

Colloque « Chimie et Enjeux Energétiques »

14 novembre 2012 - Maison de la Chimie

Objectifs

Dans le contexte de l'accroissement de la population sur notre planète, les enjeux énergétiques sont au cœur de défis économiques, sociaux et scientifiques auxquels les chimistes apportent leur concours à tous les niveaux : usages plus efficaces des ressources énergétiques disponibles, recherche de nouvelles ressources ou technologies innovantes et durables pour la production, le stockage et la transformation de l'énergie, tout en ne contribuant pas au risque de changement climatique.

Les défis technologiques, les initiatives à prendre sur les plans scientifique et sociétal ainsi que l'apport attendu de la chimie sur ces deux plans seront exposés par les meilleurs spécialistes des organismes publics de recherche et de l'industrie, dans les domaines des énergies fossiles, et des énergies bas carbone (nucléaire et renouvelables).

Les principaux acteurs de la politique énergétique française débattront en présence d'un économiste sur les leviers d'action pour notre futur énergétique. Le niveau des interventions sera accessible à tous pour permettre des échanges avec un large public en particulier avec des lycéens, étudiants et leurs enseignants.

Bernard BIGOT

Président de la Fondation internationale de la Maison de la Chimie

Programme

		Sessions parallèles	
		SESSION I	SESSION II
		LES DEFIS TECHNOLOGIQUES A COURT ET MOYEN TERMES	INITIATIVES POUR L'AVENIR
		Animateur : Xavier CLEMENT, CEA	Animateur : Christian AMATORE, Académie des Sciences
08h30	Accueil		
09h00	Introduction Bernard BIGOT Président de la Fondation internationale de la Maison de la Chimie Administrateur Général du CEA Conférence plénière		
09h15	La chimie, une science au cœur des énergies d'avenir. Bernard BIGOT	14h15 Les matériaux stratégiques pour l'énergie. Bruno GOFFE CEREGE, CNRS-INSU	14h15 Vivre en économisant cette « chère » énergie. Jean-Claude BERNIER Université de Strasbourg - SCF
10h00	Table ronde : Les leviers d'action pour notre futur énergétique. Débats animés par Armand LATTES , Université Paul Sabatier <ul style="list-style-type: none">• Notre futur énergétique se décide aujourd'hui. Patrick CRIQUI, Université de Grenoble, CNRS-LEDDE• Chimie et production d'électricité. Bernard SALHA, EDF• Eau et énergie sont indissociables. Marc FLORETTE, GDF-SUEZ• Les enjeux de la R&D en Chimie pour le domaine des Carburants et des Biocarburants. Sophie JULLIAN, IFP Energies Nouvelles• La chimie et sa R&D dans l'industrie nucléaire. Martha HEITZMANN, AREVA	15h00 La séparation et la gestion des déchets nucléaires. Bernard BOULLIS CEA / DEN	15h00 CO2 et micro algues, « pour une chimie renouvelable ». Claude GUDIN Docteur en Sciences Bio végétales
		15h45 Biomasse, matière première renouvelable d'avenir. Jean-François ROUS Groupe SOFIPROTEOL	15h45 Réseaux de transport d'électricité et transition énergétique. Sébastien HENRY R&D du Réseau de Transport de l'Electricité
		Session de clôture Animateur : Bernard BIGOT	
12h15	Remise du Grand Prix 2012 de la Fondation internationale de la Maison de la Chimie au Professeur Ludwik LEIBLER pour sa contribution exceptionnelle dans le domaine de la physico-chimie des polymères.	16h45 Conférence plénière : Stockage de l'électricité : élément clef pour le déploiement des énergies renouvelables et du véhicule électrique. Marion PERRIN , CEA – INES	
13h00	Déjeuner offert par la Fondation de la Maison de la Chimie	17h30 Conférence de clôture : Chimie et enjeux énergétiques : Aspects politiques économiques et sociétaux. François LOOS , Ancien Ministre de l'Industrie et Président de l'ADEME	
		18h30 Conclusion par Bernard BIGOT	

Chimie et Enjeux Energétiques

14 Novembre 2012

9h00 - 19h00

Maison de la Chimie

28bis rue Saint Dominique - Paris 7ème

Grand Amphithéâtre

Bernard BIGOT, CEA - Fondation de la Maison de la Chimie - Patrick CRIQUI, Université de Grenoble - CNRS-LEDDE - Bernard SALHA, EDF - Marc FLORETTE, GDF-SUEZ - Sophie JULLIAN, IFP Energies Nouvelles - Martha HEITZMANN, AREVA - Bruno GOFFE, CEREGE-INSU - Bernard BOUILLIS, CEA/DEN - Jean-François ROUS, Groupe SOFIPROTEOL, Jean-Claude BERNIER, Université de Strasbourg - SCF - Claude GUDIN, Docteur en Sciences Bio végétales - Sébastien HENRY, RetD du Réseau de Transport de l'Electricité - Marion PERRIN, CEA-INES - François LOOS, ADEME

Sans énergies nos civilisations disparaîtraient. Or, les besoins mondiaux ne cesseront d'augmenter avec l'accroissement de la population sur notre planète qui de 6 milliards d'individus aujourd'hui devrait atteindre 9 milliards d'ici 2050.

