

# Valorisation et cycle de vie de la matière minérale

## Retour sur les JIREC 2008

Claudine Follet-Houttemane

Organisées par les Universités de l'Artois, de Lille 1 (USTL), du Littoral (ULCO), de Valenciennes (UVHC), l'École de Chimie de Lille (ENSC Lille) et la division Enseignement-Formation de la Société Chimique de France (DEF-SCF), les 24<sup>e</sup> Journées pour l'innovation et la recherche dans l'enseignement de la chimie (JIREC) se sont déroulées à Ambleteuse sur la Côte d'Opale (Pas-de-Calais) du 14 au 16 mai 2008, autour du thème **Valorisation et cycle de vie de la matière minérale**<sup>(1)</sup>.

Quatre conférences plénières de 45 minutes ont été présentées par des industriels. Deux font l'objet d'articles dans les pages qui suivent : *Valorisation des coproduits d'ArcelorMittal*, par Jean-Marie Delbecq (ArcelorMittal, Dunkerque), et *Cycle de vie du verre d'emballages issus des déchets ménagers et assimilés*, par Jonathan Decottignies (Cercle National du Recyclage de Lille). Les deux autres concernaient *La valorisation et le cycle de vie de l'eau*, par Séverine Verhaeghe (Agence de l'eau d'Artois Picardie), et *Le cycle du combustible nucléaire*, par Bernard Boullis (CEA). Par ailleurs, deux ateliers ont permis de réfléchir sur la façon de concrétiser ce thème.

De plus, en dehors du thème, onze communications orales de 20 min et une séance de communications par affiches ont été présentées, et enfin, un atelier a permis d'échanger des réflexions sur le cours magistral.

Pour la première fois, un **prix spécial** a été **décerné conjointement par la DEF-SCF et le CNRS** pour récompenser un travail pédagogique illustrant les préceptes d'une chimie soucieuse de l'environnement. Il a été remis à **Xavier Bataille et Erwan Beauvineau** par Patrick Chaquin, président de la DEF-SCF, et Philippe Chartier, représentant Gilberte Chambaud, directrice de l'Institut de chimie du CNRS. Le sujet qu'ils avaient choisi : « *Synthèse parallèle basée sur la réaction multicomposants de Biginelli : une approche de la chimie verte* » a donné lieu à la publication d'un article dans *L'Actualité Chimique*<sup>(2)</sup>.

À la fin de ces journées, Claudine Follet, présidente du Comité d'organisation des JIREC 2008, a transmis la

maquette du « Phare du bout du monde », symbole des JIREC, à Jean-Charles Mougénel, organisateur des MIEC-JIREC à Mulhouse en 2009<sup>(3)</sup>.

Nous donnons ici un aperçu des conférences et communications non publiées dans le dossier qui suit.

### Les conférences plénières

#### Valorisation et cycle de vie de l'eau

L'eau recouvre 72 % de la surface de notre planète, mais seul 1 % est douce et réellement disponible dans les masses d'eau de surface et souterraines. Cette ressource est très inégalement répartie géographiquement et la croissance démographique, qui augmentera d'environ 50 % d'ici 2050, conduira à réduire les pollutions et les consommations à certains endroits et à exploiter de nouvelles ressources en eau à d'autres, grâce à des techniques innovantes.

C'est ainsi que l'eau potable ne vient plus uniquement du sous-sol mais des eaux de rivières potabilisées ou, dans les pays les plus arides, du dessalement d'eau de mer, voire de la récupération de la rosée. Par ailleurs les traitements d'eaux complets actuels permettent des réutilisations poussées dans les procédés de fabrication.

En France, une loi fondatrice de 1964 a établi un cadre réglementaire pour la gestion de l'eau, donnant naissance à six agences<sup>(4)</sup> chargées de la mettre en œuvre, sous la tutelle du Ministère chargé de l'Environnement. En 2006, une nouvelle loi sur l'eau a intégré les objectifs qualitatifs et quantitatifs européens à atteindre à l'horizon 2015 (DCE-2000).

#### Le cycle du combustible nucléaire

Le cycle du combustible nucléaire est riche de nombreuses transformations, tant dans sa partie amont (de la mine au réacteur) que dans sa partie aval, pour les diverses options de gestion du combustible dit « usé », après son déchargement.

