Association A3-CNRS, s'est déroulée dans les locaux du Centre spatial universitaire de l'université de Montpellier (<http://csu.edu-montpellier.fr>) sur le Campus de Saint-Priest le 15 décembre 2017. Nous avons été accueillis par Laurent Dusseau, professeur de l'université de Montpellier et directeur du Centre. M. Dusseau nous a d'abord reçus dans la salle dite « d'ingénierie concurrente » (photo 1) qui permet de réunir les divers acteurs d'un projet industriel spatial (experts, corps de métier...) avec les outils informatiques nécessaires pour concevoir et dessiner un engin spatial et en simuler le fonctionnement en vol. M. Dusseau nous y présente les missions et les réalisations du Centre spatial universitaire : le Centre



Photo 1. Explication de M. Dusseau dans la salle d'ingénierie concurrente du CSU (photo G. Vasseu)

contribue à la sensibilisation aux techniques spatiales des jeunes dans le secondaire (collège, lycée puis université) et à leur formation aux métiers du spatial au niveau supérieur. Cette formation supérieure (niveaux DUT, master ingénierie des systèmes spatiaux ou licence prof s'appuie sur des projets spatiaux réels et motivants : elle familiarise avec l'utilisation de plateformes technologiques adaptées et fournit en outre, par les contacts industriels, une compétence appréciée. Dans le cadre de cette activité, le CSU développe depuis 2001, en collaboration avec des agences spatiales (CNES, ESA, ...), une technologie de nanosatellites dits 1-U à 3-U. La conception, le développement, la réalisation et l'exploitation de ces satellites se font dans des équipes pluridisciplinaires d'étudiants à plusieurs niveaux (titages, thèses, post-doctorat) encadrés par des ingénieurs expérimentés. Sur le plan institutionnel et managérial, les développements industriels sont soutenus par la Fondation Van Allen qui participe à la gouvernance et au financement des projets.



Photo 2. Modèle d'un nanosatellite de type 3-U (photo G. Vasseu)

Le développement d'un projet spatial doit être décomposé en étapes élémentaires aboutissant à la définition de sous-systèmes prenant en compte leurs interfaces, à leur réalisation et leur intégration ultérieure dans un satellite prêt à être lancé. Le rôle du CSU est focalisé sur la première (décomposition en éléments) et la dernière (intégration) de ces étapes. Le

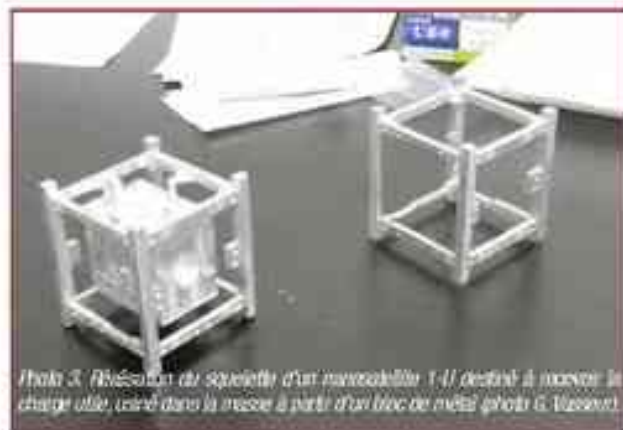
MIDI-PYRÉNÉES

CSU suit également le développement des sous-systèmes qu'il peut confier à des composantes d'enseignement ou à des laboratoires. Le développement du projet est essentiellement réalisé par les étudiants encadrés par les universitaires et en interaction avec les industriels.

Les réalisations de nanosatellites sont fondées sur le standard « CubeSats » (unité de volume unitaire d'environ 1 litre) et 3 unités (permettant un contrôle d'attitude) compatibles avec les conteneurs standards CubeSats qui, montés sur les lanceurs, permettent leur mise en orbite spatiale. Les photos illustrent la maquette d'un nanosatellite 3 unités (photo 2) et son squelette destiné à recevoir sa charge utile (photo 3). À propos des nanosatellites, nous lisons utilement *Le Journal du CNRS* (<https://lejournal.cnrs.fr/articles/les-nanosatellites-a-la-conquete-de-l'espace>).

Le premier nanosatellite français Robusta-1A, envoyé dans l'espace le 13 février 2012 par le CSU de Montpellier, a bénéficié d'un lancement ESA sur le vol inaugural de VEGA. Le second a été lancé depuis l'Inde le 23 juin 2017. Il mesure l'effet des radiations sur des composants électroniques constitués de transistors bipolaires. Le CSU reçoit les mesures de ce satellite (ainsi que d'autres stations). Nous assistons en direct à une séance de réception de Robusta-1B : les mesures passées mettent en évidence l'effet du rayonnement solaire sur l'électronique des amplificateurs opérationnels.

Le CSU a réalisé et réalise plusieurs autres satellites et dépend évidemment des agences pour leur lancement. Certains lancements ont été des échecs (le de fusée raté) et attendent de nouveaux lancements. Quelques jours avant notre visite, le 28 novembre 2017, la fusée russe Soyuz lancée depuis le nouveau cosmodrome de Vostochnyia avec le satellite météorologique Meteor et un nanosatellite « made in Montpellier » est tombée dans le Pacifique. Plusieurs projets (missions en partenariat avec l'ESA, l'Onera, le Cem...) sont en développement.



En résumé, le CSU forme des étudiants capables d'appréhender les contraintes industrielles de projets complexes (spatial ou non), et d'optimiser l'articulation entre les différents éléments d'un système (nanosatellite, station au sol, lanceur, banc de tests...). Ce premier Centre spatial universitaire français basé à Montpellier est une réussite qui a initié l'émergence d'autres centres spatiaux universitaires en France.

Guy Vasseur

Sortie dans le Tarn

Visite d'une usine de biogaz, du musée du cuir et de la vieille ville de Graulhet.

Pour cette rentrée, nous sommes allés le 27 septembre, à l'initiative de notre collègue Philippe Aptel, à Graulhet, petite ville située à 70 km de Toulouse qui fut pendant longtemps un haut lieu du traitement du cuir. Avec l'aide de son ami et ancien collègue John Dods, professeur honoraire à l'École des mines d'Albi, Conseiller municipal à Graulhet, qui nous a largement ouvert les portes de la ville, conseillés et accompagnés tout au long de cette journée, nous avons visité, le matin, une usine de biogaz et, l'après-midi, la maison des métiers du cuir et la vieille ville de Graulhet.

Partis en car vers 9 h, nous sommes arrivés à 10 h à Labessière-Candé, à côté de Graulhet (Tarn). Nous avons été accueillis sur le site de Trifyl par John Dods et par un jeune « ambassadeur » du Service de communication qui sera notre guide tout au long de la matinée.