Dans ce contexte, les enjeux énergétiques sont au coeur d'un défi économique, social et scientifique auquel les chimistes apportent leur concours à tous les niveaux et sous différents aspects : applications plus efficaces des sources disponibles, recherche de nouvelles sources, technologies clés pour la production, stockage et transformation de l'énergie, non-contribution au risque de changement climatique.

Les principaux acteurs de la politique énergétique française (EDF, GDF-Suez, IFP Energies Nouvelles, AREVA) débattront en présence d'un économiste sur les leviers d'action pour notre futur énergétique.

Les défis technologiques posés à court et moyen termes, les initiatives à prendre sur le plan scientifique et sociétal et l'apport attendu de la chimie sur ces deux thèmes seront exposés par les meilleurs spécialistes universitaires et industriels dans le domaine des énergies fossiles, du nucléaire, des énergies alternatives et des bioénergies.

Le niveau des interventions sera adapté pour être accessible à tous et permettre des échanges avec un large public composé en grande partie de lycéens, étudiants et de leurs enseignants.

La chimie, une science au cœur des énergies d'avenir

Bernard BIGOT

*Administrateur Général du CEA
Président de la Fondation de la Maison de la Chimie*

Avec une population mondiale qui atteindra probablement 9 milliards d'habitants en 2050, alors que près du quart de la population actuelle n'a pas encore accès à l'électricité, et ce dans un contexte de raréfaction des ressources fossiles qui assurent aujourd'hui plus de 80% de la consommation mondiale d'énergie primaire et avec la prégnance croissante des enjeux climatiques, environnementaux et sanitaire liés, l'enjeu énergétique est un problème économique, social et scientifique pour lequel les chimistes cherchent à solutionner en apportant leur concours à tous les niveaux et dans tous les aspects.

Parmi les défis technologiques à relever au cours de ces prochaines années, on peut citer : la compétitivité d'une large production d'énergie photovoltaïque, la maîtrise des coûts de l'énergie éolienne, le stockage de l'électricité et de la chaleur, le perfectionnement des technologies de fission nucléaire, les solutions à long terme de gestion des déchets nucléaires, les piles à combustible de faible puissance, le développement des bio carburants, les technologies de séquestration et capture de CO₂,...

Il faut revisiter notre modèle énergétique global dont les leviers d'actions sont : l'économie d'énergie, la diversification des ressources, l'augmentation raisonnée de la production globale d'énergie, l'amélioration de l'efficacité et de la flexibilité des réseaux de distribution. L'épuisement des ressources fossiles et les perturbations climatiques impliquent des modifications de nos modes de vie au niveau de l'habitat (isolation), de l'urbanisme, des transports et du recyclage des matières premières.

Quelle que soit la part du nucléaire dans le bouquet énergétique mondial, la chimie joue un rôle essentiel pour sécuriser et optimiser son usage. La nécessaire optimisation des ressources entraîne le développement de nouvelles voies de recherche explorant le potentiel de nouvelles molécules extractantes. Elle est au cœur du développement de nouveaux combustibles plus efficaces et de la compréhension de la tenue des matériaux durant l'irradiation afin de renforcer la sécurité des installations.

La chimie intervient dans les nouveaux procédés de traitement des combustibles usés ainsi que dans le conditionnement des déchets ultimes issus de la fission (recyclage du plutonium, séparation des actinides mineurs très radio actifs et non fissibles...).

Les nanomatériaux et la nano chimie sont des éléments clés pour le développement des énergies décarbonnées et l'économie des ressources naturelles : cellules photovoltaïques, piles à combustible, matériaux pour batteries, composants pour le stockage de l'énergie en bénéficieront. Les filières de recyclage sont encore totalement à organiser.

Les qualités des matériaux (bétons, métaux), leur résistance mécanique, les problèmes de corrosion et de recyclage joueront un grand rôle dans le développement de l'éolien.

La biomasse désigne l'ensemble des matières organiques pouvant devenir source d'énergie par combustion, gazéification, transformation chimique ou production de bio gaz par fermentation. Le développement des biocarburants actuels passe par la chimie des procédés thermochimiques et la catalyse enzymatique. Les biocarburants du futur s'appuieront sur la chimie bio inspirée, la chimie enzymatique et les micro-organismes comme les micro-algues et les cyano bactéries.

Le recyclage du CO₂ en méthane ou autres molécules de large intérêt pourrait être une nouvelle source pour réguler la consommation d'énergie électrique.

Voilà quelques exemples qui illustrent que la Chimie est bien au cœur de la transformation énergétique.

Mots Clés : énergie – nucléaire – photovoltaïque – biomasse - éolien

Stockage de l'électricité : élément clef pour le déploiement des énergies renouvelables et du véhicule électrique.

Marion Perrin

^a *CEA/LITEN/DTS/LSE*

Institut National de l'Energie Solaire INES Recherche, Développement, & Innovation

Le stockage de l'électricité est une nécessité pour des applications en site isolé ou en système autonome (système photovoltaïque ou véhicule électrique). Les évolutions techniques réglementaires tendent à lui donner une place accrue dans les applications connectées au réseau, en particulier en conjonction avec la pénétration accrue de sources intermittentes et fatales et dans un contexte d'évolution des réseaux vers plus de flexibilité (« smart grids »). Les exemples emblématiques sont la loi Allemande sur l'autoconsommation du PV et les appels d'offre de la CRE sur le couplage de centrales PV de grande puissance et éolienne avec du stockage dans les DOM.