L'amont du cycle consiste à extraire, concentrer et purifier l'uranium ; celui-ci sera ensuite enrichi en isotope 235 (fissile) puis converti sous forme oxyde, le dioxyde d'uranium UO<sub>2</sub>, qui constitue le combustible nucléaire des 58 réacteurs à eau français et de la plupart des quelques 430 réacteurs électrogènes en opération dans le monde.



Le phare du bout du monde, symbole des JIREC.



Introduction des JIREC par Patrick Chaquin, président de la DEF-SCF.

L'aval du cycle, c'est-à-dire la gestion du combustible au terme de son séjour de quelques années en réacteur, fait l'objet de nombreuses controverses depuis plus de vingt ans car cet objet au caractère « dual » peut être vu tant comme un déchet dangereux (il est très radioactif) que comme une ressource (il contient encore près de 95 % d'uranium et environ 1 % de plutonium). Le choix d'une stratégie de gestion doit tenir compte de nombreux critères, scientifiques et techniques, économiques, écologiques, politiques, voire éthiques...

À l'heure actuelle, trois grandes options sont envisagées : le stockage direct (comme en Suède, où l'on considère que le combustible est un déchet), le recyclage (comme en France ou au Japon, où l'on cherche à valoriser le potentiel énergétique résiduel de l'uranium et du plutonium, tout en réduisant volume et toxicité potentielle du déchet ultime), enfin l'option d'attente que constitue l'entreposage temporaire des combustibles usés.

La raréfaction des ressources fossiles, les craintes relatives au changement climatique et l'accroissement drastique de la demande en énergie dans différentes régions du globe ont relancé ces dernières années l'intérêt envers l'option nucléaire pour contribuer à la production d'électricité de base. Mais dans le même temps, il apparaît que des options nucléaires durables (soutenables) ne peuvent être que des options avec recyclage, tant pour préserver les ressources naturelles en uranium que pour limiter l'impact des opérations sur l'environnement.

La voie mise en œuvre en France avec le recyclage du plutonium sous forme de combustible MOX (oxyde mixte  $UO_2$ - $PuO_2$ ) dans les réacteurs à eau constitue une première étape, essentielle, dans cette perspective. De nombreuses recherches ont également été initiées ou relancées partout dans le monde. Elles visent d'une part à développer de nouvelles technologies de réacteurs aptes à tirer le meilleur parti du potentiel énergétique de l'uranium initial (on peut espérer un facteur 50 à 100 entre les réacteurs à eau et des réacteurs dits « à neutrons rapides »), mais un effort important est aussi consacré au développement de concepts avancés de recyclage pour adapter, améliorer ou compléter ce qui est mis en œuvre actuellement. La nouvelle loi votée par le Parlement français en juin 2006 confirme ces orientations (valoriser le potentiel énergétique, réduire le déchet ultime) et de nombreuses initiatives internationales ont récemment été lancées dans ce sens.

Par ailleurs, la gestion du déchet ultime fait également l'objet d'études depuis plusieurs décennies : à l'issue des opérations de recyclage, les résidus (produits de la fission de l'uranium non recyclés) sont immobilisés au sein d'une matrice vitreuse et c'est le stockage réversible en couches géologiques profondes – aujourd'hui encore objet de recherches, notamment en « laboratoire souterrain » – qui constitue la solution de référence pour leur gestion à long terme.

## Les communications orales et par affiches

### Présentation de la « Chimie Itinérante »

(Christel Pierlot, École Nationale Supérieure de Chimie de Lille)

Les analyses statistiques montrent une désaffection des filières scientifiques par les lycéens ces dernières années, et tout particulièrement en physique et en chimie. Partant de ce

constat – et sous l'impulsion de l'Université des sciences et technologies de Lille suite à la « semaine de la science » –, la « Chimie Itinérante » a pour objectif depuis 1998 de promouvoir les disciplines scientifiques auprès des futurs étudiants, et plus spécialement la chimie.

Pour cela, une dizaine d'enseignants-chercheurs bénévoles installe et présente des expériences dans les écoles, collèges, lycées ou mairies d'une région sur des périodes bloquées d'un ou deux jours. En concertation avec les professeurs de l'établissement d'accueil, les manipulations sont sélectionnées de façon à faire participer les élèves, en dérangeant le moins possible le déroulement des cours. Ces manifestations sont l'occasion d'établir un pont avec le secondaire et de renseigner les élèves sur les différentes voies possibles pour préparer une carrière de chimiste.

