

Nominations, distinctions

Les Médailles 2013 du CNRS

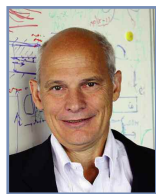
Médaille d'argent



• **Anne Imberty**, directrice de recherche au Centre de recherches sur les macromolécules végétales (UPR 5301, CERMAV Grenoble), pour ses recherches menées sur les glucides relevant du domaine de la glycobiologie structurale, un domaine à l'interface entre la chimie et la glycobiologie. Ses premiers travaux (1985-88) lui ont permis de résoudre la structure des parties cristallines des grains d'amidon et de proposer un arrangement tridimensionnel des constituants amylose et amylopectine. Ces résultats servent toujours de référence dans ce domaine (plus de 250 citations des articles fondateurs). Son intérêt s'est ensuite tourné vers l'analyse conformationnelle de glucides d'intérêt biologique portés par les glycoprotéines et les glycolipides (1988-96). Les outils moléculaires développés à ce propos (champ de force, bases de données) sont toujours très utilisés aux niveaux national et international.

Anne Imberty poursuit ses travaux sur la caractérisation des lectines, des protéines qui interagissent avec les glucides. Elle s'intéresse en particulier aux lectines de pathogènes opportunistes, à la compréhension de leur rôle dans les processus infectieux et à la conception de glycoconjugués pouvant inhiber leur action. Un autre axe original est basé sur une approche d'ingénierie moléculaire de lectines recombinantes pour la production de macromolécules protéiques de valence et de spécificité contrôlée et dirigée vers des oligosaccharides particuliers. Ces néolectines spécifiques pour la recherche trouvent leurs applications en histopathologie (détecteurs de marqueurs de surface, suivi du trafic intracellulaire), diagnostic sur puces et purification de glycoprotéines.

Médaille de l'innovation



• **Ludwig Leibler**, directeur de recherche de classe exceptionnelle au CNRS, directeur du laboratoire Matière Molle et Chimie et professeur associé à l'ESPCI ParisTech, pour ses travaux pionniers fondamentaux dans le domaine de la physique et chimie des polymères. Mondialement connu pour ses contributions essentielles

dans le domaine de la nano-structuration et dynamique des polymères, Ludwik Leibler a su nouer un dialogue permanent avec le monde industriel. Des collaborations étroites, allant jusqu'à la création d'un laboratoire mixte, avec des groupes tels qu'Arkema et Total ont contribué à des innovations de rupture. Il a su inventer des matériaux complètement originaux en combinant une réflexion théorique profonde et le souci d'une exploitation industrielle quasiment intégrée dès la conception. Une de ses dernières découvertes marquantes concerne les caoutchoucs supramoléculaires capables de s'auto-réparer par simple contact après une déchirure complète. Une autre découverte récente concerne une nouvelle classe de matériaux organiques, les vitrimères. Réparables et recyclables, ils sont, comme le verre, façonnables, de manière réversible et à volonté, tout en restant insolubles, légers et résistants. Ludwik Leibler a déposé 47 brevets et publié 177 articles scientifiques.

Médailles de bronze



• **Mathieu Allix**, chargé de recherche au CEMHTI (Conditions Extrêmes et Matériaux : Haute Température et Irradiation, UPR 3079, Orléans), pour ses travaux sur la cristallisation dans les verres d'oxydes qui ont mené à l'élaboration et la caractérisation de nouvelles (vitro)céramiques transparentes développées pour leurs propriétés optiques. Ses recherches ont récemment abouti à la découverte des premières céramiques polycristallines transparentes obtenues par cristallisation complète du verre. Ses thématiques de recherche portent également sur la synthèse et la résolution structurale de nouveaux matériaux polycristallins possédant diverses propriétés électriques, optiques, magnétiques ou biologiques. Les structures cristallines sont déterminées en couplant les apports de la diffraction sur poudre et de la microscopie électronique en transmission avec des informations à l'échelle locale obtenues par RMN du solide par ses collègues du laboratoire.



• **Isabel Alves**, chargée de recherche au CBMN (Chimie et Biologie des Membranes et des Nano-objets, UMR 5248, Université Bordeaux 1 Sciences et Technologies), pour ses travaux sur le mode d'action et interaction avec la membrane cellulaire des

peptides membranotropes (pénétrants (CPP), antimicrobiens, amyloïdes et viraux), pour lesquels elle utilise une approche biophysique et des systèmes lipidiques modèles afin de mimer la membrane cellulaire. En parallèle, elle développe la technique de résonance plasmonique aux ondes guidées (PWR : « plasmon waveguide resonance »), notamment pour pouvoir travailler dans la gamme IR, et le couplage du PWR avec des mesures d'impédance. Elle a bénéficié pour cela (entre autres) d'un financement régional.



• **Danielle Laurencin**, chargée de recherche à l'Institut Charles Gerhardt de Montpellier (UMR 5253), pour ses travaux sur la synthèse et la caractérisation de matériaux hybrides avec des acides boroniques. Son programme de recherche porte également sur le développement et l'application de techniques RMN pour la caractérisation de biomatériaux inorganiques et hybrides, avec en particulier l'utilisation de la RMN de noyaux difficiles (Ca, Mg et Sr). Un autre point concerne l'étude de l'incorporation d'iodates dans les apatites, dans la perspective de développer de nouvelles voies de conditionnement de l'iode radioactif.

• **Géraldine Masson**, chargée de recherche à l'Institut de Chimie des Substances Naturelles (UPR 2301, ICSN Gif-sur-Yvette), pour le développement de nouvelles méthodologies de synthèse, concernant de nouvelles transformations photoredox et des réactions multicomposants, avec un intérêt particulier pour la mise au point de stratégies plus efficaces et plus sélectives de création de liaisons C-C, C-N et C-S entre différentes entités fonctionnalisées. Ses travaux concernent également les transformations catalytiques énantiosélectives (organocatalyse, catalyse métallique et développement de nouveaux catalyseurs chiraux organiques). Les méthodes développées au laboratoire trouvent leurs applications dans la synthèse de produits biologiquement actifs, naturels ou non.



• **Jean-Baptiste Salmon**, chargé de recherche au Laboratoire du Futur (UMR 5558, LOF, Rhodia, Pessac), pour ses travaux dans le domaine de l'instrumentation microfluidique. Il développe et utilise des outils microfluidiques spécifiques pour sonder divers phénomènes hors équilibre : séchage

de fluides complexes, nucléation et croissance en solution, diffusion et réaction chimique...