Pour répondre à un besoin donné de décalage de charge, de décongestion de réseau, de soutien de la fréquence ou de sécurisation, de nombreuses technologies de stockage se positionnent comme une solution technique envisageable. Le stockage par voie électrochimique, du fait de sa flexibilité de dimensionnement, s'impose naturellement dans les applications de faible puissance/énergie mais aussi de plus en plus dans des applications de grandes dimensions (MW/MWh).

En matière de véhicule électrique, la clef du déploiement est bien entendu la batterie qui doit allier des caractéristiques de densité énergétique (laquelle conditionne l'autonomie du véhicule), de robustesse (longévité dans des conditions d'utilisation non maîtrisées en matière de régime de sollicitation et de température) et bien évidemment de coût.

Pour aborder l'intégration de tels systèmes de stockage, il est nécessaire de travailler à différents niveaux :

- En matière de développement de technologie, sur l'électrochimie, la formulation de matériaux et la mise au point de nouvelles technologies sur tous types d'électrochimie (Li-ion, Pb-H₂SO₄, Pb-AMS, Ni-Zn, Vanadium...).
- Ensuite, lorsqu'une technologie est à maturité, sur son exploitation dans les meilleures conditions de fonctionnement et le développement d'indicateurs pertinents pour sa gestion. Ce BMS (battery management system) nécessite une connaissance fine de l'élément unitaire et de son électrochimie, mais aussi un interfaçage avec son environnement. De tels travaux sont conduits avec les fabricants et les utilisateurs de technologie.
- Enfin, pour la connexion au réseau de puissance, le système de stockage doit intégrer un convertisseur qui peut lui aussi être responsable d'une partie du comportement électrique du système.

Le tout étant sous tendu par des caractérisations et de la modélisation pour réaliser la sélection de technologies et le dimensionnement le plus approprié à l'application.

Cette présentation illustre quelque cas d'usage de technologies de stockage électrochimiques.

Mots Clés : stockage, batterie, BMS (battery management system).

Chimie et enjeux énergétiques : un potentiel important, des verrous à ne pas sous-estimer.

François LOOS

Président de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME)

De tout temps, les hommes ont cherché à transformer le monde qui les entoure. Jadis c'était à l'alchimie que l'on confiait le soin de réaliser nos volontés, avec des succès souvent mitigés, et ça n'est qu'au XVIIIème siècle, avec le développement des méthodes scientifiques modernes, que la chimie pris son envol.

La chimie bouleversa le monde : les évolutions qui ont façonné la société d'aujourd'hui sont, pour leur écrasante majorité, dues au développement de nos connaissances en chimie, en thermodynamique et en ingénierie. La chimie est la science du monde qui nous entoure : des procédés industriels aux nouveaux matériaux, des vecteurs énergétiques aux réactions thermodynamiques, des tests de pollution de l'air, de l'eau ou d'autres milieux au recyclage, elle est omniprésente.

Elle est omniprésente, elle est diverse, mais elle est aussi mal connue et mal comprise.

Que l'on s'intéresse à l'industrie des engrais ou à la chimie du végétal, aux additifs alimentaires ou aux tests de qualité, elle est à la fois vue comme le problème et comme la solution par nombre de nos concitoyens. Son image peut être parfois associée à une vision négative : les consommateurs refusent volontiers ce qui est « chimique » ou « de synthèse », le souvenir d'accidents dans des industries chimiques reste gravé longtemps dans les mémoires, etc.

La chimie doit accélérer sa propre mutation.

En prenant à bras le corps les objectifs de développement durable, elle peut apporter des réponses innovantes aux enjeux énergétiques auxquels nous devons faire face : limiter la dépendance de l'économie aux ressources fossiles, réduire les émissions de gaz à effet de serre, répondre aux enjeux sanitaires et environnementaux.

Les exigences réglementaires européennes, par exemple REACH, ou les contraintes législatives et réglementaires nationales, doivent être vues comme un moyen permettant à la chimie de prendre un second envol tout en revalorisant son image au sein de la société, de stimuler la créativité de ses ingénieurs et leur esprit d'innovation.

L'école française des Sciences est l'une des meilleures du monde, si ce n'est la meilleure : il ne tient qu'à nous de bâtir la société du XXIème siècle au travers d'une chimie à haute valeur ajoutée riche en emplois nationaux, respectueuse de l'environnement, et soucieuse de son acceptation par le citoyen.

Les matériaux stratégiques pour l'énergie.