Le Pôle des énergies renouvelables de la société TRIFYL est un établissement public dont le but est de développer des techniques afin de valoriser les déchets résiduels en produisant de l'énergie : électricité, chaleur, bio-méthane-carburant, hydrogène. La société Trifyl a été créée en 1999 par une fédération d'élus du Tarn réunis autour de J.-M. Pastor afin de développer un système cohérent de gestion des déchets sur tout le territoire du Tarn. Depuis 2002, Trifyl gère les déchets ménagers de 363 communes soit environ 325 000 habitants du Tarn mais aussi des communes limitrophes de la Haute-Garonne, de l'Aude et de l'Hérault. C'est un établissement public avec des recettes industrielles ; ce qui lui permet d'utiliser de moins en moins d'aides publiques (30 %) et de viser, à long terme, à un autofinancement.

Une présentation générale nous a permis de découvrir l'ensemble des activités de la Société Trifyl et la démarche utilisée pour collecter et valoriser les déchets de la région.

Avant d'arriver à la valorisation, il a fallu que la collecte et le tri des déchets soient organisés dans l'ensemble des communes concernées. Actuellement, les communes gèrent la collecte des déchets dans leurs propres déchèteries. Ces déchets sont ensuite transportés vers les différents équipements mis en place par Trifyl, à savoir :

- 11 quais de transfert permettant de regrouper les collectes d'une zone pour les acheminer vers les sites de traitement et de valorisation en réduisant les coûts et nuisances dus aux transports.
- 2 centres de tri situés à Labruguière et à Blaye les Mines : avant de pouvoir être recyclés, les emballages doivent être triés à la main et mécaniquement par familles (acier, aluminium, carton, brique, plastique, papier). Une fois compactés, les déchets sont rendus à des usines de recyclage.
- 2 plateformes bois-énergie situées à Labessière-Candell et à Labruguière permettant le stockage des déchets bois et leur transformation en broyat ou plaquettes pour alimenter les chaufferies locales.
- 2 plateformes de compostage des déchets verts, à Blaye les Mines et Labruguière. Par fermentation aérobie, les déchets sont transformés en compost utilisable en agriculture. Le compost est mis à disposition des habitants pour leurs jardins.

Après l'exposé, nous avons emprunté le parcours pédagogique créé sur le site pour découvrir les équipements destinés à la transformation des déchets et à leur valorisation énergétique.

Ce que nous avons vu en premier ce sont, au loin, les camions-bennes qui amènent régulièrement sur le site les ordures ménagères de toute la région qui ne peuvent être ni recyclées, ni compostées, ni valorisées. Elles contiennent encore des plastiques et autres déchets résiduels. Elles sont mixées progressivement dans ce que l'on appelle le bioréacteur puis compactées pour produire, par fermentation anaérobie, du biogaz. Ce bioréacteur est constitué de très grandes fosses appelées casiers. Sur le site de Labessière-Candell, il y a 14 « casiers » répartis sur 12 hectares. Ces casiers sont tapissés de plastique qui les rendent complètement imperméables. Le sol argileux est par lui-même également imperméable ce qui évite toute infiltration vers les nappes phréatiques. Chaque casier peut contenir 250 000 tonnes de déchets. Les casiers sont fermés de façon hermétique par deux membranes (géotextile et géomembrane) permettant une dégradation accélérée tout en préservant l'environnement. Des tuyaux placés à différents endroits du bioréacteur et descendant à des profondeurs variables vont permettre de capter le biogaz produit par la fermentation anaérobie et de le transférer vers des modules de production d'électricité et de chaleur. La production de biogaz d'un casier s'étend sur 15 ans avec un pic de production vers 6 ans. La grandeur de ces casiers, l'immensité de la surface utilisée par l'ensemble des casiers est tout à fait impressionnante.

Nous sommes arrivés, en suivant, vers les équipements qui utilisent le biogaz obtenu :

- Des équipements (alternateurs, turbines) permettant la production d'électricité et de chaleur à partir du biogaz. L'électricité revendue à ERDF couvre la consommation domestique d'environ 15 000 habitants.
- Des équipements permettant la production de biométhane, carburant essentiellement utilisé en interne. 13 véhicules de service princi-

palement les camions-bennes faisant la récolte des déchets), 2 poids lourds, 1 tracteur roulant au bio-méthane-carburant.

- Un pilote pour la production d'hydrogène, gaz à très fort potentiel énergétique (x 3 par rapport à l'essence). Un véhicule électrique a été équipé d'une pile à combustible et d'un réservoir à hydrogène ; ce qui a permis de multiplier par trois son autonomie.

Le parcours est jalonné de dispositifs pédagogiques montrant les différentes étapes du processus de fermentation conduisant à la production de biogaz. La dégradation complète de certains déchets peut prendre des centaines d'années.

Nous avons terminé la visite par quelques mises en situation nous permettant d'appréhender la difficulté du tri manuel et l'intérêt d'une attitude écoresponsable lors des achats. Sur ce plan, la visite a été des plus convaincantes. Tout le monde a été très frappé par le gigantisme des masses de déchets traités, la dimension exceptionnelle des structures de production de biogaz et la démarche concertée et dynamique de tous les élus du Tarn pour valoriser ces ressources potentielles.



Photo 2. Station de production de biométhane carburant avec, en second plan, le pilote de production d'hydrogène (Photo N. Pallou).

Après un repas convivial pris dans le village voisin de Laboufari, nous sommes allés visiter Graulhet.

Cité millénaire, Graulhet est née sur un promontoire défensif entre le ruisseau du Dadou et le marécage du Jourdain. Prospère au Moyen Âge grâce à son petit port de transit pastellier, elle a eu son heure de gloire au XIX^e siècle où elle devint la capitale mondiale du cuir. Plus récemment en 1970, la ville avait encore 150 mégaseries, traitait jusqu'à 35 millions de peaux par an et comptait jusqu'à 3 500 ouvriers. Témoignage de cette période, la maison des métiers du cuir, installée dans une ancienne mégaserie, nous a présenté un panorama des activités artisanales et industrielles qui ont fait le renom de Graulhet.

La visite a démarré par la projection d'un film rappelant l'histoire depuis le Moyen Âge, sur les bords du Dadou, des mégaseries qui faisaient le traitement des peaux de petits animaux tels que les moutons, ainsi que des tanneries pour le traitement des peaux des gros animaux tels que les vaches. Les diverses étapes du traitement des peaux : tannage, teinture,

séchage, corroyage et frissage sont imaginées par des films datant de la période florissante de la production de cuirs après guerre.



Photo 3 : Séchage des peaux au musée du cuir (Photo N. Pailoux).

La ville s'est poursuivie dans l'ancienne mégisserie où les différents équipements sont encore visibles : les cuves de traitement pour le tannage, la teinture, les « galetas » (greniers dans lesquels les peaux sont mises à sécher au vent, vent d'Auran). Les appareils utilisés pour le corroyage qui



Photo 4 : Rue Pinessac à Graillet (Photo N. Pailoux).