Les expériences présentées montrent que la chimie est une science de tous les jours, elles sont toujours reliées à des phénomènes intervenant dans notre quotidien. En voici quelques exemples :

- polymères : tableau de bord des voitures ;
- formulation : mélange eau/huile en présence de tensioactifs (vinaigrette, crème cosmétique), formation de mousses (gel douche, shampoing) ;
- oxydation : oxydation du luminol par l'eau oxygénée (luminescence, fluorescence, phosphorescence), fonctionnement de l'alcotest (bouteille bleue, multicolore : action de l'air) ;
- photochimie : transformation réversible des spiropyranes sous l'effet d'un rayonnement (verres de lunettes photochromes) ;
- traitement de l'eau : présentation d'une station d'épuration mobile.

### Stage d'immersion en collège, lycée et école

(Yann Marquant, Institut des Sciences et Techniques de Valenciennes, Université de Valenciennes du Hainaut-Cambrésis)

Depuis trois ans, les étudiants en dernière année de licence de sciences physiques peuvent s'inscrire au module stage d'enseignement et ils encadrent alors un atelier scientifique au lycée ou au collège. En école primaire, ils progressent durant sept semaines, passant de l'observation à la prise en main d'une classe. Cette formation est complétée par une information sur le système éducatif. Elle permet au stage d'obtenir une habilitation auprès de l'IUFM et se convertit en bonification lors du concours d'entrée pour devenir professeur des écoles.

Les collègues de l'université, du secondaire et du primaire échangent ainsi compétences et expériences. Ce module permet de confirmer ou à l'inverse de contrarier une orientation vers les métiers de l'enseignement.

### L'informatique en support pédagogique lors de travaux pratiques de chimie générale de 1<sup>ère</sup> année à l'USTL

#### Exemples de logiciels de simulation et d'exploitation de résultats développés sous Excel

(Marc Ribaucour et Alain Perche, Université des Sciences et Technologies de Lille)

Les séances de TP de 1<sup>ère</sup> année pour les licences « Sciences de la vie, de la Terre et environnement » et « Physique-chimie » ont été profondément renouvelées, afin :

- de motiver l'étudiant pour la préparation et la réalisation des TP ;

- d'utiliser une évaluation multicritères incluant la préparation du TP, l'exactitude des résultats, leur exploitation et leur présentation ;
- d'intégrer l'utilisation de l'informatique lors des manipulations et de la notation du TP.

Afin d'atteindre ce dernier objectif, quatre types de logiciels ont été développés : pour simuler les titrages pHmétriques et potentiométriques, pour calculer l'incertitude d'un résultat de titrage, pour exploiter les données expérimentales, et enfin pour calculer les notes associées à l'évaluation multicritères.

Les logiciels utilisés en séance de TP améliorent la compréhension du principe d'une réaction de titrage par l'étudiant au travers des courbes d'évolution des quantités de matière des espèces de la réaction, l'aide à choisir le bon indicateur coloré acido-basique, facilite l'échange pédagogique entre l'enseignant et l'étudiant, offre un gain de temps et évite les sources d'erreur lors de la détermination des incertitudes et de l'exploitation des résultats expérimentaux. Le temps gagné peut être mis à profit pour l'interprétation des résultats, la rédaction du compte-rendu et des discussions avec l'enseignant sur ces derniers aspects.

Les logiciels de calcul de notes permettent une évaluation multicritères sans alourdir le travail de notation de l'enseignant et diminuent les sources d'erreur.

### **Formalabo, un outil d'aide pour la préparation et la réalisation de TP de chimie intégrant une démarche HSE<sup>(5)</sup>**

(Philippe Gall, INSA Rennes, Robert Clément, ENSIC Nancy, Mireille Frimigacci, ENSPC Bordeaux, Jean-Paul Leroux, INRS, Laurence Charpentier, Polytech'Nantes)

Dans le cadre des formations d'ingénieurs ou de techniciens supérieurs, les séances de travaux pratiques sont une occasion unique de bien former les étudiants aux comportements qu'ils vont devoir adopter et faire adopter tout au long de leur vie professionnelle. Il est donc essentiel que la prise de contact avec la synthèse chimique se fasse dans les meilleures conditions, à la fois scientifiques et sécuritaires. C'est dans cette perspective que le logiciel Formalabo a été conçu et réalisé par un réseau d'enseignants d'écoles de chimie.