• **Michel Sliwa**, chargé de recherche à l'Université de Lille 1, Sciences et Technologies (Laboratoire de Spectrochimie Infrarouge et Raman (LASIR), UMR 8516), pour ses travaux dans le domaine de la spectroscopie femtoseconde (UV-visible-IR) où il se consacre à la compréhension de la dynamique des processus photoinduits élémentaires dans des systèmes moléculaires photoactifs et photocommutables, en particulier à l'échelle du matériau (polymères, cristaux, nanoparticules), pour diverses applications potentielles (bioimagerie, mémoires optiques, conversion de l'énergie solaire). Ses nouveaux projets consistent à développer de nouvelles microscopies de fluorescence femtoseconde super-résolues spatialement (sous la limite de la diffraction).

La Médaille d'argent distingue un chercheur pour l'originalité, la qualité et l'importance de ses travaux, reconnus sur le plan national et international ; la Médaille de bronze récompense le premier travail d'un chercheur, qui fait de lui un spécialiste de talent dans son domaine, et représente un encouragement du CNRS à poursuivre des recherches bien engagées et déjà fécondes.

Créée en 2011, la Médaille de l'innovation honore des recherches scientifiques exceptionnelles ayant conduit à une innovation marquante sur le plan technologique, thérapeutique ou sociétal et valorisant ainsi la recherche scientifique française. Chaque année, un jury décerne entre une et cinq médailles à des chercheurs et ingénieurs du CNRS, d'autres organismes de recherche, des universités et des grandes écoles, ou encore à des industriels très engagés dans des actions de recherche.

Jean M.J. Fréchet Japan Prize 2013



© The Japan Prize Foundation.

Le Japan Prize est attribué chaque année, dans deux domaines différents, à des scientifiques qui ont contribué de manière significative à l'avancement des sciences et de la technologie, pour le bien-être de l'humanité.

Cette année, dans le domaine « Materials and production », le prix a été décerné à **C. Grant Willson**, professeur de chimie et de génie chimique (University of Texas, Austin), et **Jean M.J. Fréchet**, vice-président de la Research King Abdullah University of Science and Technology (KAUST, Arabie Saoudite), pour leur contribution exceptionnelle dans l'amplification chimique des matériaux polymères appliquée à la fabrication de semi-conducteurs.

En repoussant la limite de finesse de gravure des semi-conducteurs, ce procédé permet de suivre la loi de Moore qui stipule que la densité des transistors sur les circuits intégrés double environ tous les deux ans. Utilisé pour presque tous les microprocesseurs et puces à mémoire électronique intégrés dans les ordinateurs, les téléphones mobiles ou les voitures, ce procédé contribue de manière significative au développement de notre société moderne dans le domaine de l'information.

Jean M.J. Fréchet, lyonnais d'origine – il est ingénieur chimiste de l'Institut de Chimie et Physique Industrielles de Lyon – a fait sa carrière au Canada (Ottawa) et aux États-Unis (Cornell, Berkeley). Rappelons qu'il fut l'un des conférenciers du congrès de la SCF en 2007 (SCF'07, Paris) et du 2^e Congrès EuCheMS de chimie (Turin, 2008).

• www.japanprize.jp/en/laureates_by_year.html

Recherche et développement

Explorer la structure d'un supercondensateur... et l'améliorer !

Les supercondensateurs sont des appareils de stockage de l'électricité différents des batteries. Contrairement à ces dernières, leur charge est beaucoup plus rapide (le plus souvent en quelques secondes) et ils ne subissent pas d'usures aussi rapides liées aux charges/décharges. En revanche, à taille égale et bien qu'offrant une plus grande puissance, ils ne peuvent pas stocker autant d'énergie électrique (les supercondensateurs à base de carbone fournissent une densité d'énergie d'environ 5 Wh/kg et les batteries lithium-ion de l'ordre de 100 Wh/kg). On retrouve les supercondensateurs dans la récupération de l'énergie de freinage de nombreux véhicules (voitures, bus, trains), ou encore pour assurer l'ouverture d'urgence de l'Airbus A380. En freinant, le

bus le recharge, et à l'arrêt, il peut fournir l'électricité permettant d'ouvrir les portes du bus : voilà une des utilisations du supercondensateur !

Un supercondensateur stocke l'électricité grâce à l'interaction entre des électrodes en carbone nanoporeux et des ions qui se déplacent dans un liquide appelé électrolyte. Lors de la charge, les anions sont remplacés par des cations dans l'électrode négative et inversement. Plus cet échange est important et plus la surface de carbone disponible est élevée, plus la capacité du supercondensateur grandit.

Bien qu'utilisé dans la vie courante, cet appareil de stockage de l'électricité à une organisation et un fonctionnement moléculaires qui n'avaient jamais été observés jusqu'à présent. Grâce à la RMN, des chercheurs ont exploré pour la première fois les réarrangements moléculaires à l'œuvre dans des supercondensateurs commerciaux en fonctionnement. Ils sont allés plus loin dans cette description et, chose unique, ils ont pu quantifier dans quelle proportion se font les échanges de charges sur deux supercondensateurs utilisant des carbones commerciaux. En comparant deux carbones nanoporeux, ils ont pu ainsi mettre en avant que le supercondensateur comportant le carbone avec une structure la plus désordonnée offrait une meilleure capacité et une meilleure tolérance aux tensions les plus élevées. Ceci serait dû à une meilleure répartition des charges électroniques au contact des molécules de l'électrolyte.

Ces résultats sont le fruit de la collaboration de deux équipes orléanaises : l'une au CEMHTI* du CNRS, spécialiste de la RMN et membre du Réseau français sur le stockage électrochimique de l'énergie (RS2E)**, l'autre au Centre de recherche sur la matière divisée (CNRS/Université d'Orléans), qui est centrée sur l'étude de nouveaux matériaux carbonés pour les supercondensateurs. Cette complémentarité permet aujourd'hui la mise au point d'une technique qui offre, tant aux laboratoires de recherche qu'aux entreprises, un véritable outil pour l'optimisation des matériaux des supercondensateurs du futur [1].

* Source : CNRS, 17/02/13.

[1] Deschamps M., Gilbert E., Azais P., Raymundo-Piñero E., Ammar M.R., Simon P., Massiot D., Béguin F., Exploring electrolyte organization in supercapacitor electrodes with solid-state NMR, *Nature Materials*, 2013, 12, p. 351.