Photo 5 : Hôtellerie du Lyon d'Or (Photo N. Pailoux).

consiste, suivant le résultat recherché, à adoucir et assouplir les peaux, à les étirer (le prix d'une peau est fonction de sa surface !), le « veloutage » qui modifie l'aspect du cuir par ponçage sur l'une ou l'autre face du cuir : si c'est le côté viande, on a du cuir velours ; si c'est le côté fleur (extérieur de la peau), on obtient du nubuck et si ce sont les deux côtés, du daim. Pour imiter les peaux rares (léopard, crocodile, autruche), les peaux peuvent être imprimées.

Compte tenu de la concurrence accrue d'autres pays, du choc pétrolier, du développement du plastique, du manque d'innovation et également du tour de pollution qu'engendrait cette activité, la production s'est effondrée. Les mégisseries ont presque toutes fermé. Il ne reste plus que 460 personnes qui travaillent encore dans cette branche.

Un guide nous a ensuite fait visiter la ville. Partis à pied de la Maison des métiers du cuir, nous avons traversé le jardin de la mère, joli jardin aménagé au bord du Dadou près des ruines de l'ancien moulin du seigneur ; en chemin, nous avons pu admirer les séchoirs en dais de plusieurs mégisseries. Pour rejoindre le quartier médiéval, nous avons emprunté le vieux pont construit en 1234. Pour des raisons d'hygiène, les tanneries étaient séparées du quartier médiéval par la rivière. Les maisons du centre ancien ont, pour la plupart, traversé le temps depuis le Moyen Âge comme celles de la rue médiévale de Pinessac, rue typique avec des façades étroites à pans de bois. Grâce à monsieur John Dodd, Conseiller municipal qui nous avait très aimablement accompagné, nous avons pu pénétrer dans l'Hôtellerie du Lyon d'Or. C'est une des plus vieilles bâtisses à pans de bois de chêne du midi de la France. Autour d'une cour intérieure, des escaliers desservent des coursives sur deux étages. La petite histoire raconte

qu'Henri IV y fit une escale gourmande en 1585. Propriété de la mairie de Graulhet, elle est en cours de restauration. Nous avons terminé la visite sur un belvédère ayant un beau point de vue sur le Dadou.

Notre journée s'est terminée par la visite d'un atelier de maroquinerie. M. Mihau, artisan indépendant, haut en couleur, a su nous faire partager sa passion pour un métier qui disparaît. Nous avons pu voir les différentes étapes nécessaires à la confection d'un sac. Après avoir réalisé un patron pour chaque pièce (17 dans l'exemple qui nous a été montré), les pièces sont découpées à la presse. Avant d'être assemblés, les bords doivent être amincis (parage). Les morceaux sont assemblés à la main, collés et ensuite cousus à la main ou à la machine. La ville de Graulhet, qui fut très active jusqu'à une période récente grâce au traitement des peaux qui lui venaient de Mazamet où on travaillait la laine, a connu une crise lors de la fermeture de presque toutes ses mégaseries. La visite que nous avons faite montre cependant de façon très positive sa volonté de rebondir avec des sites comme Trifyl, très dynamiques, ou d'autres sites industriels que cherche à implanter la municipalité et sa démarche pour protéger son patrimoine et le valoriser grâce au tourisme.

Michèle Ferrer et Nicole Pallou

Utilisations de l'outil informatique : Certificats de confiance

Jeu 9 novembre, amphithéâtre de l'Init, Université Paul Sabatier, Toulouse

Une trentaine de membres de l'A3 ont assisté à une conférence à deux voix sur le thème de la sécurité informatique donnée par le Professeur Abdelmalek Benzéki et Samer Wasah, MCF, tous deux enseignants chercheurs à l'Université Paul Sabatier de Toulouse et effectuant leurs recherches à l'Init (Institut de recherche en informatique de Toulouse) UMR CNRS/INPT/Universités Toulousaines). Le Pr A. Benzéki est responsable d'une équipe de 15 permanents dédiée à des recherches sur l'administration des réseaux et la validation des règles de sécurité.

Les conférenciers ont expliqué les processus actuels qui sont supposés sécuriser les communications que nous entretenons avec nos correspondants et qui utilisent un cryptage assuré par une clé publique, donc ouverte, et une clé privée spécifique à chaque utilisateur. Les conférenciers ont ensuite souligné les failles de ce système, notamment l'identification du détenteur de la clé publique dont le receveur du message ne peut pas être certain avec, pour conséquence, une communication sécurisée mais avec un interlocuteur dont nous ne sommes pas sûr de l'identité (d'où les piratages et/ou l'utilisation d'informations que l'utilisateur peut considérer comme privées ou sensibles).

Pour tenter de pallier ce défaut, il existe une autorité générant une clé publique préinstallée sur les navigateurs web. Le système fonctionne donc aujourd'hui avec un triptyque composé de l'utilisateur (nous), d'un porteur de certificat et d'une autorité de certification. Le problème se reporte alors sur la confiance que nous sommes obligés d'accorder à une autorité de certification que nous ne connaissons pas et avec laquelle il n'existe aucun lien physique mais seulement des rapports d'audit que quasiment aucun internaute ne sait lire. Une solution proposée par cette équipe de recherche est la mise en place d'un expert doté de compétences juridiques, identifié par l'utilisateur et qui valide les actions de l'autorité de certification. Ce

système à quatre pôles, au lieu des trois actuels, est la proposition de cette équipe de recherche mais n'est pas installé aujourd'hui.

Nous avons tous été impressionnés par la complexité d'une machinerie qui rend l'utilisateur lambda extrêmement vulnérable, sans qu'aujourd'hui une parade efficace à 100 % puisse être mise en place. La place de grosses sociétés telles que Google, Amazon nous est apparue être aussi importante, sinon plus, que les états représentant la puissance publique ce qui peut légitimement nous inquiéter.

Cette conférence a été suivie d'une discussion très dense avec la salle où ont été évoquées la question des virus, des difficultés à faire émerger le système quatre pôles proposé par les conférenciers, les questions de logiciels cachés introduits par la plupart des constructeurs dans les systèmes d'exploitation vendus, y compris ceux de Microsoft.

Les conférenciers ont su s'adapter à un public de candidats pour expliquer des notions dont nous avons perçu la complexité et ils ont été chaleureusement remerciés par l'assistance.

Yvan Ségué

Conférence du Dr Audrey Dussutour

Centre de recherches sur la cognition animale, université Toulouse II

Tout ce que vous avez voulu savoir sur le Blob sans jamais oser le demander

Mardi 6 février 2018, Salle de Conférence de l'IBCG à l'UPS



Photo 1 : Audrey Dussutour étudiant le Blob.
(Photo de Cyril Fassinon/CNRS)

Mme Audrey Dussutour, jeune et brillante chercheuse du CNRS, éthologiste, est venue le 6 février dernier nous parler, devant une salle comble, de ses travaux sur le Blob qui suscitent actuellement, tant auprès des scientifiques que du grand public, beaucoup d'intérêt et de curiosité.

Le Blob, cet étrange génie visqueux, ni plante, ni animal, ni champignon, est en fait une unique cellule géante. Capable de se déplacer, sans cerveau mais dotée de mémoire, « *Physarum polycephalum* » défie tous les canons de la biologie.

