

Chimie et transition énergétique : quel rôle pour les chimistes ?



La transition énergétique se place dans le cadre du processus de Kyoto relayé par les engagements de l'Union européenne pour 2020 (- 20 % d'émissions de dioxyde de carbone, + 20 % d'efficacité énergétique, 20 % d'énergie renouvelable) et leurs déclinaisons françaises. L'année 2015 est marquée par la 21^e Conférence des Parties (COP21) à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) et la 11^e session de la réunion des Parties au Protocole de Kyoto (CMP11). Ces événements sont organisés par la France en décembre à Paris. Avec la loi de programmation de la transition énergétique pour la croissance verte promulguée le 17 août dernier, la France s'est dotée d'une stratégie pour les décennies à venir.

Lors de son congrès général SCF'15 « Chimie et transition énergétique » qui a eu lieu à Lille du 4 au 9 juillet dernier, la Société Chimique de France (SCF) a choisi de présenter son analyse de l'apport de la chimie à la transition énergétique dans le but de faire le point sur les recherches des chimistes de notre pays contribuant à l'innovation des systèmes énergétiques suivant sept thèmes qui sont, par nature, transdisciplinaires : conversion et stockage de l'énergie, chimie bio-inspirée pour l'énergie, lumière et énergie, matériaux pour les énergies renouvelables, efficacité énergétique, énergie nucléaire aujourd'hui et demain, biomasse et fossile.

Elle a relevé l'importance de certaines approches transdisciplinaires dans les défis énergétiques à venir : les nanosciences, la simulation/modélisation multi-échelle, l'analyse et le génie des procédés. Il a été choisi de les intégrer dans les thèmes en rapport avec des filières énergétiques existantes ou en devenir. Tous les types de recherche – académique, technologique, industrielle –, tous les types de vecteurs énergétiques et toutes les filières énergétiques ont été abordés et présentés. Ainsi, après la conférence introductive de Didier Paillard sur l'évolution du Climat, Emily Carter a montré à quel point la simulation intervenait dans tous les défis que les sciences de l'énergie doivent relever. D'autre

part, Christophe Copéret a présenté une méthodologie avancée pour la conception rationnelle des sites actifs en catalyse hétérogène, outil important transverse à plusieurs thèmes de SFC'15.

Un numéro spécial de *L'Actualité Chimique*, faisant suite à ce congrès, sera consacré, courant 2016, à la transition énergétique. Nous vous proposons ici un court résumé des sept thématiques présentées lors de ces journées scientifiques*.

La conversion et le stockage de l'énergie sous ses différentes formes renouvelables est certainement le défi majeur à relever à court terme. En ouverture de cette session, Jean-Marie Tarascon a résumé les apports de la chimie dans le domaine de la conception d'électrodes pour le stockage. Ces apports ont ensuite été déclinés autour des grands domaines d'application que sont les supercondensateurs, les matériaux pour les batteries, les piles à combustible, l'électrolyse à haute température. Nous y avons ainsi vu l'émergence d'une nouvelle chimie avec la filière « ion sodium » et de matériaux « exotiques » pour le stockage de l'énergie.

Ces apports du chimiste ne seront efficaces que si les mécanismes mis en jeu lors du fonctionnement sont bien identifiés et compris. Le symposium a ainsi illustré l'importance des études *in situ* ou *in operando* pour mieux comprendre « la chimie » des différents processus. Il a également montré l'apport de la modélisation dans les différentes étapes que sont la conception du matériau et la compréhension de son fonctionnement. Toutes les interventions ont illustré le dynamisme et la richesse de notre communauté dans le domaine du stockage et de la conversion de l'énergie par le croisement de la chimie des matériaux avec le développement de techniques de caractérisation originales et de modélisation.