* Laboratoire « Conditions extrêmes et matériaux : haute température et irradiation ».

** www.energie-rs2e.com

Le double rôle des bactéries dans la chimie des nuages



© magann/Fotolia.

Des chercheurs de l'Institut de Chimie de Clermont-Ferrand (CNRS/ Université Blaise Pascal), en collaboration avec le Laboratoire de Météorologie physique (CNRS/ Université Blaise Pascal), viennent pour la première fois de montrer que la composante biologique devra dorénavant être prise en compte dans les modèles de chimie atmosphérique [1]. Comprendre les nuages et la chimie dont ils sont le siège est un enjeu majeur car, outre un aspect fondamental, la description des processus chimiques et physiques sont à la base de modèles numériques qui permettent d'alimenter des modèles globaux de la prévision du climat. Or actuellement, ces prévisions comportent de nombreuses incertitudes, dont la plus grande est liée aux nuages. La chimie des nuages est encore mal connue car elle est multiphasique (phases aqueuse, gazeuse et solide), donc extrêmement complexe. Si l'on regarde uniquement la phase aqueuse du nuage (gouttelette d'eau), on observe des processus de dissolution des aérosols (composés chimiques solides), des échanges de composés volatils entre l'air et l'eau et une réactivité très intense au sein de la gouttelette. Depuis plus de trente ans, les scientifiques de l'atmosphère n'ont considéré que des réactions purement abiotiques (sans intervention biologique) de type radicalaire qui aboutissent à la dégradation de la matière organique carbonée. Un des radicaux majeurs impliqué dans cette chimie est le radical hydroxyle °OH. Les radicaux °OH produits à partir d'eau oxygénée (H₂O₂) par voie photochimique ou par réaction avec des métaux comme le fer oxydant et dégradent la matière organique.

L'histoire remonte aux années 2005 lorsque les chercheurs ont pour la première fois montré que des micro-organismes vivants métaboliquement actifs étaient présents dans les nuages et pouvaient potentiellement transformer



Erratum

Les lecteurs attentifs auront probablement localisé quelques erreurs dans l'article « La valorisation chimique du CO₂ : les conditions du sens » paru dans le numéro 371-372 (p. 35-39). Ces erreurs se situent au tableau I et page 38, bas de la 2^e colonne, au paragraphe concernant le réformage sec du méthane. Il convient tout d'abord

de rectifier le coefficient de l'hydrogène dans l'équation de bilan de la synthèse Fisher-Tropsch au tableau I et page 38, pour arriver au rapport H/C = 2,3 en moyenne pour la distribution d'alcane produite par la synthèse :



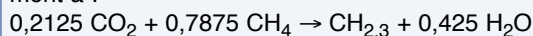
Ensuite, le bilan global de l'enchaînement du réformage sec, de la conversion du gaz à l'eau pour une fraction du CO produit, puis de la synthèse Fischer-Tropsch, doit respecter la conservation de chaque élément. Une écriture générale comme :



impose les contraintes :

$$y = 2x ; x + z = 1 ; 4z = 2,3 + 2y$$

La solution de ce système de trois équations à trois inconnues conduit finalement à :



Si CO₂ est émis par combustion de gaz naturel, ΔG_C vaut à présent 238,6 kJ.mol⁻¹, et le critère zy s'établit à 1,39. La conclusion n'est pas modifiée.

Les auteurs prient les lecteurs de bien vouloir excuser ces fautes d'inattention commises il est vrai dans un contexte un peu bousculé.

des composés organiques contenus dans les gouttes d'eau *via* leur métabolisme. L'accès à l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand (OPGC) sur le puy de Dôme (1 465 m), site exceptionnel et labellisé au niveau européen pour l'étude des nuages, a permis de prélever des échantillons d'eau nuageuse et d'identifier près de 700 souches microbiennes. Grâce à ces souches, les chercheurs ont pu élaborer des expériences en laboratoire pour tester le rôle des micro-organismes dans la chimie atmosphérique.

En réalisant des échantillons d'eau nuageuse contenant l'ensemble de la biodiversité microbienne et des composés chimiques, l'équipe clermontoise a pu montrer que l'activité des micro-organismes dans la dégradation de la matière organique était du même ordre de grandeur que les réactions photochimiques et les réactions radicalaires non photochimiques. De plus, les micro-organismes métabolisent H₂O₂ (pour la transformer en H₂O et O₂), qui est la source de formation des radicaux °OH. Ils diminuent donc le potentiel de formation de ces radicaux et de manière indirecte, l'efficacité des réactions radicalaires. Les résultats montrent pour la première fois que des bactéries contenues dans les nuages sont capables de dégrader l'eau oxygénée. Les mesures ont enfin montré que la présence de radicaux ne changeait pas l'état énergétique des cellules qui restent pleinement actives.

• Source : CNRS, 11/02/13.

[1] Vaïtilingom M., Deguillaume L., Vinatier V., Sancelme M., Amato P., Chaumerliac N., Delort A.-M., Potential impact of microbial activity on the oxidant capacity and organic carbon budget in clouds, *Proc. Natl. Acad. Sci. (USA)*, 2013, 110, p. 559.

Température et pression négatives : le monde à l'envers ?

La température « absolue » peut-elle être négative ?

Les théories de la physique nous font voir un monde différent de celui que nous avons appris à connaître avec nos cinq sens. Notre « bon sens » est quelquefois bouleversé par des résultats issus de ces théories. Bien entendu, les physiciens sont toujours prêts à remettre en cause leurs modèles pour tenir compte d'une donnée nouvelle. Einstein et Maxwell nous ont convaincus que la vitesse de la lumière ne peut être dépassée. Grand émoi fut alors causé lorsque des chercheurs du CERN ont annoncé avoir détecté des neutrinos plus rapides. Mais une erreur dans le dispositif de mesure a vite été détectée et la vitesse de la lumière reste jusqu'à nouvel ordre infranchissable.

En sera-t-il de même du zéro absolu de l'échelle des températures ?

Dans la vie quotidienne, la température est associée à la sensation de chaleur et à des phénomènes observables comme la fonte de la glace et l'ébullition de l'eau, bases de l'échelle de Celsius. Après l'observation directe, la compréhension : avec le premier principe de

la thermodynamique, qui relie l'énergie aux échanges de chaleur, la température traduit un phénomène physique, l'agitation des particules, et plus précisément leur énergie cinétique. Une nouvelle échelle, dite de Kelvin, a alors défini le zéro absolu comme la température de la matière lorsque les particules ont une énergie cinétique nulle et ne peuvent plus être refroidies.