L'essentiel de sa conférence se trouve résumée dans l'article ci-dessous d'Audrey Dussautour publié par « The Conversation France » dans le cadre de la Fête de la Science 2017.

26 mai 1973 au matin, dans les environs de Dallas : Marie Harris découvre dans son jardin une chose étrange qu'elle décrit comme « mousseuse, crémeuse et jaune pâle, similaire à une omelette, pas plus gros qu'un cookie ». Elle pense alors qu'il s'agit d'un champignon. Mais, deux semaines après sa découverte, Marie réalise que la chose a atteint la taille de seize cookies ! Elle décide alors de s'en débarrasser à coup de râtelier et le disperse dans son jardin.

Deux jours plus tard en se penchant à la fenêtre, elle se rend compte, avec surprise, que la chose s'est régénérée et a doublé en taille. Désespérée, Marie fait appel à son mari qui écrase l'intrus à coups de bâton. Une semaine plus tard, la chose est de retour, toujours plus grande. Marie décide alors de l'empoisonner avec un herbicide. La chose se met alors à saigner un liquide rouge. Mais le jour d'après, la chose est toujours là, bien décidée à s'incruster.

Marie décide d'appeler les pompiers qui bombardent la chose d'eau à haute pression et la police qui canarde l'intrus à coup de fusil (on est au Texas !). Mais rien à faire : la chose semble indestructible et continue de grossir. Le couple voyant leur jardin ruiné s'abandonne au désespoir quand, soudain, l'intrus disparaît du jour au lendemain sans laisser de trace. Il n'en fallait pas plus pour conclure au passage d'un extraterrestre.

Cet « extraterrestre » est en réalité un myxomycète, aussi surnommé « blob » en référence au film *The Blob* dans lequel un organisme ressem-



Photo 2 : Le Blob est mobile. Il peut parcourir 4 cm à l'heure.
Photo : Audrey Dussautour

blant à une gelée anglaise arrive d'une autre planète et dévore tout sur son passage. Ce fait divers toxan fut la première apparition médiatique du blob.

Un être composé d'une seule cellule

Les blobs sont en réalité des organismes unicellulaires. Ni champignon, ni animal, ni végétal, ils font partie du règne des amibozoaires qui regroupe des organismes infirmes se déplaçant avec des excroissances appelées pseudopodes.

Les premiers blobs sont apparus sur terre il y a un milliard d'années. Le blob est composé d'une cellule mais celle-ci peut atteindre plusieurs mètres de diamètre. Une cellule humaine mesure en moyenne dix micromètres de diamètre, soit dix millions de fois moins. Comment est-ce possible ?

Le blob, comme nous, est issu de la fusion de deux cellules sexées. Elles ne sont pas appelées ovules ou spermatozoïdes car le blob possède... 720 sexes différents. Une fois dans un milieu humide, ces cellules sexées (appelées spores) partent en quête d'une cellule du sexe opposé. Avec plus de 720 possibilités, la tâche est plutôt facile. Lorsque deux cellules de sexe opposé se rencontrent, elles fusionnent pour devenir une cellule unique. Mais là, contrairement à nous, la cellule ne va pas se diviser, seul son noyau va le faire. La cellule grandira donc au gré des divisions de ses noyaux jusqu'à atteindre des tailles record.

Drôles de mœurs

Où trouve-t-on le blob ? Principalement à l'ombre, dans les forêts car il déteste la lumière. Il est aisé de le repérer en été après une averse, le blob affectionnant la chaleur et l'humidité. Lorsque les conditions environnementales sont mauvaises (sécheresse, manque de nourriture), le blob entre en dormance jusqu'à ce que la situation s'améliore. Il peut rester ainsi des années.

Pour le réveiller, il suffira tout simplement de l'amuser et de lui offrir de la nourriture (son régime alimentaire se compose de bactéries et de champignons ; au laboratoire, il raffole des flocons d'avoine). Chose incroyable, à chaque réveil, le blob redevient jeune et vigoureux. Il est donc quasi immortel. Continuons dans l'étrange, un blob peut être découpé en de multiples morceaux qui deviendront des blobs autonomes ; à l'inverse, des blobs génétiquement identiques placés dans un même environnement se perçoivent et fusionnent pour former un unique blob.

À quoi ressemble le blob ? Cela dépend de l'espèce. Il en existe des ronds, des arborescents, des informes, des roses, des jaunes, des blancs, des noirs. Mille espèces ont été identifiées mais on est certainement loin du compte.

L'espèce la plus étudiée est *Physarum polycephalum*. Il est jaune vif et informe. En le regardant de près, on perçoit un maillage de veines dans lesquelles circule le protoplasme, « le sang du blob ». Ce réseau permet de distribuer tous les nutriments et autres molécules essentielles en un minimum de temps dans toute la cellule. Le blob est mobile mais, rassurez-vous, il ne vous rampera pas après lors de l'une de vos balades en forêt, sa vitesse de pointe étant de 4 cm à l'heure.

LA VIE DES RÉGIONS

Le blob est-il intelligent ?

Malgré sa simplicité apparente, le blob démontre une forme d'intelligence primitive. Il est ainsi capable de trouver le chemin le plus court dans un labyrinthe, de former des réseaux optimisés ou d'équilibrer son régime alimentaire. Plus étonnant encore, nous avons découvert récemment que le blob pouvait apprendre alors qu'il n'a pas de système nerveux.

Nous avons démontré un apprentissage simple (appelé habitation). Ce type d'apprentissage nous permet, au quotidien, de cesser de répondre à des stimulations désagréables répétitives mais inoffensives (bruit des voitures en ville) tout en restant alerte à des stimulations nouvelles (coup de klaxon). L'habitation n'est pas éternelle : si vous déménagez à la campagne, vous réagirez de nouveau au pénible bruit des voitures.

Afin d'étudier l'habitation chez le blob, nous avons utilisé le sel qui est inoffensif mais que le blob excrète. Nous avons forcé le blob à traverser un pont contenant du sel pour attendre de la nourriture. Une fois que le blob avait repât sa pitance, nous recommençons l'expérience. La première fois que le blob traverse le pont, il y va clairement à reculons et met plus de 10 heures à franchir le pont. Lors des traversées suivantes, le blob met de moins en moins de temps jusqu'à effectuer le trajet en moins de 2 heures. Une fois le blob habitué au sel, nous avons vérifié que cette habitation était spécifique au sel. Nous avons donc contraint le blob à traverser un pont contenant de la catéchine, une autre substance que le blob excrète. Le blob a mis une éternité à franchir le pont. Il n'était donc pas habitué à toutes substances désagréables. Après un repos bien mérité, nous avons testé le blob avec du sel à nouveau. Il s'est alors comporté comme lors de la première traversée. L'habitation n'était pas éternelle.