La conversion photovoltaïque est l'autre grand domaine arrivé à maturité. Le symposium « De la lumière à l'énergie » a fait la part belle à ses plus récents développements, autour des concepts émergents qui permettent d'accéder à de très hauts rendements dépassant les limites des simples jonctions. Les exposés, qui ont porté sur les cellules en couches minces à base de sulfures ou séléniures inorganiques, les cellules photovoltaïques moléculaires à colorants, ou les cellules organiques et à base de nouveaux matériaux hybrides tels que les pérovskites (systèmes suscitant aujourd'hui un engouement exceptionnel), ont mis en valeur ce domaine en pleine effervescence.

Ce symposium a aussi permis d'illustrer le couplage croissant entre les domaines du photovoltaïque et de la photocatalyse afin de conduire, *via* l'énergie chimique, au stockage direct de l'électricité. La richesse de la recherche en ce domaine a été illustrée par des travaux allant de la compréhension fondamentale des interactions photon-matière à l'exploration de dispositifs et de procédés à l'échelle préindustrielle, comme l'a souligné Michael Graetzel lors de ses interventions.

La photocatalyse est également au cœur de la chimie bio-inspirée pour l'énergie, voie de recherche encore fondamentale,

mais extrêmement prolifique et prometteuse. Lors de sa conférence plénière, Marc Fontecave a décrit les approches de la chimie bio-inspirée et ses applications dans le domaine de l'énergie. Il a notamment développé son argumentaire en ciblant les technologies pour la production de dihydrogène ou pour la valorisation du dioxyde de carbone.

Cette thématique a été déclinée au cours de trois sessions scientifiques. La première était centrée sur l'étude du fonctionnement de certaines enzymes et sur la modélisation de leurs sites actifs pour élaborer de nouveaux catalyseurs de réduction électrocatalytique du dioxygène, du dioxyde de carbone ou la production de dihydrogène. Au cours de la seconde session, la discussion a porté sur la conception de biopiles enzymatiques et microbiennes. Ces systèmes intègrent des enzymes, notamment des hydrogénases, des complexes bio-inspirés ou des micro-organismes, et permettent la production d'électricité à partir de combustibles, comme le dihydrogène mais aussi le glucose, ou d'effluents organiques. L'exploitation d'organismes photosynthétiques tels que les micro-algues ainsi que la mise au point de systèmes de photosynthèse artificielle pour la production de « carburants solaires » ont été au cœur de la troisième session.

Comme l'ont affiché les deux premiers thèmes et comme le montreront les deux suivants, la chimie des matériaux est devenue un point de passage obligé pour la recherche de nouveaux matériaux répondant aux défis posés par les besoins énergétiques du futur. Ainsi, il n'y a pas de véhicules électriques sans électrodes et électrolytes, pas de pales d'éoliennes sans composites, pas de moteurs électriques sans terres rares, pas de panneaux photovoltaïques sans semi-conducteurs, etc. Dans le cadre d'un développement durable, les quatre conférences thématiques et les vingt-six communications orales ont permis de préciser comment la chimie élargissait la gamme des matériaux disponibles en tenant compte des problèmes liés à la disponibilité des matières premières, à la toxicité des éléments utilisés et aux possibilités de recyclage après usage. Les principaux thèmes développés ont concerné la recherche de matériaux innovants, en particulier dans le domaine du stockage thermique, des thermoélectriques et des semi-conducteurs. Une attention particulière a porté sur l'élaboration de matériaux présentant une composition ou une structure originale comme les matériaux nanoporeux et hybrides et les systèmes nanostructurés.

Ce thème a été complété par une quinzaine d'affiches qui présentaient une grande variété d'études portant sur des systèmes originaux, allant des matériaux moléculaires aux polymères, en passant par les céramiques, les carbones allotropiques et les systèmes métalliques. Elles ont souligné, si besoin était, la place importante de la chimie des matériaux, vecteur incontournable permettant de répondre aux besoins créés par le développement des énergies renouvelables.

L'approche transversale du congrès SCF'15 a permis de rassembler la communauté des chimistes concernés par l'énergie nucléaire. En effet, les manifestations dédiées à l'énergie nucléaire (cycle du combustible, stockage, réacteurs, radiochimie, radiolyse, sûreté...) sont le plus souvent trop spécialisées. Ces trois jours ont réuni dans un même amphithéâtre les acteurs de ces thématiques très diversifiées qui concernent à la fois la chimie des matériaux, la modélisation et la dynamique moléculaires, la chimie des solutions, la chimie des actinides, la corrosion et la chimie de l'environnement.