Sadi Carnot a généralisé l'idée que la chaleur ne passe jamais spontanément d'un corps chaud à un corps froid, à l'origine du deuxième principe de la thermodynamique, envoyant aux oubliettes le rêve du moteur perpétuel. Pour décrire ces phénomènes, Clausius inventa une nouvelle grandeur physique, l'entropie. Assimilée à une mesure du « désordre » d'un système puis d'un nombre d'états microscopiques, elle fut associée à l'irréversibilité des transformations, voire même à la flèche du temps. La température d'un système correspond alors au rapport entre la quantité d'énergie infinitésimale apportée et l'augmentation de l'entropie qui en résulte. Une augmentation de l'énergie sous forme de chaleur (autrement dit d'énergie cinétique des particules) conduit toujours à une augmentation de l'entropie, et la température est donc toujours positive.

Alors comment imaginer qu'une température puisse être négative ? Il nous faut pour cela écouter la mécanique quantique.

Une des grandeurs familières au chimiste est le spin nucléaire, un vecteur qui s'oriente dans un champ magnétique. Cette propriété, découverte dans les années 1950, est à la base de la RMN, de l'IRM et des innombrables progrès qui en ont résultés dans la connaissance de la matière, comme des sciences du vivant. Imaginons un système constitué d'une assemblée de spins orientés tous dans le même sens et dont l'énergie est minimale, et supposons que cette assemblée se comporte comme un système isolé, c'est-à-dire que les atomes n'échangent pas d'énergie sous une autre forme, notamment d'énergie cinétique. Un apport d'énergie par un champ magnétique fera changer les particules de sens. Le désordre passe par un maximum lorsque la moitié des particules sont dans un sens et l'autre moitié dans l'autre sens, puis il diminue, alors que l'énergie continue d'augmenter, jusqu'à ce que toutes les particules soient alignées dans l'autre sens : c'est alors que la « température de spin » devient négative, puisque l'entropie du système diminue tandis que son énergie augmente.

Des physiciens de l'Université Louis Maximilien de Munich et de l'Institut d'optique quantique Max Planck, travaillant sur des températures proches du zéro absolu, ont créé en laboratoire un gaz d'atomes de potassium 39 qu'ils ont pu amener à des températures négatives [1], et à des pressions négatives, c'est-à-dire que les atomes s'attirent. Ce phénomène est local et transitoire puisque les atomes sont maintenus dans une « grille » par un faisceau laser limitant leurs énergies cinétiques et potentielles.

Simple jeu intellectuel ? Paradoxe mathématique résultant d'une transposition à des systèmes de gaz quantiques d'une théorie thermodynamique conçue à partir du modèle des gaz parfaits ? Ou approche expérimentale d'un phénomène physique de portée cosmologique qui sous-tend un Univers dont la nature échappe de plus en plus au sens commun ? Les pressions négatives observées en laboratoire ont-elles une relation avec les pressions négatives utilisées dans la description de la matière noire de l'Univers ?

Dans les années 1950 fut découverte la correspondance entre l'entropie mathématique de Shannon et l'entropie de Clausius. Dans les années 1970, Stephen Hawking et ses collaborateurs purent élaborer des analogies entre les lois mathématiques régissant l'évolution des trous noirs et celles de la thermodynamique. Rappelons-nous également que l'invention, au XVI^e siècle, de la racine carrée de nombres négatifs, qui a pu paraître un jeu intellectuel séduisant mais stérile, a permis de créer les nombres complexes, outils mathématiques puissants pour l'électrodynamique et la connaissance des phénomènes ondulatoires.

Alors, des températures négatives, voire des grandeurs thermodynamiques complexes n'ouvriront-elles pas des espaces nouveaux pour les nanotechnologies ?



Bernard Commère,
Ingénieur général
des Ponts, des Eaux
et des Forêts

[1] Braun S. *et al.*, Negative absolute temperature for motional degrees of freedom, *Science*, 2013, 339(6115), p. 52.

Science Award Electrochemistry 2013

Appel à candidatures

Lancé par BASF et Volkswagen l'an dernier, ce prix international d'un montant de 50 000 € récompense des travaux dans le domaine du stockage

électrochimique (batteries haute performance).

Le prix 2012 avait été attribué à Naoaki Yabuuchi (Tokyo University of Science, Institute for Science and Technology) pour ses recherches sur de nouveaux matériaux permettant d'améliorer l'efficacité des batteries lithium-ion et sodium-ion.

• **Date limite de réception des candidatures : 15 juin 2013.**
www.science-award.com

Recommandations IUPAC

Trois nouvelles recommandations de l'Union de chimie pure et appliquée attendent vos commentaires :

- « Glossary of terms used in computational drug design, Part II »

www.iupac.org/fileadmin/user_upload/publications/recommendations/2013/martin_prs.pdf

Date limite : 31 mai 2013.

- « Abbreviations of polymer names and guidelines for abbreviating polymer names »

www.iupac.org/fileadmin/user_upload/publications/recommendations/2013/he_prs.pdf

Date limite : 31 mai 2013.

- « Definitions of terms relating to individual macromolecules, macromolecular assemblies, polymer solutions and amorphous bulk polymers »

http://media.iupac.org/reports/provisional/abstract13/stepto_prs.pdf

Date limite : 30 juin 2013.

Industrie

Bonne résistance de la chimie en 2012

Le 21 mars dernier, jour de bouclage de ce numéro, l'Union des Industries Chimiques (UIC) tenait sa conférence de presse annuelle pour présenter le bilan 2012 de l'industrie chimique française et les perspectives pour l'année à venir.

Après une année de stabilisation, le secteur devrait connaître une croissance modérée en 2013, avec un redressement attendu en fin d'année. Pour Philippe Goebel, président de l'UIC, pour une évolution positive à long terme, il est néanmoins crucial que dans le débat sur la **transition énergétique** impliquant les acteurs et le grand public qui se déroule actuellement (de mars à juin), on laisse les moyens à l'industrie de réussir cette transition, et notamment à la chimie, incontournable dans ce domaine. Il est « *nécessaire que le gouvernement saisisse l'urgence d'une politique de baisse des prix de l'énergie afin de ne pas placer durablement l'industrie chimique en France en situation de désavantage compétitif par*

rapport à ses principaux concurrents. » Nous reviendrons plus en détail sur ce bilan dans le prochain numéro.