Bruno GOFFE

CNRS, CNRS-CEREGE

Le passage d'une production d'énergie essentiellement basée sur les énergies fossiles à une production basée sur des énergies considérées comme renouvelables et non susceptibles de connaître des ruptures d'approvisionnement est un enjeu considérable pour notre futur. Les énergies renouvelables proviennent, actuellement, pour l'essentiel de la conversion directe ou indirecte de l'énergie solaire. Dans le futur, les nouvelles générations de production d'énergie d'origine nucléaire, encore au stade de la recherche, pourront aussi être certainement considérées comme renouvelable. Dans la nature, la conversion d'énergie solaire est assurée par le carbone à travers la photosynthèse. Cette conversion est à l'origine des énergies fossiles et de la biomasse actuelle. En dehors du développement de cette dernière filière qui reste basée sur le carbone, le remplacement des énergies fossiles par les autres moyens de production d'énergie renouvelable se fera par l'usage massif de l'électricité avec la nécessité de développer les moyens de production, de stockage, de transport et de conversion. Cela se fera aussi par le développement des technologies et des matériaux économisant l'énergie et augmentant l'efficacité énergétique. Cette transition, totalement nouvelle dans l'histoire de l'humanité, nécessite et nécessitera la maîtrise et la gestion d'une masse considérable d'éléments chimiques pour lesquels les connaissances actuelles sont faibles et disjointes tant sur leurs abondances naturelles, leurs localisations (dans la nature et les déchets), leur traitement, leur recyclage, leur choix, leur substitution et les impacts environnementaux ou économiques qui en découlent. Un effort de recherche considérable est à faire sur tous ces points pour développer une vision stratégique et politique de gestion durable de nos ressources naturelles et la maîtrise de notre environnement. Cet enjeu est progressivement pris en compte dans les stratégies des états et des communautés pour en limiter et maîtriser les risques. La présentation abordera ces questions en développant la notion « d'éléments critiques pour l'énergie pour le développement durable » (ECEdd ou ECEs en américain).

Mots Clés : éléments critiques, ECEdd, pénuries, environnement, stratégie.

Les enjeux de la chimie séparative dans l'aval du cycle du combustible nucléaire.

Bernard BOUILLIS

CEA

La chimie est au cœur des opérations du cycle du combustible nucléaire, depuis les activités minières jusqu'à la gestion des déchets ultimes. Dans la partie amont de ce cycle tout d'abord, où il s'agit, par de très nombreuses transformations d'extraire, de séparer, de purifier, d'enrichir l'uranium naturel pour obtenir les éléments combustibles à base d'oxyde d'uranium enrichi, qui alimentent aujourd'hui l'essentiel des réacteurs du parc électronucléaire mondial.

Mais c'est dans l'aval du cycle, dans la gestion des combustibles dits « usés » au terme de leur séjour en réacteur, que les enjeux paraissent aujourd'hui peut-être les plus importants, pour le développement de systèmes nucléaires durables. Il s'agit ainsi, en recyclant les matières énergétiques valorisables (uranium résiduel et plutonium), de chercher à tirer le meilleur parti des ressources naturelles ; mais il s'agit aussi, ce faisant, de rendre beaucoup plus aisée une gestion tout-à-fait sûre des déchets finaux (en réduisant leur volume, leur chaleur résiduelle, leur contenu radiotoxique à long terme, la présence de matières sensibles...). C'est dans cette voie que la France s'est engagée avec les opérations de traitement et de recyclage de l'uranium et du plutonium, tirant profit des propriétés remarquables d'un extractant (le phosphate de tributyle, présentant une affinité particulière pour l'uranium et le plutonium), mis en œuvre avec des résultats remarquables dans les usines de La Hague sur des solutions très riches et très complexes, et dans un champ de contraintes particulièrement sévère. Et c'est dans cette voie que se poursuivent aujourd'hui les recherches, dans la perspective de systèmes encore plus performants. Le principal objectif reste le recyclage récurrent (« multi recyclage ») du plutonium, en cherchant à adapter les concepts aux évolutions du combustible, à les améliorer en les rendant plus compacts et toujours plus sûrs. Mais depuis plusieurs années, on explore des options encore plus avancées, avec la possibilité d'un recyclage des actinides mineurs (et en particulier de l'américium), pour diminuer encore la charge thermique et l'inventaire radiotoxique des déchets finaux. Cela a donné lieu à une recherche particulièrement foisonnante, au CEA mais aussi dans de nombreuses équipes en France et dans le monde. Cette recherche a permis de mettre au point de nouvelles architectures moléculaires, sélectives et résistantes, et de nouveaux concepts de procédés pour, après le recyclage de l'uranium et du plutonium, permettre d'envisager par la suite le recyclage de l'américium. La chimie séparative trouve dans le domaine nucléaire un champ d'applications particulièrement intéressant, dans une logique de progrès continus vers des systèmes nucléaires toujours plus aboutis, plus sûrs et plus performants.

Vivre en économisant cette « chère » énergie.

Jean Claude BERNIER

Université de Strasbourg et Société Chimique de France (SCF)

L'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre, le changement climatique, l'inévitable raréfaction des combustibles fossiles et des ressources minérales, autant de facteurs qui doivent nous inciter à des économies drastiques à court ou moyen terme. Les domaines les plus énergivores sont à différentes échelles, la production d'électricité, les transports, le secteur tertiaire. Quels sont les schémas prédictifs qui peuvent se dessiner compte tenu de l'évolution démographique mondiale et de l'évolution du niveau de vie moyen des pays ? Il faut alors se poser les bonnes questions comment la chimie et la technologie peuvent réduire la facture énergétique des différents secteurs et atteindre les objectifs nationaux et européens de 2020. D'abord l'isolation de l'habitat avec les moyens d'atteindre les objectifs de la réglementation RT 2012. Les transports avec les améliorations de consommation, les bio-carburants et les véhicules électriques. Les divers procédés de production de l'énergie renouvelables, le recyclage des matériaux... Dans chaque domaine on pourra examiner la crédibilité des solutions confrontées aux réalités thermodynamiques et économiques.