Sachant que les blobs peuvent fusionner : est-ce qu'un blob habitué peut transférer son savoir à un congénère naïf ? Nous avons donc fait fusionner un blob habitué au sel avec un blob naïf. Après la fusion, les blobs sont séparés et testés individuellement. Surprise ! Les blobs naïfs franchissent le pont rapidement et se comportent comme des blobs habitués au sel. En observant les blobs de près pendant la fusion, on observe qu'une vaine se forme entre les deux blobs permettant l'échange d'information. Ces expériences démontrent pour la première fois qu'un unicellulaire peut apprendre sans avoir de cerveau et qu'il peut partager son savoir ! Ces expériences pionnières viennent ébranler tout ce que l'on pensait savoir sur l'intelligence du vivant. La grande aventure du blob ne fait que commencer.

Audrey Dussatour

Pour aller plus loin : « Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur le blob sans jamais oser le demander », Audrey Dussatour (Éditions des Équateurs, 2017).

ALPES - DAUPHINÉ

Visite du laboratoire souterrain de Modane

La journée dédiée à la visite du Laboratoire souterrain de Modane fut une réussite. En liaison avec nos collègues de Lyon, c'est un groupe de 23



Entrée du LSM - Photo Bernard Ile.

personnes qui, le 21 mars 2018, a pu descendre sur le site et bénéficier de la présentation riche et passionnée de son directeur, Fabrice Piquemal.

Le compte-rendu de cette journée, rédigé par Bernard Ile, figure sur le site dans les rubriques Alpes-Cauchine et Rhône Alpes-Auvergne.

Visite du Lautaret et de la Galerie de l'Alpe

Le vendredi 15 juin, nous visiterons le Jardin botanique alpin du Lautaret où est présentée l'exceptionnelle diversité de la flore alpine et des hautes montagnes du monde. Nous découvrirons la toute nouvelle Galerie de l'Alpe, espace de 700 m², qui allie laboratoire de recherche, lieu de pédagogie, de médiation et tourisme scientifique dans le site emblématique du col du Lautaret à 2 100 m d'altitude.

Découverte historico-volcanique du Cantal

Enfin, nous vous proposons la découverte historico-volcanologique du



Vallée de la Jordanne, Auvergne-Rhône-Alpes

Cantal qui se déroulera du 2 au 5 octobre sous la conduite de Nicole Vatin Pérignon, volcanologue.

Programme disponible sur le site : www.xlorris.org/page/248361-activities.
Inscriptions jusqu'au 1^{er} juillet : bourguignon.christiane@wanadoo.fr

Christiane Bourguignon

CORSE

L'enquête corse

Après le succès des premières Rencontres scientifiques et culturelles de l'A3 en Corse, dont le compte-rendu figurait dans le numéro 71 d'A3 Magazine, il convient de faire vivre notre nouvelle représentation régionale de l'A3.



Agrumes corse – San Giuliano – Photo Jora

La Corse est petite, certes, mais sa géographie ne facilite pas l'organisation de rendez-vous réguliers. Aussi est-il nécessaire de dégager, ensemble, des axes de travail en fonction de vos souhaits. Si vous en avez envie, je vous propose de m'adresser vos réponses à ce court questionnaire par mail à : bonardi.fabrice@gmail.com.

- Avez-vous la possibilité de vous déplacer ponctuellement pour un événement (disons, par exemple, tous les deux mois) à : Ajaccio - Bastia - Corte - Sartène - Calvi ?
- Quels événements souhaiteriez-vous principalement vous voir proposer :
 - Visite de centres de recherche, de laboratoires
 - Conférences scientifiques et culturelles
 - Cafés-débats
 - Rencontres conviviales entre adhérents et sympathisants
 - Autres (merci de préciser) ?
 - Souhaitez-vous participer à l'organisation d'événements de l'A3 en Corse ?

À presto !

Fabrice Bonardi

VOYAGES

Le Rajasthan et ses mille et une couleurs

Le voyage A3 en Inde du 9 au 20 mars 2018

Situé au Nord ouest du pays, le Rajasthan est, pour nous Européens, le pays des maharajas et des palais des 1 000 et une nuits. L'incroyable richesse des vêtements princiers et ruraux s'explique par la rencontre des cultures hindoues et des dynasties mogholes. Ces 1 000 et une couleurs se retrouvent dans les palais, forts ou mausolées bâtis de pierres précieuses et peints de fresques denses. Ce n'est pas là une description de toutes ces merveilles que je vais vous livrer mais plutôt une description de ce qui m'a étonnée, émue ou interpellée.



Une famille hindoue déambulant dans la salle d'audience du Fort Rouge

Nous partons un vendredi, papiers en main, prêts à parcourir un km de marche saccadée dans les entrailles de l'aéroport Charles de Gaulle. Ayant été tous contrôlés négatifs, les pèlerins se sont confortablement installés dans un avion pour dévorer des films. Le groupe était dispersé, son berger égaré. Ce ne fut qu'à la sortie de l'aéroport de Delhi que l'on se retrouve enfin avec un guide comme étoile du berger. Les chiffres nous assomment le lendemain. L'Inde avec ses 1 250 000 000 habitants, Delhi avec ses 17 millions d'habitants et ses 14 millions de voitures. Troisième plus grande ville après Calcutta 18 millions et Bombay 17 millions. C'est la fin de l'hiver, le temps est beau et la température clémente, un petit 25° C. Le soleil brille et notre bus semble tout neuf : petit ventilateur à chaque rangée entouré d'un rideau qu'il ne faut surtout pas déployer dans la capitale, législation oblige suite à un vol dans les beaux quartiers d'une jeune fille dans un bus à rideaux fermés.

Ah ! chers tourides savez-vous que vous êtes plutôt rares dans ce pays : 3 millions par an pour 1,250 milliard d'habitants. Ne vous étonnez pas d'être dévisagés par les autochtones du bus urbain qui vous longe. Encore quelques chiffres qui nous laissent pantois : 11 siècles d'envahisseurs, des Moghols aux Anglais, une indépendance obtenue en 1947. Le début de la reconstruction ne put se réaliser qu'à partir de 1971.

Enfin l'étonnement à cette phrase : « nous n'avons pas de langue nationale, il y a 1 650 dialectes dans ce pays ». Mais l'école enseigne la langue anglaise qui devient un peu une langue commune. Notre *beach/bus* se colle à tous les tuk-tuk au toit jaune, tel un navire dans une mer jaune.

Il s'arrête trop régulièrement devant des lieux interminables et hoquets très lentement autour de la mosquée Jamaï. Le marché des voleurs est là devant l'une de ses portes. Ici on peut trouver une vieille pièce de moto « pour le prix d'un pois chiche ».

Contraste entre la circulation dense et tranquille, à quel bon s'énerver et la majestuosité des monuments vus, entrevus ou parcourus.

Contraste entre les religions si différentes et la foi si commune. La notion « athéisme » ne peut en aucun cas être comprise par un indien. « La religion donne la vie comme les racines font grandir l'arbre ».