Il s'agit de donner aux étudiants des repères de bonnes pratiques, de les sensibiliser à la notion de risque et de les aider à gérer correctement ces différents points lors de la mise en œuvre de travaux pratiques. L'objectif est donc d'aider les étudiants à acquérir des démarches conceptuelles et comportementales bien structurées, de s'approprier une méthodologie générale prenant en compte les aspects scientifiques et de sécurité pour réaliser la synthèse de produits chimiques. Le but ultime de l'outil est de contribuer au développement de l'autonomie des futurs professionnels qui devront identifier et maîtriser correctement tout risque chimique et autre risque corrélé à la chimie.

Financé par l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), Formalabo pourra être fourni à tout enseignant du supérieur souhaitant en faire usage.

### **Développer des compétences à travers une pédagogie de projet**

(Jérôme Randon et Hervé Delepine, Université Claude Bernard, Lyon)

Depuis la rentrée 2007, la formation master « Analyse et Contrôle »<sup>(6)</sup> est ouverte en apprentissage et l'enseignement

se fait en alternance au cours du premier semestre de M2 (3 semaines en entreprise, 3 semaines à l'université). Les étudiants qui ne sont pas sous statut apprenti se retrouvent donc libérés de tout enseignement sur de longues périodes qui sont mises à profit pour développer un ensemble de compétences techniques et comportementales au cours de projets. Ils disposent alors d'une salle de travail équipée d'ordinateurs connectés au réseau et d'une plate-forme technique (L.An.Co) avec un parc très varié de matériels analytiques.

En 2008, un projet de création d'entreprise de prestation analytique a été mis en place au sein du L.An.Co (Laboratoire analyse et contrôle). Le cahier des charges donné aux étudiants précisait que le laboratoire devait pouvoir fournir un catalogue de prestation respectant les procédures en vigueur dans le domaine de l'analyse de l'eau. Un client devait être rencontré pour lequel un ensemble d'analyses serait réalisé.

Un groupe de dix étudiants a planifié l'ensemble des tâches à conduire en intégrant des objectifs techniques, de délai et de coût, et les rôles ont été répartis (chef de projet, responsable technique, responsable qualité, responsable financier, responsable administratif, ingénieurs R & D). Cette méthodologie a permis aux élèves de se confronter tout au long de l'avancement du projet à des obstacles qui se sont révélés être des situations d'apprentissage très riches (par exemple les échanges avec le client ont fait émerger de nombreuses difficultés, sources de nombreuses discussions).

### **« Objectif Réussite » à l'Université Libre de Bruxelles**

#### **Promouvoir la réussite des nouveaux étudiants en consolidant leur formation de base**

(Pauline Slosse et François Reniers, Université Libre de Bruxelles)

Les universités, où le libre accès aux études est la règle, sont confrontées à la tâche contradictoire de dispenser leur enseignement à un grand nombre d'étudiants, le plus souvent de manière collective, alors que les niveaux de connaissance de base de ceux-ci présentent une grande diversité. Dans ces conditions, comment dispenser un enseignement de qualité et de haut niveau ?

L'une des solutions consiste à tenter d'uniformiser le socle de compétences de base. C'est dans cette optique que depuis la rentrée de 2007, l'Université Libre de Bruxelles propose à ses étudiants de toutes les facultés dont le cursus de 1<sup>ère</sup> année comporte un ou plusieurs cours parmi les trois disciplines scientifiques de base (physique, mathématiques et chimie) de participer à l'« Objectif Réussite ». Il s'agit de réaliser en ligne des travaux faisant appel à leur maîtrise des pré-requis dans ces disciplines afin de leur permettre de s'évaluer ou de prendre conscience de l'existence de lacunes dans leur formation, et donc de leur offrir l'occasion de consolider leurs connaissances ou de les étendre.