Un plan opérationnel pour la filière « Chimie et Matériaux »

Arnaud Montebourg, ministre du Redressement productif, a présidé le 4 février dernier à Lyon le Comité stratégique de la filière « Chimie et Matériaux »*, en présence de Philippe Goebel, président de l'UIC et vice-président du Comité stratégique de filière. Le contrat validé lors de cette réunion comporte dix engagements portant sur **six facteurs déterminants pour le maintien et le développement des activités de la filière** :

- **Maîtriser le coût de l'énergie** : un facteur essentiel pour la filière qui est le premier consommateur industriel de gaz et d'électricité. Le contrat de filière prévoit un soutien aux cogénérations industrielles ainsi que l'amélioration de l'efficacité énergétique de la filière.

- **Développer l'accès aux matières premières à un coût compétitif** : un élément nécessaire pour la filière qui est une industrie de transformation de la matière. Le contrat fixe l'objectif de permettre le développement en France d'une filière de recyclage des matières plastiques.

- **Attirer et former les compétences nécessaires** : un facteur fondamental pour les entreprises de la filière. Les actions décidées visent à favoriser le développement de l'apprentissage.

- **Moderniser les outils industriels et favoriser le développement des plates-formes** qui rassemblent sur un même site plusieurs entreprises, permettant de partager ressources et moyens : deux actions nécessaires pour renforcer les entreprises de la filière dans la compétition mondiale.

- **Renforcer l'innovation** : un facteur primordial pour la filière, afin d'être en mesure de développer les produits répondant aux nouveaux besoins des entreprises clientes. Un comité de l'innovation sera mis en place pour que les besoins en produits innovants soient mieux identifiés par les industries de la filière chimique. Par ailleurs, la création d'un centre technique dans le domaine de la plasturgie est à l'étude.

- **Aider les PME et ETI à se financer en fonds propres** : un des moyens pour favoriser leur développement ; à cette fin, la création d'un fonds d'investissement sectoriel « chimie et matériaux » va faire l'objet d'une étude de faisabilité en vue d'une mise en place à la fin de l'année 2013.

Lors de la réunion, les acteurs de la

filrière ont mis un accent particulier sur **l'importance d'un accès fiable à une énergie compétitive** pour la pérennité et le développement des entreprises, les prix du gaz étant plus de trois fois inférieurs aux États-Unis (en Europe, d'autres pays ont pris d'importantes mesures pour soutenir leurs industriels forts consommateurs d'électricité) – des éléments qui doivent pleinement s'inscrire dans le débat sur la transition énergétique.

Par ailleurs, Arnaud Montebourg a indiqué souhaiter qu'à l'instar de l'Italie, la France favorise l'utilisation de sacs plastiques biodégradables pour tous les sacs à usage unique. Les industriels pourront ainsi développer une base de production française de ces sacs biodégradables, générant de nouveaux investissements et de nouveaux emplois. Un chantier est engagé dans ce sens, dans le cadre de la politique de relocalisation voulue par le ministre du Redressement productif.

* Source : Ministère du Redressement productif, 04/02/13.

* La filière « Chimie et Matériaux » réunit près de 8 000 entreprises qui emploient plus de 400 000 personnes et embauchent 15 000 personnes chaque année. En 2011, elle a réalisé un chiffre d'affaires de 140 milliards d'euros (dont 67 Md€ à l'export). La recherche et le développement représentent un investissement de 3 Md€ chaque année.

Arkema : toujours en progression

Malgré des conditions de marché plus difficiles qu'en 2011, liées aux difficultés économiques en Europe, à une croissance plus faible qu'attendue en Asie et au prix des matières premières élevé, Arkema a annoncé de bons résultats 2012 : un chiffre d'affaires en hausse de 8,4 % (6,4 Md€), avec une marge d'EBITDA qui reste parmi les plus élevées de l'industrie (15,6 %), et un résultat net de 441 M€ – des « *résultats en ligne avec nos perspectives* » a annoncé Thierry Le Hénaff, PDG du groupe, lors de la conférence de presse annuelle.

Le groupe a bénéficié en 2012 de l'environnement économique solide des États-Unis dû aux faibles coûts d'accès à l'énergie, de l'impact positif des taux de change, de son implantation dans les pays émergents, et surtout de son bon positionnement sur les marchés en pleine croissance – produits écodurables (allègement des matériaux, produits biosourcés, traitement de l'eau...) – et sur les marchés liés à l'évolution démographique et à la hausse du niveau de vie (super absorbants pour couches culottes, arts graphiques, nutrition animale...).

Avec 33 % de ses ventes (et des marges à un niveau historiquement haut) dans les matériaux de performance (polymères techniques, peroxydes organiques, filtration et adsorption), 33 % dans les spécialités industrielles (PMMA, gaz fluorés, thiochimie, peroxyde d'hydrogène), et 34 % dans le secteur des revêtements (monomères acryliques, résines et additifs de rhéologie), le groupe affiche un bon équilibre : 40 % des ventes en Europe, 34 % en Amérique du Nord, 26 % en Asie et le reste du monde – les contributions attendues des acquisitions (Hipro et Casda en Chine pour les polyamides 10 biosourcés et les alcoxylats) et le démarrage du projet thiochimie en Malaisie prévu pour 2014 devraient contribuer à une amélioration des ventes dans ce secteur géographique.

Arkema bénéficie aussi de la diversité de ses marchés : biens de consommation (22 % : santé, hygiène et beauté, bien-être, sports et loisirs, emballage, textile...), industries chimique et plastique (16 %), revêtements industriels (13 %), peintures décoratives (12 %), transport, énergies (6 %, grâce aux nouvelles énergies : photovoltaïque, batteries...), construction, nutrition, électronique, traitement de l'eau...

Pour l'année 2013, le groupe prévoit des conditions de marché toujours contrastées : environnement solide en Amérique du Nord, contexte toujours difficile en Europe (demande faible dans le photovoltaïque et dans l'automobile au 1^{er} semestre), amélioration progressive de la croissance en Asie où les premiers signes sont déjà perceptibles en Chine.



Unité d'acide acrylique sur le site de Carling Saint-Avold. © Arkema.



Zone de stockage et d'extraction du soufre sur le site de Lacq. © Isy Schwart C./Arkema.