Microalgues Photopolymérisation du CO₂ en molécules renouvelables.

Claude GUDIN

Le Bellegarde

Les microalgues, depuis 3,5 milliards d'années, ont colonisé l'eau (douce ou marine, chaude ou froide, acide ou alcaline), les sols, les roches, les arbres, tout en abaissant considérablement le niveau de CO₂ de l'atmosphère et en l'enrichissant en oxygène grâce à la photosynthèse.

Nous le devons les molécules clés de notre vie : les antioxydants, les caroténoïdes, les acides gras à longues chaînes poly-insaturés comme les oméga 3 et le DHA indispensables à notre santé, ainsi que bon nombre de substances d'intérêt pharmaceutiques dont beaucoup restent à découvrir.

Si l'exploitation des plantes terrestres, base de l'horticulture et de l'agriculture remonte au néolithique, celle des micro-algues remonte à une trentaine d'années.

Actuellement, des systèmes de culture existent en milieu ouvert, des lagunes plus ou moins aménagées dont on a tiré, en Israël, du glycérol et du bétacarotène.

D'autres plus récents utilisent des tubulures transparentes ou des panneaux clos disposés horizontalement ou verticalement. D'autres, encore à venir, mettront à profit l'immobilisation des cellules sur des supports solides spongieux permettant de réduire les quantités d'eau mise en œuvre.

Enfin, une quatrième voie relativement récente consiste à cultiver les microalgues en fermenteurs conduisant à des concentrations en biomasse beaucoup plus élevées. C'est celle utilisée par Pierre Calleja chez Fermentalg qui lui a valu le Prix Pierre Potier cette année.

L'avantage des microalgues sur les plantes supérieures est leur rapidité de développement de l'ordre de un à trois jours et la possibilité de les cultiver en continu afin de contrôler leur âge et d'orienter leur métabolisme selon le principe du chemostat ou du turbidostat inventée par Jacques Monod dans sa thèse.

S'ouvre à nous une nouvelle chimie renouvelable qui n'empiétera pas sur les sols réservés à l'agriculture et à la forêt.

Mots Clés : microalgues et chimie renouvelable.

Réseaux de transport d'électricité et transition énergétique.

Sébastien HENRY^a

RTE - Direction R&D et Innovation

Les réseaux de transport et de distribution d'électricité permettent d'acheminer vers l'ensemble des consommateurs, l'énergie produite par les multiples centrales de production. Les équipements de consommation et les centrales de production sont conçus pour fonctionner à une fréquence de 50Hz. Pour obtenir cette fréquence, il est nécessaire d'assurer à chaque instant l'équilibre entre la production injectée et la demande soutirée. En effet, l'électricité ne se stockant pas directement, un déséquilibre entre l'offre et la demande peut déstabiliser le système et conduire au blackout. Les gestionnaires de réseau doivent garantir en temps réel cet équilibre du système.

Depuis plusieurs années, le système électrique connaît une profonde mutation tant sur les aspects économiques, organisationnels que techniques. Cette transition énergétique se caractérise par des modifications profondes à tous les niveaux de la chaîne production – transport – consommation d'électricité. Tout d'abord, au niveau des moyens de production d'électricité, l'arrivée massive de centrales à base d'énergie renouvelables (éoliennes, panneaux photovoltaïques...) renforce la variabilité de la production et introduit de l'intermittence. En ce qui concerne la consommation, les évolutions sont tout aussi marquées avec l'apparition de nouveaux usages comme l'électronique grand public, les pompes à chaleur et demain les véhicules électriques. La consommation électrique continue ainsi sa croissance mais grâce à l'essor des technologies de l'information et de la communication, il est aujourd'hui envisageable d'obtenir une plus grande flexibilité de la demande en rendant le consommateur actif dans sa gestion énergétique.

Les réseaux électriques sont aujourd'hui au cœur de cette transition énergétique. Ils doivent se développer et évoluer afin de maintenir la fiabilité du système électrique dans un contexte de faible acceptation des ouvrages par la population. Ce développement passe donc par l'utilisation de nouvelles solutions tirant partie des dernières technologies dans le domaine des matériaux, de la chimie, de l'information et des communications. Les défis sont nombreux dans ce domaine. Ainsi, la plupart des nouveaux ouvrages sont construits en souterrain ce qui nécessite d'utiliser des nouveaux composants. De même, les ouvrages aériens existants sont rénovés via des nouveaux conducteurs dits à faible dilatation, moins sensibles aux allongements lorsqu'ils sont transités par de forts courants. Demain, certaines infrastructures pourront utiliser des conducteurs supraconducteurs refroidis à l'aide de différents composants ou tirer partie de nanotechnologies. Un autre défi concerne la limitation voire la suppression de l'utilisation de l'hexafluorure de soufre (SF₆) dans nos infrastructures. Ce gaz est un excellent isolant mais aussi un gaz à effet de serre avec un potentiel de réchauffement global 22600 fois supérieur à celui du CO₂. Ces évolutions sur les réseaux électriques de transport seront une des clés du succès de la transition énergétique.