### **Quelques démonstrations de chimie en classe**

(Maurice Cosandey, Association suisse des Olympiades de chimie, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse)

Une série de démonstrations qualitatives de chimie élémentaire a été présentée en public et filmée dans un grand auditoire : réactions acide-base et effet tampon ; préparation et usage de HCl gazeux ; flamme et coloration



Les participants des JIREC 2008.

de flamme ; combustions de l'essence, du fer, du magnésium ; réaction de la poudre noire ; équilibre du chlorure de cobalt ; fabrication rapide du savon ; réaction du chlorite de sodium ; synthèse et explosion sans danger de la nitroglycérine. L'enregistrement est conçu pour que le maître puisse s'en inspirer directement et les répéter en classe.

### Élaboration de matériaux organiques pour le développement d'accumulateurs « renouvelables »

(Haiyan Chen, Gilles Demailly, Michel Armand, Jean-Marie Tarascon, Franck Dolhem et Philippe Poizot, Université de Picardie Jules Verne, Amiens)

Les batteries à ions lithium utilisent actuellement des matériaux inorganiques, dits d'insertion, comme électrodes positive et négative. Cependant, compte tenu de la demande toujours plus grande en accumulateurs, l'usage exclusif de ce type de matériau risque de poser à terme des problèmes environnementaux, et ce à différents niveaux. D'abord, les ressources de base nécessaires à leur obtention sont de nature géologique, c'est-à-dire en quantité limitée. Ensuite, le coût énergétique global pour les obtenir reste considérable, la synthèse ayant en effet lieu à haute température. Enfin, une quantité importante d'énergie est encore nécessaire pour recycler les accumulateurs en fin de vie par le biais de procédés pyro-/hydro-métallurgiques. En bref, un constat s'impose : le cycle de vie des accumulateurs actuels ne rentre pas dans une filière « renouvelable ». Il faut donc chercher à concevoir des électrodes alternatives moins coûteuses pour l'environnement, par exemple celles de nature organique élaborées sur la base de dérivés naturels comme la biomasse.

Les auteurs ont présenté un nouveau concept d'accumulateur au lithium où le matériau d'électrode – purement organique :  $(Li_2C_6O_6)$  – est synthétisé au moyen des préceptes de chimie verte avec un solvant aqueux en seulement trois étapes et ce, à partir d'un dérivé naturel, le *myo*-inositol.

### Les éléments, « briques » de l'univers

#### Une unité d'enseignement de L1S1 basée sur l'enseignement expérimental et l'autonomie

(Isabelle Ramade, Faculté des Sciences d'Orsay, Université Paris-Sud 11)

L'unité d'enseignement (UE) complémentaire « les éléments, « briques » de l'univers » est proposé depuis la rentrée 2005 à la Faculté des sciences d'Orsay. Elle a été inspirée par la session 2004 des JIREC (chimie inorganique),

en particulier par l'atelier consacré à la recherche d'alternatives pour rendre l'enseignement de la chimie inorganique plus attractif.

Cette UE de 25 h (2,5 ECTS<sup>(7)</sup>), ouverte aux étudiants de licence (1<sup>ère</sup> année 1<sup>er</sup> semestre) du portail PCST (physique, chimie, sciences de la Terre), est destinée à mettre en place les concepts de base sur la classification périodique et en particulier à rationaliser les propriétés chimiques des éléments et des familles d'éléments, ainsi qu'à développer l'autonomie des étudiants au laboratoire (choix du matériel, des produits, tenue d'un cahier de laboratoire).

Trois communications sont présentées dans les pages qui suivent : *Les ocres de Provence, de l'extraction à la toile*, par Florence Boulc'h ; *Synthèse et caractérisation d'un luminophore*, par David Marseault ; *L'or : du minerai aux nanoparticules*, par Katia Fajerwerg.

La communication de Patrick Leghié sur *l'habilitation aux risques chimiques* fera l'objet d'un article couplé au dossier des JIREC 2009 – « la sécurité au laboratoire de chimie » – qui paraîtra au printemps prochain dans *L'Actualité Chimique*.

D'autre part, pour la première fois des étudiants ont participé aux JIREC. À l'initiative de Jean-Charles Mougénel, directeur des études de l'École de Chimie de Mulhouse, des élèves de l'école ont présenté sous forme d'affiches et commenté « le microscope à force atomique en classe de 4<sup>e</sup> ».

