

Enseigner une chimie économe et créatrice

Retour sur les JIREC 2013

Marie Guitou, Frédéric Le Quéré et Katia Fajerberg

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

Enseigner une chimie économe et créatrice

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

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

Encadré 1**Programme des JIREC 2013**

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

Conférences plénières

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

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

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

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

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

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

Communications orales

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

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

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

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

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

Retours d'expériences

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

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

Ateliers et démonstrations

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

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

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

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

Partages d'expériences

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

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

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

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

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

Table ronde « Industrie et enseignement »

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

Communications par affiches

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

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

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

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

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

L'enseignement de la chimie

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

Bénédicte Garreau-de Bonneval¹, Clémentine Transetti² et Cédric Faure²

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Encadré 3**Le label de chimie théorique**

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

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

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

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

Céline Léonard*

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

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

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

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

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

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



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



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



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

Une journée dans un lycée pour des partages d'expériences

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



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

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

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

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

Prix de la DEF-SCF

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

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

Remerciements

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

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

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

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

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

Notes et références

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

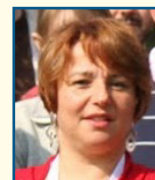
- [15] Alonas X. et al., Les photopolymères : de la chimie verte aux hautes technologies, *L'Act. Chim.*, **2008**, 317, p. 16.
- [16] Férey G. et al., A chromium terephthalate-based solid with unusually large pore volumes and surface area, *Science*, **2005**, 309, p. 2040.
- [17] Férey G. et al., Porous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



M. Guitou



F. Le Quéré



K. Fajerberg

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

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

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

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

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

Courriel : katia.fajerberg@lcc-toulouse.fr