Mots Clés : Réseaux électriques, transition énergétique, hexafluorure de soufre (SF₆).

La Chimie dans la Production d'électricité.

Bernard SALHA

EDF

Le contexte de l'énergie est actuellement en forte évolution avec des besoins en énergie et en électricité toujours plus importants, au niveau mondial :

- Le défi du développement durable qui rend cruciale la réduction des impacts sur l'environnement de nos installations industrielles ;
- Les préoccupations en matière de sécurité d'approvisionnement énergétique ;
- Le développement rapide de la Chine et des pays émergents qui deviennent les nouveaux centres de croissance de l'utilisation de l'électricité ;
- Un portefeuille énergétique plus diversifié, combinant productions centralisées et décentralisées, impliquant une gestion plus complexe du système électrique ;
- Le développement urbain et les nouvelles attentes des collectivités locales ;
- Le développement des technologies de l'information ;
- Et enfin la volonté des clients particuliers ou collectifs de devenir des acteurs à part entière du système électrique.

Dans ce cadre, la R&D d'EDF a défini au service du groupe trois axes majeurs :

- Consolider un mix énergétique « décarboné » ;
- Développer une demande énergétique bas carbone ;
- Adapter le système électrique.

Le premier axe « Consolider un mix énergétique décarboné » se décline autour de 3 objectifs pour lesquels les compétences en Chimie sont essentielles : pérenniser l'avantage nucléaire du Groupe, développer les énergies renouvelables et examiner la faisabilité industrielle de la capture et du stockage du carbone.

En effet, pour pérenniser l'avantage nucléaire du Groupe EDF, la R&D d'EDF travaille à l'amélioration de la sûreté (confinement de la radioactivité/intégrité des barrières par exemple), à la disponibilité et à la performance (maintien de la capacité fonctionnelle et de l'intégrité des matériels et propreté des surfaces d'échange thermique par exemple), à la radioprotection, à la durée de vie (limitation du vieillissement des matériaux et des conséquences) et bien sûr à l'impact environnemental (limitation des rejets et du développement de microorganisme pathogènes).

Les compétences en chimie sont également utiles au développement des énergies renouvelables par exemple pour certaines technologies de cellules photovoltaïques (CIGS couche mince par électrodéposition par exemple).

Pour finir, les compétences en chimie se trouvent également au cœur des enjeux de la production thermique à flamme en particulier pour relever le défi de la réduction des émissions de gaz à effet de serre (technologie de captage et stockage de dioxyde de carbone).

Eau et énergie sont indissociables.

Marc FLORETTE, Léon DUVIVIER*

GDF SUEZ

Prises séparément l'eau et l'énergie sont des vecteurs importants du développement économique qui ont traditionnellement été régulés et gérés de façon séparée. Cependant, l'eau et l'énergie sont interdépendantes : nous utilisons de l'eau pour l'énergie et nous utilisons de l'énergie pour l'eau. C'est au cours de la dernière décade que l'importance de ce lien a été reconnue internationalement. C'est désormais une donnée essentielle dans les discussions relatives au concept de l'économie verte.

Des quantités d'eau importantes sont en effet nécessaires pour l'extraction du charbon, les forages pétroliers et le raffinage de l'essence, et plus encore pour l'extraction des combustibles non-conventionnels comme les schistes bitumineux et les gaz de schiste. Cependant, ce sont les combustibles « verts » qui ont l'empreinte « eau » la plus pénalisante.

D'autre part, l'énergie intervient dans le pompage, le transport, le traitement et la distribution de l'eau potable parfois produite dans des unités de dessalement, ainsi que dans les installations de traitement des eaux usées. L'énergie requise pour traiter et transporter l'eau potable varie de 0.05 à 5 kWh/m³, dépendant du type d'eau (douce, saumâtre ou de mer) et de paramètres régionaux spécifiques comme le climat, la disponibilité et la densité de population [1]. Réduire la consommation d'eau de façon globale et accroître le recyclage local des eaux industrielles permet de réduire la quantité d'énergie nécessaire au pompage et au traitement. Rendre productrices d'énergie les stations d'épuration permet de réduire leur empreinte écologique.

Dans un tel contexte, la Recherche et Développement joue un rôle essentiel et a recours à la chimie et la biochimie. En effet, pour garantir la durabilité des cycles de l'eau et de l'énergie, il faut développer de nouveaux procédés et de nouvelles technologies, d'une part, pour réduire la consommation d'eau tout au long de la chaîne de valeur de la production d'énergie et d'autre part, pour réduire la consommation d'énergie dans les diverses applications liées au cycle de l'eau. Membranes nano-structurées, nouveaux types de peintures anti-fouling non toxiques, bio-membranes, traitement enzymatique des effluents liquides, etc., en sont quelques exemples.

Références :

[1] *Valentina Lazarova (Suez Environment), Kwang-Ho Choo (Kyungpook National University, Korea), Peter Cornel (Technische Universität Darmstadt, Germany)* "Meeting the challenge of the water-energy nexus : the role of reuse of wastewater treatment" - - *Water 21 – April 2012, 12-17.*

Mots Clés : Eau, énergie, réutilisation, économie, recherche.

La chimie et sa R&D dans l'industrie nucléaire.