### Les ateliers

#### Atelier 1 : En salle de TP, les étudiants sont-ils sensibles à la récupération des déchets ?

(animateurs : Sylvie Candom, Jérôme Randon et Sylvie Minaud)

La discussion a pris forme à partir des questions que les enseignants se posent lors des encadrements en salle de TP. Quelques réponses ont été émises à partir d'expériences vécues ou des réflexions amorcées précédemment : d'une part, il est nécessaire de gérer le plus rationnellement possible les déchets sans passer d'un extrême à l'autre ; d'autre part, on peut envisager de modifier les TP afin d'en limiter les rejets. Souvent, les étudiants sont informés (parfois trop !) mais n'appliquent pas toujours leurs connaissances. Enfin, il ne faut pas hésiter à travailler avec l'ingénieur hygiène/sécurité de l'établissement pour bénéficier de ses compétences. La problématique de

l'hygiène et de la sécurité en salle de TP a été également abordée.

### Atelier 2 : Comment enseigner valorisation et cycle de vie de la matière minérale ?

(animateurs : Cyrille Mercier, Jean-Charles Mougenel et Caroline Pirovano)

Ce sujet est parfaitement d'actualité. On peut citer en effet la considération accrue des aspects environnementaux, la législation REACH, l'augmentation du prix des matières premières... Cette problématique intègre plusieurs aspects : technologiques, législatifs, économiques, environnementaux, juridiques, sociologiques et, par conséquent, ne concerne pas que les chimistes. L'enseignement doit s'appuyer sur une bonne culture de base en chimie minérale et chimie générale.

### Atelier 3 : L'enseignement en cours magistral est-il encore d'actualité ? Polycopiés et PowerPoint

(animateurs : Sylvie Condom, Jérôme Randon et Rose-Noëlle Vannier)

Notons que des enseignants et des étudiants étaient réunis durant cet atelier.

À toutes les questions qui se posent sur le type de support à utiliser pour un cours, il n'y a pas une réponse unique ! Différentes expériences ont été évoquées : par exemple le PowerPoint avec distribution de polycopiés complets ou à trous mais proches du PowerPoint.

L'importance des TP dans la compréhension de notions expliquées en cours a été soulignée. L'autoformation a été également abordée. La conclusion de l'atelier est que rien ne peut remplacer le contact entre enseignant et étudiant.

### Atelier 4 : Enseigner la chimie minérale. Transition lycée-université

(animateurs : Jean-Charles Mougenel, Sylvie Condom et Sylvie Boussekey)

Il faut beaucoup de chimie-physique pour enseigner la chimie minérale : les deux matières sont indissociables et on ne peut faire l'une sans l'autre. La chimie minérale est le meilleur outil pour illustrer la chimie-physique. Pour certains, il est dommage que chimie minérale et chimie-physique aient été séparées.

Il existe une grande diversité sur les programmes dans les universités. En effet, les cours dépendent des enseignants, qui dépendent des laboratoires. Une licence de chimie devrait être la même partout. À ce propos, Gilberte Chambaud et Françoise Rouquérol ont mis un programme sur le site de la SCF : c'est un point de départ.

Transition lycée-université : au lycée, un peu de chimie générale et un peu de chimie organique sont enseignés. Il est constaté que pour les élèves, la chimie est plus attrayante que la physique. Cela se confirme en classes préparatoires. Au lycée, ils « zappent », mais n'ont aucune base. La transition lycée-université est dure, il faut que les étudiants soient autonomes.

Quel enseignement au lycée est nécessaire pour l'université ? Pourquoi ne reviendrions-nous pas dans les lycées à ce qui était enseigné auparavant ? Il serait intéressant d'enseigner par exemple les trois premières lignes de la classification qui permettent d'introduire les grandes bases.

## Le prix DEF-SCF-CNRS

Le prix 2008 a été attribué à Xavier Bataille et Erwan Beauvineau<sup>(2)</sup>. Les trois autres sujets proposés sont exposés ci-après.



Patrick Chaquin remet le prix DEF-SCF-CNRS 2008 à Xavier Bataille (au centre) et Erwan Beauvineau.