Sortant de la ville, nous admirons, modérément, les constructions en cours d'immenses d'une vingtaine d'étages, finées depuis 15 ans. En 1968 le pays est enfin stabilisé et Indira Gandhi se fixe deux objectifs : l'éducation et le planning familial. Elle doit se focaliser sur le planning familial après deux ans non productifs. À ce moment-là, quatre à cinq générations vivaient sous le même toit. Les préservatifs sans mode d'emploi furent employés par la stérilisation des jeunes hommes. Ce qui donna « deux enfants pas terminés » pour le taux de natalité actuel !

Les écoles que Mme Gandhi a fait construire dans chaque village exposent la photo des meilleurs élèves sur leur mur d'entrée : quelle meilleure stimulation pour les autres ! Les cours sont donnés en langue locale par des instituteurs qui viennent d'apprendre que l'âge de la retraite passe de 65 à 70 ans ! L'école est gratuite et le taux d'alphabétisation est passé, selon les régions, de 91 % dans le sud à 62 % dans le nord. Les trois quarts de la population vivent encore de l'agriculture et de nombreuses coopératives permettent aux paysans de donner leurs récoltes contre subventions. Depuis peu, des banques agricoles ont vu le jour pour offrir des prêts à l'équipement à taux zéro. Devant le bus qui emprunte une autoroute-piste d'avion de chasse, défile le paysage verdoyant au sol grège piqué de multiples arbustes. Les champs sont de guingois. Le blé pousse tendrement. Les cannes de maïs sont assemblées en paquet et serviront de fourrage.

De jolies petites maisons couleur chocolat noir se dressent régulièrement au bord des champs : tasses de galettes de boisse de vache séchée, elles alimentent les fours des multiples bœqueteries qui creusent le sol de plusieurs mètres. D'autres huttes se dressent ça et là : mottes de foin de longues graminées, boîtes de cannes. Ces boîtes sont transportées sur la tête des Indiennes, sur le dromadaire hiératique, sur la charette tirée par des buffles, des zébus... ou encore avec les tracteurs tout poussiéreux, si vireux !

Agra nous accueille, hasard du calendrier, avec le sourire de notre président au bord des ronds-points et notre drapeau côtoyant le tricolore indien, orange blanc et vert. Nous nous bûtons, dans de resplendissantes carioles à chevaux, vers ce musée de dentelle de maître marqué de pierres si



précieuses. Quelle belle histoire d'amour faite de passion, trahison, dévotion, illusion et désillusions !

Notre route nous emmène vers le désert du Thar, vers le Rajasthan. Pour y parvenir, il faut bifurquer sur l'autoroute vers la gauche et là, des barrières empêchent les voitures de s'engager sur la bretelle. Qu'à cela ne tienne on prendra la bretelle de l'autre côté dans l'autre sens ! Et on se retrouve à contresens sur les voies de droite de la route mais pas d'événement ni de klaxon furieux. Le camion qui vient en face se décale au dernier moment et au bout de quelques centaines de mètres la voie est devenue une route à double sens. Mais pourquoi ? Sur notre gauche, nous voyons des dizaines d'hommes et de femmes avec ou sans bébé qui marchent vivement : c'est un pèlerinage en direction de Pradish à... 120 km. Ce fleuve humain s'arrête pour se restaurer sous de grands auvents où la population locale leur fournit gracieusement lentilles ou autre curry. De petits sacs plastiques remplis d'eau leur sont distribués avec comme résultat une hécatombe de détritus sur le bas-côté. On fait sa toilette séparée à certains endroits. Les femmes portent les bagages sur leur tête. Le sac à dos orne le dos des jeunes hommes. Des rangées de haut-parleurs hurlent leur musique à l'approche de Fatepur Sikri. Nos ventres sont secoués par le rythme des basses.

Ça balance pas mal aujourd'hui avec un « route tangage » sur le dos d'un éléphant rouge qui nous emmène au pied du Fort d'Amber. Un palais de Maharaja avec ses fresques aux poudres de pierre presque précieuses, ses dédales de corridors et ses pavillons de distraction. Ce fort se prolonge en dentelle de pierre sur les crêtes des montagnes qui cernent la ville. Une balade en cyclo-pousse nous associe les oreilles, avec un concert de klaxons tout au long du trajet. C'est un imbroglio impressionnant entre les piétons, voitures, rickshaws, cyclo-pousse sans oublier la chèvre allaitante de son petit fils sur le rond-point ou le zébu bien coiffé à l'arête centrale de la route. Les conducteurs des cyclo-pousse ont tous le troisième âge et donnent de la voix pour se glisser dans ce jeu de tan-gram.

Découverte de l'artisanat local : taille de pierres semi-précieuses par un artisan assis en lotus et armé d'un arc pour faire tourner une pierre à poir, impression de tissu à la planche de bois avec des pigments naturels qui se fient au soleil, confection de tapis avec des nœuds infinis suivi d'un nettoyage au chalumeau et d'une forte égalisation par frottement à l'aide de ciseaux plats... Les achats de vêtements, de bijoux et de tapis étant effectués, nous déboulons dans un palais jaune pâle niché dans un vallon isolé et profitons des pièces à miroirs, à fresques, à peintures qui nous font souffrir du regard tant nous sommes dans l'impossibilité de tout regarder, admirer.

Un petit tour dans un train bleu à vitres et air conditionné, privilège d'une classe supérieure : trois sièges à gauche, deux à droite, large et espacé. À l'arrêt les hommes de ménage en uniforme vert passent la serpillière, vidant les ordures et lavent les vitres ! Conversation avec un traicement diplômé radiologue après trois ans d'études qui va travailler à Jodhpur, sa ville natale, et qui souffre un peu de la pression familiale à avoir une épouse. La ville bleue de Jodhpur est dominée par son fort de 1452 : des dentelles de grès rose posées sur une colline de 125 m. Nous logeons dans un hôtel palace de grès rose également qui a respecté, lors de sa construction, les arbres qui se retrouvent près dans ou au travers des murs et planchers. Visite d'un village Blochnol : balade en Jeep à la conduite très prudente sur

des nids-de-poule façon route. Paysage désertique plutôt savane avec des acacias disséminés. Petit éclair noir au loin : bétail d'amère de gazelle. Grosse tache grise à côté : énorme antilope dont les oreilles semblent des feuilles. Un chacal, sorte de chien rouquin, surveille ses proies. Au pied d'un arbre serait-ce un oiseau blessé tombé du nid ? Il y a des plumes qui volent : c'est un aigle de la taille d'un faucon qui achève sa proie au sol, qui l'emporte, poursuivi par un congénère qui profiterait bien de l'aubaine.

Pains et poèmes s'agrippent aux antres et aux haies. Le patriarche du village Bachini de 96 ans nous fait sa cérémonie de l'opium, sorte de pain de sucre noir, qu'il pilonne dans un mortier en bois, filtre dans un cône de tissu rouge et que sa femme nous verse dans notre main droite pour dégustation.



Découverte du jainisme : non-violence, régime strictement végétarien, pèlerinage et abstinence. Temple aux 101 colonnes de marbre blanc entièrement sculptées. Plan carré symétrique. Rangée de personnages assis en tailleur avec un 3^e œil sur le cou.