Martha HEITZMANN

SEVP R&D AREVA

L'énergie nucléaire fait, au premier abord, penser à la physique et à ses grands noms, Curie, Einstein, Fermi et bien d'autres. Mais sans la chimie elle n'existerait pas. En premier lieu les procédés chimiques de concentration et de conversion du minerai d'uranium, puis encore plusieurs étapes pour obtenir de l'oxyde d'uranium. Lors de son usage dans les réacteurs, de multiples réactions chimiques se produisent, l'étude de la résistance des différents matériaux utilisés dans des atmosphères souvent très dures (températures élevées, humidité, pH non neutre) nécessite des études très poussées des phénomènes de corrosion. Le recyclage des éléments combustibles ne peut se faire qu'à l'aide de procédés chimiques complexes qui permettent de séparer les matières valorisables comme l'uranium et le plutonium des déchets comme les actinides mineurs et les produits de fission. Enfin, le développement de procédés chimiques permet d'améliorer la décontamination et remédiation des sites lors de leurs démantèlements. Par le biais de quelques exemples concrets de procédés existants et des recherches qui leur sont associées, cette présentation démontrera si c'est encore nécessaire, l'importance de la chimie dans l'industrie nucléaire.

Mots Clés : procédés, corrosion, déchets, remédiation.

Notre avenir énergétique à long terme se décide aujourd'hui

Patrice. CRIQUI

Université de Grenoble, CNRS-LEDDE

Les prochaines années vont être décisives pour les trajectoires énergétiques de long terme, en France, en Europe et dans le monde. Deux défis majeurs devront être relevés :

1. celui de la raréfaction du pétrole conventionnel, potentiellement génératrice de crises géopolitiques malgré le développement de nouvelles ressources plus chères et encore plus polluantes ;
2. celui de l'accumulation des gaz à effet de serre susceptible d'entraîner des modifications très importantes des climats régionaux et au-delà, des risques d'« évolution non linéaire » du climat global de la planète.

Compte-tenu des constantes de temps extrêmement longues qui caractérisent la durée de construction et de vie des équipements dans le secteur énergétique (au moins un demi-siècle pour des centrales nucléaires, des grands barrages ou des parcs de bâtiments), les décisions qui seront prises dans les prochaines années engagent le futur énergétique pour au-delà de 2050. Cela est vrai dans les pays du Nord, mais encore plus dans les pays émergents qui construisent à grande vitesse leurs infrastructures énergétiques. De la manière dont nous allons gérer dans les toutes prochaines années le double défi de l'énergie dépendra l'état de la planète au XXIème siècle et au-delà...

Le défi des ressources fossiles

En 1945, Paul Valéry écrivait « le temps du monde fini commence », en 1972 c'est le rapport du MIT pour le Club de Rome sur *The Limits to Growth*. Fin 2010 c'est Paul Krugman qui écrit : « Nous vivons dans un monde fini dans lequel les limites de nos ressources deviennent de plus en plus contraintes ». Il est vrai que jusqu'à maintenant le spectre de la pénurie a toujours été repoussé et que l'on a eu tendance à sous-estimer la capacité des grandes entreprises énergétiques à assurer le renouvellement économique, par la technologie, de ressources naturelles qui restent non renouvelables. Cependant :

Pour le Pétrole, certains craignent le pic pétrolier et un déclin rapide de la production entraînant un décrochage brutal de l'offre par rapport à la demande (le pic oil), entre... aujourd'hui et 2020. On a du mal à imaginer ce que seraient les conséquences d'un tel décrochage. Mais déjà les Etats-Unis se sont lancés, après les gaz de schistes, dans la production du pétrole de schistes, ce qui leur a permis de relancer – pour combien de temps ? – une production qui déclinait depuis le début des années soixante-dix. Mais ces pétroles sont coûteux et surtout très sales d'un point de vue environnemental. Ils imposent en quelque sorte une « double peine » environnementale, locale et globale. La combinaison des ces deux tendances – épuisement des ressources conventionnelles et développement des non-conventionnelles – conduit à pronostiquer non pas un pic mais un « plateau ondulé » (autour de 110 Mbj) avec des augmentations brutales de prix, à chaque fois que la croissance de la demande se heurtera aux limites de l'offre.

Pour le Gaz, avant même le développement du pétrole de schiste, la situation du gaz au plan mondial a été bouleversée par le développement des gaz de schistes aux Etats-Unis. Aujourd'hui les gaz de schistes représentent 14% de la production américaine et ce total pourrait monter à 45% en 2035 selon le DOE. Avec pour conséquence que le prix du gaz est aujourd'hui deux fois plus faible aux Etats-Unis que le prix du gaz importé par l'Europe de Russie. En Europe et en France, le débat sur le développement du gaz de schiste, source domestique potentiellement bon marché, mais à forts impacts environnementaux négatifs, ne fait que commencer...

Enfin le charbon est à l'échelle du siècle une source surabondante. Il est disponible en grandes quantités dans les grandes puissances émergentes, Chine, Inde, Afrique du Sud, Indonésie, Russie, (sans compter les Etats-Unis, le Canada, l'Australie...). Il y a malheureusement tout le charbon qu'il faut pour bouleverser le climat de la planète et si la Capture et Séquestration du Carbone n'est pas mise en œuvre à grande échelle, il faut craindre un développement incontrôlé de cette source.