### Réaction de Heck en milieu liquide ionique : un système catalytique efficace et recyclable

(Odile Dechy-Cabaret, Martine Urrutigoity, Jérôme Montels, David Riboul, Jean-François Blanco, ENSIACET Toulouse)

Les élèves ingénieurs de l'ENSIACET (École nationale supérieure des ingénieurs en arts chimiques et technologiques, INP Toulouse), choisissant l'option chimie verte en 3<sup>e</sup> année, suivent des « TP chimie verte » au cours desquels ils abordent à travers quatre manipulations différents aspects de la catalyse (catalyse asymétrique, biomimétique, biphasique et réactions de couplage C-C) et de la « chimie des agroressources ».

La manipulation présentée ici est une expérience mise au point d'après une publication parue dans *Organic Letters* en 1999<sup>(8)</sup> pour illustrer deux notions majeures :

- le recours à une réaction à économie d'atome : la réaction de Heck, de couplage carbone-carbone catalysée par les complexes de métaux de transition (principe 6 de la chimie verte) ;
- l'utilisation d'un liquide ionique pour exalter l'activité catalytique et permettre le recyclage du catalyseur de manière aisée (principe 5 de la chimie verte).

Les séances sont organisées de la façon suivante : 1<sup>ère</sup> demi-journée : réaction de Heck classique et préparation du liquide ionique ; 2<sup>e</sup> demi-journée : réaction de Heck dans le liquide ionique ; 3<sup>e</sup> demi-journée : réaction de Heck dans le liquide ionique recyclé ; 4<sup>e</sup> demi-journée : gamme étalon et analyses chromatographiques.

Au terme de la séance, les élèves doivent rédiger un compte-rendu en quatre pages présentant l'objectif de la manipulation et les résultats obtenus. Ils sont également évalués en salle pour leurs compétences pratiques (soin, autonomie, sécurité et efficacité).

### Couleur des pigments à base de fer

(Florence Boulc'h et Virginie Hornebecq, Université de Provence, Marseille)

L'unité d'enseignement consacrée au projet scientifique développée en 1<sup>ère</sup> année à l'Université de Provence est centrée sur un thème relevant d'une ou plusieurs des

grandes disciplines scientifiques permettant de mettre en pratique les connaissances acquises dans l'enseignement secondaire et d'approcher la pratique scientifique et ses exigences. Dans ce contexte, un projet nommé « les ocres de Provence, de l'extraction à la toile », focalisé sur la notion de couleur, a été développé (voir p. 30). Les séances de TP de ce projet, conçues dans l'idée d'une chimie soucieuse de l'environnement, sont consacrées à l'étude des pigments à base de fer.

Lors de la conception de ces TP, la première idée a été de rechercher des produits non toxiques. De nombreux pigments contiennent des éléments hautement toxiques comme l'arsenic, le plomb et le cadmium, et les pigments non toxiques sont rares : on peut citer les pigments d'origine minérale à base de fer qui conduisent à une palette de couleurs très diversifiée.

Le second objectif a été de rechercher une synthèse des pigments à base de fer non toxique pour l'homme et l'environnement. Ils peuvent être synthétisés à partir du sel de Mohr. Cependant, ces préparations nécessitent l'utilisation de l'acide oxalique, très nocif. Ainsi dans un premier temps, le pigment jaune est extrait des ocres par lavage. Cette étape permet de séparer le pigment des autres constituants de l'ocre (kaolinite et quartz). Ce travail permet donc d'éviter les déchets nécessitant un traitement.

Dans un second temps, le composé est chauffé sous air à différentes températures afin de réaliser la palette de couleurs s'étendant du jaune à l'orange, au rouge et au violet. Les réactions de déshydratation et d'oxydation réalisées lors de ces traitements thermiques permettent de retrouver l'ensemble des atomes de fer du réactif dans le produit final. De plus, seuls le réactif  $O_2$  et le produit  $H_2O$  sont mis en jeu dans ces réactions afin de minimiser les dangers des conditions de réaction.

Chaque pigment est ensuite caractérisé par diffraction des rayons X afin de déterminer sa structure et donc sa composition chimique. La caractérisation structurale est complétée par la spectroscopie visible afin d'appréhender la notion de couleur dans les composés solides.

Le dernier aspect de ce projet concerne la préparation d'une peinture à partir des pigments minéraux, ces derniers étant associés à différents liants. Dans ce contexte, nous avons particulièrement choisi des liants naturels tels que la gomme arabique, la cire d'abeille et le jaune d'œuf. L'idée est ici d'appréhender l'influence des liants sur les propriétés de la peinture. Le projet s'achève par une réalisation artistique personnelle sur toile.