Des grands yeux en amande à pupille noire. Des éléphants portant divinité et mère de divinité se font face de part et d'autre du sanctuaire central réservé aux fidèles. Être fidèle pour l'hindou c'est faire un pèlerinage, aller au temple d'à côté où flotte un drapeau, symbole de l'activité du site. Donner une offrande fleurie ou un bout de tissu coloré, toucher un bout de marche de l'entrée puis porter sa main à son cœur et à son front. Les fidèles peuvent s'asseoir en lotus devant la représentation de leur divinité, écouter la musique d'un officiant qui chante en pianotant son pianon, méditer puis repartir. Le dernier hôtel est à 7 km de Udaipur : une architecture plutôt quelconque mais une décoration « maséale ». En effet, un antiquaire a acquis ce terrain boisé et a fait construire cet hôtel... des ventes. Il y a mis toutes ses antiquités et c'est un festival dans le hall, les couloirs, les jardins, les terrasses et les chambres, digne d'un musée d'antiquités de l'Inde. Il ne manque que les textes qui pourraient permettre de comprendre.

L'école de miniatures ouvre pour nous ce dimanche matin nous donne droit à un cours : broyage des pierres pour en tirer des pigments, amidonner la soie, diluer les pigments avec de la gomme arabique, peindre au poil d'écureuil ou à celui de souris de charbon. Enfin ne reproduire que les miniatures du Livre de référence. Sinon pas de subventions de l'État. Vente de ces morceaux de rêve aux visiteurs enthousiastes.

Nous nous promenons ensuite dans le Jardin Kibari avec de belles fontaines boquettantes, aux extrémités calcifiées. Les colonnades bleues entourent les bassins au centre desquels trône un Jésus à tube.

Temple. Eh! où les visiteurs se rendent dépourvus de cuir, appareil photo, autres objets pour suivre un sentier balisé entre les petits temples, stupas qui hébergent un Ganesh, un homme assis en lotus, un taureau. En voit un à taille réelle couché, sculpté dans une roche noire. Il est entouré d'une



L'éclosion des jardins de Kibari qui se met, à notre approche, à augmenter le débit d'eau des fontaines.

barrière et recouvert d'un feutre de fil rouge élastique. Deux gardiens en tenue policière passent leurs avant-bras dans le treillis et ajustent au mieux un tissu de petits miroirs ronds cousus avec des couleurs variées. Seule la tête apparaît dignement coiffée d'une rose tremblante rouge. Il est bon de la toucher puis de porter cette main à son cœur et à son front. Les frises d'éléphant et de bouddha ont été décapitées sait-on pourquoi ? Le marbre est découpé en tréfil, il n'est pas une surface plane. La recherche d'une horizontalité inassouvie.

Devant moi, une femme de chambre lave sa chevelure dans un seau rouge, accroupie dans son sari bleu outre-mer. Elle regarde l'eau s'écouler puis se relève doucement pour presser le tissu. À sa droite, les chevaux regimbent dans leurs stalles à l'eston de pied. D'antiques chariots à bois clouté finissent d'encadrer cette image d'un autre temps.

Deux hommes se tiennent au robinet de pelouse : gestes lents, précis, les pieds d'abord et les mollets, puis les mains et les avant-bras pour terminer par la tête de nombreuses fois, les dents en buvant un coup ou deux et enfin les cheveux en se passant les doigts humides.

Sont-ce là les images d'Épinal versées de l'Inde ? Nul doute !

Etiën Kerec

Huit jours à la découverte de Chypre, l'île la plus chaude de Méditerranée

Projet de voyage inter-génération du 21 au 28 octobre 2018

Ce voyage annulé et remplace le voyage initialement prévu en Sicile à la même période.

Selon la légende, la déesse de l'amour Aphrodite est née à Chypre. A la croisée de trois continents, l'Europe, l'Asie et l'Afrique, au carrefour de l'Orient et de l'Occident, Chypre témoigne d'une longue histoire et d'un patrimoine culturel riche : « l'île au large » chantée par Homère offre à ses visiteurs une histoire de près de 9 000 ans.

Chypre est la troisième plus grande île de la Méditerranée, après la Sicile et la Sardaigne, mais aussi la plus chaude, avec ses 340 jours de soleil par an.

Itinéraire :

- Jour 1 Paris – Larnaca
- Jour 2 Limassol et Kourion – Larnaca
- Jour 3 Nicosie
- Jour 4 Paphos
- Jour 5 Journée de croisière
- Jour 6 Le Troodos
- Jour 7 Salamine et Famagouste
- Jour 8 Larnaca – Paris



Tout : adulte (formule double) à partir de 1 440 €. Enfant de 2 à 12 ans partageant la chambre de 2 adultes : réduction de 300 €.

Tous les renseignements et le bulletin d'inscription sont disponibles sur notre site à l'adresse : <http://www.cnrs.org/page/63079-voyages>

Annick Périllat

Programme prévisionnel des voyages A3 en 2019

Mars 2019 : long courrier - Dubaï, Abu Dhabi et Sultanat d'Oman



Circuit 10 jours/9 nuits, Dubaï, ville de tous les superlatifs, Abu Dhabi et son Louvre, Sultanat d'Oman, le côté sauvage des Mascates. Une nuit, entre canyon et Wadi, ses 6 000 ans d'histoire, Muscat, Nizwa, Wabla Sands et ses dunes. Prix : à partir de 2 880 € sur la base de 25 personnes.

Avril 2019 : croisière Danube, de Vienne Impériale aux Portes du delta du 3 au 10 avril 2019. En faisant escale dans cinq pays européens : Autriche, Hongrie, Serbie, Bulgarie et Roumanie, cette croisière est un mélange à la fois d'art et de culture. Budapest - le château. Pénion complète, assurances incluses. Bateau « 4 ancrés », entièrement rénové. Prix : à partir de 1 790 €.



Mai 2019 : escapade en Slovénie 5 jours/4 nuits. Découverte de la Slovénie autour de la capitale Ljubljana, le château de Predjama, les grottes de Postojna... Prix : à partir de 1 380 €, hôtel 4*, pension complète et assurance incluse sur la base de 25 personnes.



Octobre 2019 : voyage inter-génération, cap sur la belle Émilie-Romagne



5 villes d'art classées à l'Unesco, de Modigliani, Parme à Ferrara en passant par Mantoue et Ravenne. Vacances scolaires. Prix : à partir de 1 380 €, sur la base de 25 personnes.

Décembre 2019 : Marché de Noël à Prague, 4 jours/3 nuits en séjour libre. 1^{er} week-end de décembre. Prix : à partir de 570 €.



Annick Périllat, Responsable des voyages
annickperillat@cnrs.org
18 : 06 16 96 44 24

AVIS DE DÉCÈS

Nous avons appris avec tristesse le décès de mesdames et messieurs :

Pierrette ANDRÉS, Jean-Pierre DUPIN, Ferruccio DURANTE, Odette METAS, Albert NAUDI, Alain PLOQUIN, Joseph SERPINET, Gérard WITTERSHEIM.