Les priorités se portent sur les investissements pour soutenir la croissance (500 M€ : « un chiffre record ») : aux États-Unis, un plan de 110 M\$ dans les acryliques ; en Chine, augmentation des capacités (PVDF Kynar® et gaz fluorés HFC-125, PA 10), une nouvelle unité d'émulsions, de nouvelles synergies dans les résines de revêtement ; poursuite de la construction de la plateforme de thiochimie en Malaisie.

En France, et malgré le contexte fragile, 150 à 200 M€ sont investis pour renforcer la présence industrielle du groupe : démarrage d'une nouvelle unité d'acryliques à Carling, finalisation du développement de l'électrolyse à membrane sur le site de Jarrie, mise en œuvre du plan pour sécuriser l'approvisionnement en soufre du site de Lacq (thiochimie) pour les trente prochaines années. Des réflexions sont toujours en cours sur le site de Pierre Bénite (polymères fluorés).

Malgré le contexte, « 2012 aura été une belle année », et la stratégie du groupe lui permet de rester confiant pour suivre sa feuille de route 2016.

Thierry Le Hénaff a en outre rappelé que la R & D, toujours très présente en France (75 %) est au cœur de la stratégie de croissance d'Arkema, dans de nombreux domaines : produits biosourcés (procédé métathèse), allègement des matériaux (thermopolymères, composites PEKK), traitement de l'eau (membranes hydrophiles), électronique organique (capteurs piézoélectriques), nouvelles énergies (batteries soufre). De nombreux projets de rupture avec effets au-delà de 2016 devraient être annoncés dans les prochains mois.

Roselyne Messal

• Source : conférence et dossier de presse, 28/02/13.

Air Liquide : croissance soutenue en 2012

Malgré le ralentissement économique mondial en 2012, Air Liquide, le leader mondial des gaz pour l'industrie, la santé et l'environnement⁽¹⁾, continue d'afficher un bilan solide et une performance régulière : chiffre d'affaires de 15,3 Md€ – en hausse de 6 %, conforme à leur moyenne depuis trente ans –, de bonnes marges, pour un résultat net de + 4,9 % – un chiffre légèrement en baisse dû aux acquisitions et aux investissements (+ 14 %). Comparé à 2008, année de crise, le groupe a augmenté son niveau d'activité de 20 %. Une belle performance, due en particulier à la hausse démographique et à la baisse du prix du gaz aux États-Unis,

deux tendances de fond dont Air Liquide a tiré profit.

L'année 2012 a été marquée par une poursuite de l'expansion dans les économies en développement, par les nouveaux projets (en Russie, Chine, Pologne, Brésil, Qatar, Mexique, Afrique du Sud), par une croissance soutenue dans le secteur de la grande industrie (demande d'hydrogène en Asie et aux États-Unis pour le raffinage et la chimie), la progression du pôle santé (acquisitions en Europe), et par des avancées technologiques (cryogénie extrême et spatial : lanceur Ariane, ITER). Le secteur de la santé – l'un des plus vieux métiers du groupe, avec aujourd'hui 1 million de patients à domicile et + 34 % de locations de bouteilles de nouvelle génération – a bénéficié en Europe de 1 850 M€ d'investissements.

L'activité « gaz et services » – la première du groupe, qui englobe les gaz pour la grande industrie, l'industriel marchand, la santé et l'électronique – a



Depuis des échantillons de quelques grammes pour la R & D avancée jusqu'aux tonnes de précurseurs pour les oxydes à basse constante diélectrique, la ligne de produits ALOHA™ comprend l'ensemble des précurseurs avancés de CVD (dépôt en phase vapeur) et d'ALD (dépôt de couche atomique) utilisés pour les technologies sub-130 nm. Air Liquide Japan Advanced Material Center. © Laurent Tesseire/Air Liquide.



Station de distribution d'hydrogène Air Liquide à Düsseldorf. © Air Liquide Deutschland.

progressé de + 6,5 % (13,9 Md€ de CA, dont 50 % en Europe), avec un signe positif au 4^e trimestre dû aux économies en développement (+ 14 %). Le pôle « ingénierie et construction » (CA de 78 M€, + 11,3 %) a bénéficié d'une prise de commandes record dans le secteur de l'ingénierie (+ 69 %), de bonne augure pour les perspectives à long terme.

Le groupe a prévu des investissements qui s'élèvent à 2,9 Md€, au plus haut niveau depuis 2007 (démarrage de dix-sept nouvelles unités et mise en service de cinquante autres attendue dans les deux prochaines années). L'innovation fait aussi partie des choix stratégiques d'Air Liquide qui consacre par an près de 2 % de son chiffre d'affaires à la recherche et à la technologie pour assurer la croissance sur le long terme dans les domaines de la santé, de l'environnement, de l'énergie et des hautes technologies. Environ 300 brevets sont déposés par an (presque un par jour !) et 70 % de sa force de recherche restent positionnés en France (60 % des projets menés le sont en collaboration avec des partenaires public-privé).

Dans le marché de l'électronique – un domaine en constante évolution, avec un marché en très forte croissance –, on s'attend à la vente de 300 millions de tablettes en 2015 ; Air Liquide est ici très bien positionné, en particulier en Asie, avec des précurseurs avancés pour semi-conducteurs⁽²⁾. Dans le marché de la mobilité, l'hydrogène reste une alternative intéressante (plus grande autonomie). Si les Français restent plus timides de ce côté, des programmes se développent avec succès en Allemagne, au Japon... On estime à 1,6 millions de véhicules « H2 » sur les routes britanniques en 2030.

À court terme – sauf dégradation de l'environnement économique –, le groupe est confiant dans sa capacité à réaliser une nouvelle année de croissance, qui devrait être modérée dans les marchés historiques (Europe et Japon), mais plus dynamique dans les nouveaux marchés à forte croissance. Investissements, innovation et compétitivité devraient continuer à porter leurs fruits et le groupe n'est pas inquiet à moyen terme (4-5 ans). Lors de la présentation des résultats annuels, le PDG d'Air Liquide, Benoît Potier, a annoncé ainsi le relèvement des objectifs du plan stratégique (+ 30 % d'ici 2015). Par ailleurs, une réflexion est menée sur une réorganisation progressive du groupe avec quatre bases géographiques centrées sur ses marchés : Houston (énergie et Amériques), Paris

La loi ESR : le projet du gouvernement

Un communiqué de presse émanant du cabinet de la ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche annonce, le 25 février dernier, le vote du projet de loi par le CNESER (Conseil national de l'enseignement supérieur et de la recherche). La prochaine étape sera sa présentation et son examen en Conseil des ministres, le 20 mars.

