

39

La Lettre

de l'Académie des sciences

AUTOMNE-HIVER 2017



La chimie

ÉDITORIAL



2016 : Une belle année pour la chimie !

Bernard Meunier

Page 4

DOSSIER LA CHIMIE



Des molécules bistables aux dispositifs du futur

Azzedine Bousseksou

Page 8



Les nanotechnologies : une approche originale pour la conception de nouveaux médicaments-

Patrick Couvreur

Page 12



La chimie théorique en chimie : de l'utilité des interprétations

Odile Eisenstein

Page 16



Les vitrimères

Ludwik Leibler

Page 20



Composés à anneaux entrelacés et machines moléculaires

Jean-Pierre Sauvage

Page 24

LA VIE DE L'ACADÉMIE



Château-Observatoire Abbadia

Céline Davadan

Page 28

RETOUR SUR L'ACTUALITÉ



Les célébrations du 350^e anniversaire de l'Académie des sciences

Page 40

2016 : Une belle année pour la chimie !



© B. Eymann - Académie des sciences

Bernard Meunier

Directeur de recherche émérite au CNRS, Laboratoire de chimie de coordination du CNRS, Toulouse, *Distinguished Professor* au département de chimie de l'université de technologie de Guangdong à Canton (Chine), membre de l'Académie des sciences (et son président en 2015-2016)

Pour l'Académie des sciences comme pour le vin, il existe des millésimes meilleurs que d'autres ! 2016 aura été l'année des 350 ans de la création de notre compagnie. De nombreux événements auront marqué cet anniversaire. La séance solennelle du 28 juin 2016 a permis d'évoquer la naissance de notre académie, la démarche scientifique comme constante de notre existence et l'évolution des différentes disciplines scientifiques tout au long de ces 350 dernières années. Entourés des représentants de 57 autres académies avec lesquelles nous entretenons des

relations suivies, nous avons célébré le 27 septembre au Louvre la confiance que nous avons dans la science en présence du président de la République. Les témoignages de nos confrères étrangers nous laissent à penser que nous avons réussi cette Journée mondiale de la science.

Tout au long de l'année, les colloques et rencontres de haut niveau ont été également des éléments marquants de la célébration des 350 ans de notre compagnie. En décembre, la connexion entre l'astronaute Thomas Pesquet et la Coupole de l'Institut nous a permis de montrer que l'Académie s'inscrit dans les grands espaces !

Pour la chimie française, 2016 aura été également un excellent millésime. Bien que le nombre de prix internationaux bien dotés augmente d'année en année, toute la communauté scientifique et les médias attendent pendant la première quinzaine d'octobre l'annonce des prix Nobel par l'Académie des sciences de Suède. Le prestige de ce prix ne faiblit pas, bien au contraire. Cette année,



© Patrick Rimond

Thomas Pesquet en duplex de la Coupole à la station spatiale internationale

le comité Nobel a sélectionné trois lauréats autour d'un thème, celui des machines moléculaires : Jean-Pierre Sauvage de l'université de Strasbourg, Sir Fraser J. Stoddart de l'université de Northwestern aux États-Unis et Bernard L. Feringa de l'université de Groningue aux Pays-Bas. Tous les trois, membres de leurs académies nationales, ont créé chacun à leur manière et avec une chronologie respectée par l'ordre d'annonce des lauréats, un nouveau domaine, celui des nano-objets entièrement chimiques capables d'effectuer des mouvements sous des contrôles extérieurs. Il est certain que ces constructions moléculaires peuvent être vues comme étant une magnifique évolution de la chimie supramoléculaire de Jean-Marie

Lehn, lauréat du prix Nobel en octobre 1987. Avec Martin Karplus, prix Nobel de chimie en 2013, le bâtiment ISIS de l'Université de Strasbourg abrite trois prix Nobel, ce qui en fait un des endroits ayant la meilleure concentration de prix Nobel au mètre carré ! Avec celui de Jules Hoffmann en 2011, l'Université de Strasbourg possède une visibilité internationale peu contestable.

Comme pour les vins, il faut remarquer que le terroir a son importance ! À Strasbourg, la chimie a une belle tradition. Pasteur y fut jeune enseignant de 1848 à 1853, Charles Gerhardt y fit la première synthèse de l'aspirine en 1856, Émile Fischer (prix Nobel 1902) y obtint