Nous adressons aux familles et aux amis des défunts nos condoléances les plus sincères.

L'Association des Anciens et Amis du CNRS (A3)

Fondateurs : les regrettés Pierre Bauchet, Jean-Baptiste Donnet, Claude Fréjacques, Charles Gabriel et Pierre Jacquinet.

Conseil d'administration

Membre de droit : Antoine Petit, Président-directeur général du CNRS.

Membres élus : Roger Azria, Françoise Balestie, Fabrice Bonardi, Jean-Paul Caressa, Daniel Charney, Gérard Coutin, Laurent Degos, Alain Foucault, Elisabeth Giacobino, Viviane Ghanmazzi, Lilliane Gommel, Lilliane Gorrion, Lysiane Huvé-Texier, Evelyne Jautrou, Anne Joue, Jean-Claude Lehmann, Denis Linglin, Véronique Machelon, Jean-Pierre Regnault, Patrick Saubot, Gilles Sentise, Dominique Simon et Abderrahmane Tadjeddine.

Invités : Edmond Lisle et Michel Petit, présidents d'honneur.

Bureau

Présidente : Lilliane Gorrion

Vice-présidente : Elisabeth Giacobino

Vice-président adjoint : Jean-Claude Lehmann

Secrétaire générale : Lysiane Huvé-Texier

Secrétaire générale adjointe : Françoise Balestie

Trésorière : Anne Joue

Trésorier adjoint, conseiller auprès de la Présidence en matières financières et budgétaires : Gilles Sentise

Secrétaire administrative : Pascale Zanéboni

Chargé(e)s d'activités

Site internet A3 : <http://www.a3cnrs.org>, webmestre : Dominique Simon

Communication / Relations avec la presse : Dominique Simon

Petits déjeuners de la science et de l'innovation : Fabrice Bonardi et Gérard Coutin

Conseillers : Alain Foucault, Elisabeth Giacobino et Patrick Saubot

Relations avec l'industrie : Roger Azria

Voyages : Arnick Périllat

Représentants régionaux

- **Alpes-Dauphiné** : Christiane Bourguignon • **Alsace** : Jean-Pierre Schwaab • **Aquitaine** : André Calas
- **Bretagne et Pays de la Loire** : André Périn • **Centre-Est** : Bernard Maudinas et Jacqueline Frühling
- **Centre-Occident** : Paul Gille et Jean-Pierre Regnault • **Centre-Poitiers** : Serge Sapin • **Corse** : Fabrice Bonardi
- **Côte-d'Azur** : François Rocca • **Île-de-France** : Dominique Ballutaud, Solange Lascaille, Véronique Machelon
- **Languedoc-Roussillon** : Serge Rambal • **Limousin-Auvergne** : Bernard Michel • **Rhône** : Bernard Ite et Lilliane Gommel
- **Midi-Pyrénées** : Nicole Pallous • **Nord-Pas-de-Calais et Picardie** : Jean-Claude Vanhoute et Marc de Becker
- **Provence** : Jean-Paul Caressa

Membres d'honneur

Guy Aubert, Geneviève Berger, Catherine Bréchnigat, Edouard Brézin, Robert Chabbaï, Claude Cohen-Tannoudji (médaillé d'Or CNRS, prix Nobel), Yves Coppens, Jacques Ducuing, Cléopâtre El Quindy, Serge Finouille, Albert Fert (médaillé d'Or CNRS, prix Nobel), Andrew Hamilton (Président de l'Université de New York), Henry de Lumley, Nicole Le Douarin (médaillé d'Or CNRS), Jean-Marie Lehn (médaillé d'Or CNRS, prix Nobel), Bernard Maunier, Arnold Migus, Pierre Papon, Jean-Jacques Payan, Jean Tirole (médaillé d'Or CNRS, prix Nobel), Charles Townes (prix Nobel).

Rayonnement du CNRS : également eu l'honneur de compter parmi eux les grands scientifiques suivants, aujourd'hui disparus : Maurice Allais, médaille d'Or du CNRS, prix Nobel - Baruj Benacerraf, prix Nobel - Christiane Destroches-Noblecourt, médaille d'Or du CNRS - Jacques Friedel, médaille d'Or du CNRS - Gérard Férey, médaille d'Or du CNRS - François Jacob, prix Nobel - François Kounilsky - Rudolph Mössbauer, prix Nobel - Norman Ramsey, prix Nobel.

Dernières parutions

Magazine n° 70 - printemps - été - 2017

Serge Feneuille (un parcours de grande randonnée)
Shakespeare et la science
L'Observatoire de Paris à 350 ans
Hommage à Victor Scardigli



Magazine n° 71 - automne - hiver - 2017 - 2018

Rencontres scientifiques et culturelles : la Corse
L'innovation en Europe
La croissance en France
L'Amérique du Sud
Brexit, la suite
Les expéditions polaires



La raison d'être de l'Association des Anciens et Amis du CNRS

L'Association a été créée, en 1990, pour répondre au désir de conserver un lien avec le CNRS et de permettre à chacun de continuer à œuvrer pour son rayonnement.

Ainsi, pour répondre à la première de ces missions, les adhérents reçoivent chez eux le Journal du CNRS et l'AS Magazine de l'Association qui paraît deux à trois fois par an. Dans les diverses régions ils ont l'occasion de se retrouver dans des assemblées ou lors de conférences ou de visites, ou encore lors de voyages en France et à l'étranger ouverts à tous les adhérents. L'Assemblée générale annuelle se tient alternativement en région et à Paris. La plus récente s'est tenue à Nancy en juin 2018.

L'Association des Anciens et Amis du CNRS a pour deuxième mission de contribuer au rayonnement du CNRS. Dans ce cadre, à la demande des présidents et directeurs généraux de l'organisme, nous avons, par exemple, entrepris de soutenir les relations avec les étrangers qui, après un séjour en France de quelques mois ou de quelques années, sont retournés dans leur pays d'origine où ils occupent souvent des fonctions importantes. Pour cela, notre ambition est de maintenir un lien avec eux et de les leur adjoindre dans la mesure du possible.

Enfin, diverses activités peuvent être menées dans le domaine de la sensibilisation à la science, lors de la Fête de la science par l'animation de stands aux heures où les chercheurs ne peuvent assurer une permanence, ou encore par des conférences de sensibilisation. Cette liste reste ouverte, toutes les suggestions des membres étant les bienvenues.

Liliane Garçon - Présidente de l'AA

Association des Anciens et Amis du CNRS

Siège social : 3 rue Michel Ange 75794 Paris cedex 16

Siège administratif : CNRS Meudon Bellevue - 1, place Aristide Briand - 92190 Meudon

En l'absence de secrétariat, vous pouvez joindre l'Association :

objets d'intérêt général : liaison@aaa.cnrs.fr ou lysiashuon@gmail.com

communications ou base de données : anna.jouve@aaa.cnrs.fr

Site web : <http://www.a3cnrs.org>

*Le courrier postal est à adresser au siège administratif