L'exposé détaillé des motifs est accessible sur Internet depuis le 13 février. Il souligne que notre avenir, dans un monde en pleine mutation, dépend de nos savoirs et la loi (la septième en cinquante ans, mais la première qui lierait l'enseignement supérieur à la recherche) doit répondre aux attentes des Français, à propos de leurs universités, écoles et centres de recherche. Ce « nouveau modèle français » s'appuie sur quatre axes :

- offrir de meilleures chances de réussite à tous les étudiants, miser sur les innovations pédagogiques pour assurer la transmission et améliorer leur orientation comme leur insertion professionnelle ;
- donner un nouvel élan et une meilleure visibilité à la recherche française, avec un agenda stratégique de la recherche permettant de répondre aux défis sociétaux et économiques ;
- renforcer la coopération entre tous les acteurs et réduire la complexité institutionnelle, concilier collégialité et efficacité ;
- amplifier la présence de la recherche française dans les programmes européens et le rayonnement international de nos universités, écoles et laboratoires.

La culture scientifique et technique dès le plus jeune âge, essentielle pour familiariser les enfants avec la science et les attirer dans ses filières, sera abordée en 2013 dans d'autres projets de loi.

L'agenda stratégique de la recherche devrait être inscrit dans la loi et ses priorités définies en harmonie avec celles du programme européen Horizon 2020 qui cible dans cette période : la santé, le changement démographique et le bien-être ; la sécurité alimentaire et la bioéconomie ; une énergie propre, sûre et efficace ; la mobilité et les systèmes urbains durables ; la gestion sobre des ressources et le changement climatique ; des sociétés innovantes, intégrantes et adaptatives ; la sécurité en Europe ; ainsi que les thèmes transversaux comme les sciences humaines et sociales et le numérique ; et les technologies associées (biotechnologies, micro- et nanoélectronique, matériaux...).

Cette stratégie de recherche sera coordonnée par le Ministère, sous la responsabilité d'un Conseil stratégique de la recherche placé auprès du Premier ministre. Ce Conseil s'appuiera sur les compétences des Alliances thématiques, sur une mission transversale confiée au Centre national de la recherche scientifique (CNRS), organisme de recherche présent dans toutes les Alliances, et sur l'expertise de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techniques, associé en amont et en aval.

Il est prévu une simplification globale des structures et de leurs modalités de financement et d'évaluation, avec l'objectif de couvrir l'ensemble du territoire national par une trentaine de fédérations d'universités et d'écoles. Les fondations pour la recherche seront encouragées à se rassembler sur une base territoriale. Les établissements publics de coopération scientifique (EPCS) seront transformés en communautés scientifiques, nouvelle catégorie d'établissements publics à caractère scientifique, culturel et professionnel (EPSCP). En pratique, les pôles de recherche et d'enseignement supérieur (PRES) et les réseaux thématiques de recherche avancée (RTRA) seront supprimés, le CNESER et le Conseil supérieur de la recherche et de la technologie fusionnés, et le nouveau doté de compétences beaucoup plus effectives vis-à-vis de la recherche et de l'enseignement supérieur.

L'allègement des charges administratives qui encombrant l'agenda des chercheurs a pour objectif d'assurer à la recherche fondamentale la sérénité et la confiance nécessaires à son travail de moyen et long terme ; les financements de la recherche seront rééquilibrés au bénéfice du financement récurrent des laboratoires, tandis que la durée des contrats opérés par l'Agence nationale de la recherche (ANR) sera allongée.

Enfin, afin de résorber la précarité qui s'est développée dans les laboratoires, 2 100 postes de fonctionnaires par an devraient être ouverts dans les quatre ans à venir pour les chercheurs déjà présents sous statut précaire et un dispositif réglementaire, déjà approuvé par l'ANR, devrait limiter le recrutement en CDD.

Rose Agnès Jacquesy

• www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid70897/une-loi-pour-l-enseignement-superieur-et-la-recherche.html

(siège historique : santé, environnement, Europe, Moyen-Orient et Afrique), Francfort (ingénierie, grands projets, Europe), Shanghai (électronique, Asie-Pacifique).

Roselyne Messal

• Source : conférence et dossier de presse, 14/02/13.

(1) Oxygène, azote, hydrogène, gaz rares... sont au cœur du métier d'Air Liquide depuis sa création en 1902. Le groupe est présent dans 80 pays, avec près de 50 000 collaborateurs, dont un millier de chercheurs.

(2) Air Liquide vient de signer deux importants contrats avec le plus grand fabricant d'écrans plats en Chine, BOE Technology, pour l'approvisionnement en gaz vecteurs ultra purs (communiqué du 28 février).

Total : une bonne performance en 2012

Les résultats annoncés lors de la conférence de presse annuelle confirment la pertinence des choix stratégiques du groupe, sa solidité financière et une croissance rentable malgré l'année difficile : 2,3 Mbep/j de production,

quatre découvertes importantes (Norvège, Nigéria, Argentine et États-Unis), 93 % de renouvellement des réserves, 17 Md€ d'investissements nets, un chiffre d'affaires de 200 Md€ (+ 8 %) pour un résultat net ajusté de 12,4 Md€ (+ 8 %).

Malgré les événements exceptionnels (fermeture du site d'Elgin⁽¹⁾, événements géopolitiques...), l'amont est resté compétitif.

Grâce à l'amélioration des marges, à la bonne performance de la chimie de spécialités, et malgré une demande faible dans la pétrochimie et de nombreux arrêts pour maintenance, la branche Raffinage-Chimie affiche de bons résultats : 1,8 Md\$ de résultat net, soit + 38 % (versus 2010). En France, où la pétrochimie est déficitaire, de grands programmes d'investissements ont été lancés (1 Md€ pour les projets de la raffinerie de Normandie et de l'usine de Total Petrochemicals de Gonfreville l'Orcher).



La raffinerie de Jubail (Arabie saoudite). © Total.



Relais des Iris au Plessis Belleville. © Bernard Blaise/Total.