Il est important de noter que ces séances de TP permettent d'éviter toute accumulation de produits dans l'environnement (les pigments sont utilisés pour la réalisation d'une œuvre personnelle), toute utilisation de solvants et toute formation de sous-produits indésirables.

### Recyclage chimique du polyéthylène téréphtalate en laboratoire. Obtention d'acide téréphtalique par hydrolyse en milieu basique

(Pascal Bouysou et Valérie Beneteau, IUT d'Orléans)

La manipulation est proposée en TP de chimie organique au niveau du 1<sup>er</sup> cycle.

Conçu à l'origine pour produire des fibres synthétiques, le PET (polyéthylène téréphtalate) fut utilisé dans les années

60 pour fabriquer des films d'emballage puis, à partir des années 70, des contenants pour liquides suite au développement des techniques d'injection-soufflage. Les résines thermoplastiques type PET sont aujourd'hui majoritairement utilisées pour fabriquer des bouteilles destinées à contenir des liquides à usage alimentaire (soda, boissons alcoolisées, eau, huile...) ou non alimentaires (détergents, cosmétiques). Ses propriétés thermiques, mécaniques et sa légèreté contribuent à son succès toujours croissant.

La plupart des pays industrialisés ayant compris l'intérêt écologique et économique du recyclage des matières plastiques, de nombreux programmes de collecte (1,5 M de t/an dans le monde) et de retraitement du PET ont été mis en place ces dernières années. Parmi les différentes voies de valorisation (recyclage mécanique ou chimique, valorisation énergétique), cette séance de TP s'intéresse à un procédé permettant de réaliser le recyclage chimique : la saponification du polymère par hydrolyse basique.

### Remerciements

Les organisateurs remercient pour leur soutien financier la Société Chimique de France, la Région Nord-Pas-de-Calais, l'Université de l'Artois, l'Université de Lille 1, l'Université du Littoral, l'Université de Valenciennes, l'École de Chimie de Lille, la MGEN, la MAIF, le Conseil Général du Pas-de-Calais, la Banque Populaire du Pas-de-Calais, l'Union des Industries Chimiques du Nord-Pas-de-Calais, le CNRS et le Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

Ils ont apprécié que les sociétés Brucker, Carlo Erba-SDS, De Boeck, Dunod, Elexience, Heito, Horiba, INRS, Jobin Yvon, Mettler Toledo et Veolia Water présentent des stands pour animer ces JIREC.

### Notes

- (1) [www.univ-valenciennes.fr/congres/JIREC2008](http://www.univ-valenciennes.fr/congres/JIREC2008)
- (2) *L'Act. Chim.*, mai 2009, 330, p. 42.
- (3) Les MIEC-JIREC 2009 feront l'objet d'un dossier dans *L'Actualité Chimique* au printemps prochain autour du thème « La sécurité au laboratoire de chimie ». Les vidéos des conférences peuvent encore être consultées sur le site : [www.enscmu.uha.fr/jirec](http://www.enscmu.uha.fr/jirec).
- (4) [www.lesagencesdeleau.fr](http://www.lesagencesdeleau.fr)
- (5) HSE : hygiène, sécurité, environnement.
- (6) <http://master-analyse-contrôle.univ-lyon1.fr>
- (7) ECTS : le Système Européen de Transfert et d'Accumulation de Crédits est un système de points développé par l'Union européenne qui a pour but de faciliter la lecture et la comparaison des programmes d'études des différents pays européens. Le sigle ECTS (de l'anglais European Credits Transfer System) est le terme le plus couramment employé pour des raisons pratiques.
- (8) *Org. Lett.*, 1999, 1(7), p. 997.



Présidente du Comité d'organisation des JIREC 2008, **Claudine Follet-Houttemane** est professeur à l'Université de Valenciennes\* et présidente de la section régionale Nord-Pas-de-Calais-Picardie de la SCF.

\* Laboratoire Matériaux et Procédés, ISTV1-UVHC, Le Mont Houy, 59313 Valenciennes Cedex 09.

Courriel : [claudine.follet@univ-valenciennes.fr](mailto:claudine.follet@univ-valenciennes.fr)