Le défi du changement climatique

On ne reviendra pas sur la querelle entre alarmistes et climato-sceptiques. Il suffit de dire que malgré les incertitudes, d'ailleurs bien notées par les scientifiques du GIEC, toutes les observations et les modélisations indiquent que la température du globe augmente et que cette augmentation est, au moins en partie, anthropique. Si l'on fait confiance au diagnostic des communautés scientifiques compétentes, il convient d'adopter dans ce domaine des politiques de limitation des émissions de GES, au nom d'une « science incertaine mais fiable » (Claude Henry).

Compte tenu de l'analyse des risques il faut donc à la fois gérer la pénurie relative de pétrole et réduire drastiquement les émissions, l'idéal serait de pouvoir diminuer les émissions mondiales d'un facteur 2 en 2050 soit un facteur 4 ou 5 pour les pays industrialisés. Il ne s'agit rien moins que d'un changement de paradigme énergétique à mener en quelques décennies.

Aujourd'hui on peut identifier quatre scénarios structurels (Modèle POLES dans l'étude SECURE pour la Commission Européenne) :

1/ Un scénario sans aucune politique climatique constitue, même s'il reste improbable, reste une référence utile pour l'évaluation, un **Baseline** ; les émissions sont doublées en 2050.

2/ Le scénario aujourd'hui le plus probable, si ce n'est le plus souhaitable pour le climat, serait un scénario d'effort modéré pour la limitation des émissions, sans véritable coordination internationale ; c'est le scénario d'« avancée dans la confusion », ou encore **Muddling Through** ; la croissance des émissions est limitée à 50% par rapport à 2000.

3/ Le scénario le plus souhaitable, mais pas le plus probable aujourd'hui, serait un scénario dit **Global Regime**, de coordination internationale forte et de politiques nationales volontaires pour atteindre la division par deux des émissions mondiales.

4/ Un scénario dit **Europe Alone**, permet d'explorer ce que seraient les conséquences d'une avancée isolée de l'Europe dans la transition énergétique ; la scène globale est peu affectée en termes d'émission et de marché pétrolier, en revanche le système énergétique européen en ressort beaucoup moins vulnérable aux chocs énergétiques.

L'analyse de ces scénarios montre que la transition énergétique vers des systèmes énergétiques « sobres en carbone fossile » telle que décrite dans Global regime devrait conduire :

- à un effort majeur d'efficacité énergétique
- à un mix énergétique combinant de manière assez équilibrée six grandes sources : i. énergies renouvelables intermittentes (avec stockage et smartgrids), ii. biomasse (notamment pour les carburants liquides), iii. nucléaire, cela pour une première moitié non fossile de l'approvisionnement ; pour l'autre moitié il faudra toujours compter sur iv. charbon, v. pétrole et vi. gaz, mais avec une forte proportion de CSC.

On notera que dans ce cas on ne consommera pas les ressources de charbon, pétrole ou gaz disponibles et que le problème de la rareté serait réglé par l'autolimitation de la demande. C'est dans ce contexte qu'il faut analyser l'apport des différentes technologies et disciplines scientifiques à la construction du nouveau paradigme énergétique.

Les Enjeux de la R&D en Chimie pour le domaine des Carburants et des Biocarburants.

Sophie JULLIAN, Xavier LONGAYGUE

IFP Energies nouvelles

En tant que science de la transformation de la matière, la chimie a une grande importance au regard des enjeux énergétiques, qu'il s'agisse de problèmes liés aux ressources pour la production d'énergie (nouvelles matières premières, rendement des procédés) ou de questions relatives à l'impact environnemental (émissions de CO₂ ou de GES, rejets). Parmi les domaines consommateurs d'énergie, celui des transports est celui qui est le plus tributaire des ressources fossiles, car les alternatives possibles sont encore loin d'être significatives au regard des besoins actuels et à venir.

Dans ce domaine des carburants et des vecteurs énergétiques, comme l'hydrogène, où les progrès nécessaires sont immenses et les travaux de recherche en plein essor, la chimie est une discipline-clé pour construire des solutions viables à la fois sur le plan technique et économique. Ses apports seront illustrés par des exemples issus des activités d'IFPEN et seront déclinés autour de 4 thèmes représentatifs :

- les procédés de conversion : pour prendre en charge une diversité de ressources (produits lourds, résidus, gaz, charbon) et répondre aux besoins du marché (gazoles...),
- les technologies permettant de réduire les sources de pollution, afin de respecter et d'anticiper des contraintes réglementaires et législatives de plus en plus sévères : spécifications produits (soufre), émissions des procédés (CO₂, GES),
- la chaîne de traitements et de procédés permettant l'essor de l'utilisation de la biomasse dans la filière de production des carburants : transformation des huiles végétales, transformation de la BLC (déstructuration par voie thermochimique, catalytique...) et des algues, co-traitement biomasse/fossile...,
- les solutions de production d'hydrogène si adaptées à la fourniture de ce vecteur énergétique dans des volumes et des niveaux de qualité compatibles avec différents modes de transport : production en grandes capacités, production décentralisée, purification, production in situ.

Mots Clés : biomasse, carburant, biocarburants, gaz à effet de serre, CO₂.