La branche Marketing et Services affiche de bons chiffres (résultat net : 1,1 Md\$) dus au renforcement en Afrique et Moyen-Orient, à la croissance dans les lubrifiants et autres spécialités, et à la fourniture de solutions énergétiques diversifiées (SunPower). En France, le groupe a investi 100 M€ dans ses nouvelles stations Total access, lancées en octobre dernier, qui proposent des carburants à prix bas ; 600 stations Total et Elf passeront à l'enseigne Total access d'ici à 2014⁽²⁾.

La feuille de route 2013 montre le renforcement de la compétitivité par la restructuration de l'aval et du raffinage-chimie où les projets en cours devraient dégager des gains de productivité (+ 13 % d'ici 2015). Cette année sera aussi marquée par le démarrage de la plate-forme de Jubail en Arabie Saoudite : cette raffinerie intégrée à des unités de pétrochimie traitera 400 000 barils par jour de brut lourd et approvisionnera en produits raffinés les marchés en croissance du Moyen-Orient et d'Asie.

Même si les énergies fossiles restent toujours en tête et représenteront d'ici 2035 encore près de 75 % du bouquet énergétique, le groupe est conscient qu'une évolution progressive de l'offre énergétique est nécessaire pour satisfaire la demande. Le gaz, aujourd'hui deuxième ressource après le pétrole, prendra la tête – gaz naturel, mais aussi non conventionnel, pour lequel Total continue le développement de son savoir-faire dans le monde (États-Unis, Pologne, négociations avec la Chine). On s'attend à une forte progression des énergies renouvelables, en particulier du solaire et de la biomasse, qui nécessiteront des efforts de recherche et des investissements financiers importants. À plus long terme, le groupe souhaite continuer à progresser sur ce mix énergies fossiles/énergies renouvelables⁽³⁾.

Christophe de Margerie, le PDG de Total, a déclaré que le groupe était « fier de contribuer à un avenir énergétique responsable », en répondant aux besoins de l'essor démographique, en prenant soin de minimiser l'impact environnemental, dans un cadre global de sécurité amélioré⁽⁴⁾.

Roselyne Messal

• Source : conférence et dossier de presse, 13/02/13.

(1) Arrêtée le 25 mars 2012 suite à une fuite de gaz survenue sur le puits G4, la production de la zone d'Elgin/Franklin en mer du Nord britannique a redémarré le 9 mars après approbation du dossier de sécurité par l'autorité de régulation britannique.

(2) Avec environ 3 800 stations-service, Total représente 18,5 % de part de marché dans la distribution de carburants en France.

(3) Masdar et ses partenaires Total et Abengoa Solar ont démarré Shams 1, la plus grande centrale solaire concentrée au monde (capacité 100 MW), qui alimentera des milliers de foyers aux Émirats Arabes Unis et permettra d'éviter l'émission d'environ 175 000 t de CO₂ par an (communiqué du 17 mars).

(4) Malgré ses activités en hausse, Total a encore baissé son taux de fréquence des accidents déclarés (TRIR) – qui mesure le nombre d'accidents avec arrêt par million d'heures travaillées –, passant de 5,1 en 2006 à 1,8 en 2012.

REACH : dernière ligne droite !

Il ne reste que quelques semaines avant la date limite du 31 mai aux fabricants ou importateurs de substances fabriquées ou importées à plus de 100 t par an pour soumettre leurs dossiers d'enregistrement auprès de l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA).

Dans le cadre de la convention signée en 2012 avec le MEDDE (Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie), l'UIC continue à organiser des conférences en ligne pour accompagner les futurs déclarants à préparer leurs dossiers. Il est possible de visionner les conférences passées et de s'inscrire* pour celles à venir (25 avril et 23 mai 2013).

*www.uic.fr/REACH-webinars.asp

« Les métiers de la chimie : venez refaire le monde ! »



S. Bléneau-Serdel et M.-C. Vitorge au Village de la chimie, sur le stand du nouveau site.

Des métiers où chacun se sent acteur du monde de demain, se réalise dans un univers innovant, crée un monde de progrès dans lequel on a envie de vivre, tel est le message des industriels de la chimie qui ont lancé un nouveau site le 15 février dernier au Village de la chimie.

Le site Internet créé par l'UIC en 2006 est rapidement devenu une référence sur les formations et métiers de la chimie. Mais face à la multiplication des sites d'orientation, l'UIC a souhaité mettre à la disposition des jeunes des informations plus spécifiques au monde de la chimie. C'est donc un véritable voyage au cœur des innovations et à la rencontre des chimistes que

propose le site actualisé. Parmi les nouveautés, notons l'existence d'un forum où l'on peut venir échanger. Voir aussi la page Facebook dédiée où les internautes peuvent venir partager des informations.

• www.lesmetiersdelachimie.com
<http://forum.lesmetiersdelachimie.com>
www.facebook.com/lesmetiersdelachimie

Chimie et société

Un nouveau dossier CNRS/Sagascience

Au moment où la transition énergétique est au cœur d'un grand débat national, la collection multimédias CNRS/Sagascience s'enrichit d'un nouveau dossier : « **L'énergie nucléaire, de la recherche fondamentale à la société** ». Consacré à l'état des lieux de l'énergie nucléaire en France, ce dossier a été réalisé en collaboration avec les chercheurs de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3) du CNRS.

• www.cnrs.fr/nucleaire



« Futurotextiles »

La Cité des sciences et de l'industrie vous invite à découvrir le monde du textile scientifique et technologique au cours

d'un voyage artistique, ludique et poétique. Fibres insolites, tissus révolutionnaires... tous les objets exposés et les contenus proposés mettent en lumière le travail de recherche et développement de nombreuses entreprises tant françaises qu'étrangères, dans des applications diversifiées : médecine, bien-être, mode, sport, protection, architecture, habitat... Futurotextiles est la troisième et dernière exposition de la thématique « Science en culture » qu'Universcience a choisi de proposer cette année pour mettre en lumière les liens étroits entre art et science.

En complément, la bibliothèque virtuelle de la Cité publie un dossier détaillé⁽¹⁾, et *L'Actualité Chimique* vous rappelle la publication de son numéro spécial⁽²⁾.

• Jusqu'au 14 juillet, à la Cité des sciences et de l'industrie, Paris.
www.cite-sciences.fr

(1) www.cite-sciences.fr/fr/bibliotheque-bsi/contenu/c/1248136508934/des-textiles-etonnants-a-la-fibre-innovante

(2) Fibres et textiles chimiques : matériaux du XXI^e siècle, 2012, 360-361.