Les conférences d'introduction ont illustré l'approche du chimiste pour l'exploitation des centrales nucléaires, pour les matériaux pour le nucléaire et le recyclage des matières, pour la production des premiers milligrammes de plutonium français, ainsi que pour la modélisation du transport de radionucléides dans l'argile. Les conférences invitées, d'une très grande qualité,

ont permis de mesurer l'engagement des chimistes aux frontières du développement et de la maîtrise des divers moyens de production d'énergie.

Pour achever ce parcours sur le « mix énergétique », le congrès SCF'15 a également abordé la question de l'avenir des chimies du carbone par l'examen de la complémentarité de la biomasse et des ressources fossiles.

La conférence plénière de Christophe Rupp-Dahlem sur la chimie du végétal a apporté un éclairage sur une stratégie industrielle déjà mise en œuvre. Elle s'est avérée une excellente introduction aux nouvelles perspectives en chimie verte, session qui a permis de faire le point sur les avancées récentes dans les procédés de production de biocarburants de deuxième génération, d'une part, et de molécules plateformes pour la pétrochimie basées sur le bioéthanol, d'autre part.

La transformation des ressources en carburants propres a été abordée dans la seconde session avec le rappel des enjeux pour l'industrie chimique de la récupération assistée du pétrole. La comparaison des impacts du co-traitement de produits biosourcés et fossiles pour leur production en raffinerie selon les deux voies complémentaires du craquage catalytique et des hydrotraitements a ensuite été détaillée dans deux exposés, suivis de plusieurs présentations montrant le rôle central des catalyseurs hétérogènes dans ces procédés de gros tonnages.

L'exploitation des ressources renouvelables et la valorisation des produits issus de traitements primaires ont été introduits dans la troisième session par la présentation des résultats du projet européen Eurobioref qui a permis d'évaluer, sur champs et sous divers climats européens, le potentiel des principales plantes oléagineuses et lignocellulosiques comme ressources pour la chimie et l'énergie. Les présentations suivantes ont permis d'illustrer la versatilité et la puissance de la chimie analytique et des voies de synthèse et séparation pour valoriser les mélanges parfois très complexes issus de la transformation physique de biomasses.

Enfin, la valorisation catalytique de molécules plateformes a, par contraste, montré le parti qu'il est possible de tirer par catalyse hétérogène (oxydation ou déshydratation sur des solides originaux) ou homogène (métathèse croisée de biooléfines ou hydroalcoxylation) de molécules relativement simples mieux définies et souvent issues des bioprocédés de fermentation (alcools, acide lactique...). Cette session a également soulevé le problème de la disponibilité du dihydrogène comme vecteur énergétique, véritable enjeu souligné par la conférence invitée dédiée à la dissociation photocatalytique de l'eau par l'énergie solaire.

Ce parcours du rôle des chimistes dans la transition énergétique ne saurait être complet sans rappeler la préoccupation récurrente de l'efficacité énergétique. Les intervenants de cette session se sont attachés à donner les clés essentielles pour comprendre des domaines aussi variés que la modélisation de réactions catalytiques, la synthèse de polymères issus du dioxyde de carbone, l'élaboration de nouveaux matériaux siliciés pour l'isolation de bâtiments, l'intensification des procédés, la catalyse en cascade et le contrôle de « monosites » pour des réactions de plus en plus sélectives : une manière de traduire pour ce premier congrès de la SCF depuis une quinzaine d'années le slogan – légalisé voici dix ans par un arrêté ministériel – « L'énergie est notre avenir, économisons-la ! »

* www.societechimiquedefrance.fr/congres/scf-15

Clément Sanchez, président du Comité scientifique, et **Stanislas Pommeret**, président du congrès et président de l'inter-division Énergie de la SCF, pour le Comité scientifique de SCF'15.