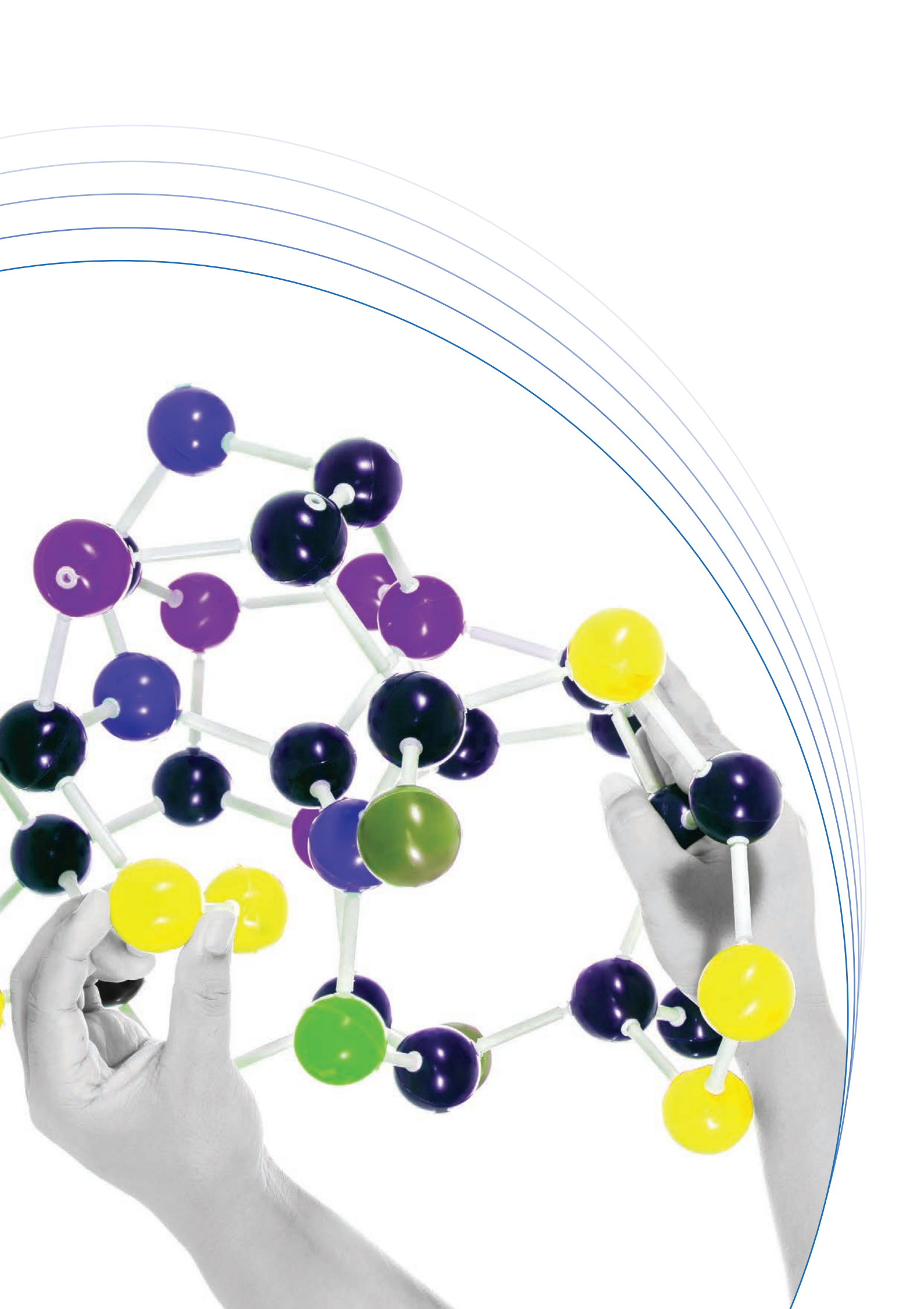
son doctorat en 1874, et plus près de nous, personne n'a oublié Guy Ourisson, président de notre académie en 1999 et 2000, dont le plus connu des élèves est Jean-Marie Lehn, directeur de thèse de Jean-Pierre Sauvage.

Cinq membres de notre compagnie, Azzedine Bousseksou, Patrick Couvreur, Odile Eisenstein, Ludwik Liebler et Jean-Pierre Sauvage, ont accepté de présenter différentes facettes de cette science, souvent décriée, mais pas plus que la physique pour le nucléaire ou la biologie pour les organismes génétiquement modifiés, allant de l'interface avec la physique à celle avec la biologie. La chimie est désormais tellement utile dans la vie moderne qu'elle en est devenue transparente ! Peu de personnes ressentent sa nécessité. Beaucoup en appellent à un monde virginal, sans chimie, sans vaccins, comme celui des années 1750, quand l'espérance de vie était inférieure à 30 ans. Gardons raison, la chimie apporte chaque année son lot de découvertes permettant d'assurer un développement durable pour un nombre croissant de personnes sur notre petite planète. Nous avons besoin de créer de nouveaux objets avec des matériaux recyclables, ayant des fonctionnalités de plus en plus précises, de nouveaux catalyseurs, de nouveaux médicaments. La chimie va prendre sa part dans ces recherches en interaction avec toutes les autres disciplines scientifiques. Gardons confiance dans la science.



Pierre Corvol, Jean-Marie Lehn, Bernard L. Feringa, Bernard Meunier, Pascale Cossart, Sir Fraser J. Stoddart, Jean-Pierre Sauvage et Sébastien Candel réunis le 7 mars 2017 à l'occasion d'un colloque organisé par l'Académie des sciences





La chimie

La chimie occupe depuis la fin du XVIII^e siècle une place toute particulière parmi les sciences. L'alchimie, avec ses préoccupations mercantiles - vouloir faire de l'or avec du plomb - ou magiques - préparation de philtres d'amour - a longtemps retardé l'émergence d'une science exacte. Il faudra attendre Morveau, Lavoisier, Bertholet et Fourcroy et leur ouvrage « Méthode de nomenclature chimique » pour avoir les bases rationnelles de la compréhension des compositions des corps simples, des molécules. Le développement rapide de la chimie tout au long des deux derniers siècles, entre la physique et la biologie, a largement contribué au monde que nous connaissons avec les bénéfices afférents. D'un côté, les nouveaux matériaux nécessaires aux objets de notre vie quotidienne et de l'autre, les outils du moléculaire qui ont permis, par transfert via la biochimie, de faire de la biologie une science moléculaire avec le même niveau d'interprétation que celui qui fut obtenu pour les petites molécules par les chimistes. Penser que la maîtrise du développement de l'humanité se fera sans l'aide des scientifiques, et des chimistes en particulier, serait comme un retour vers le monde des alchimistes et les croyances attachées au phlogistique.

Des molécules bistables aux dispositifs du futur¹



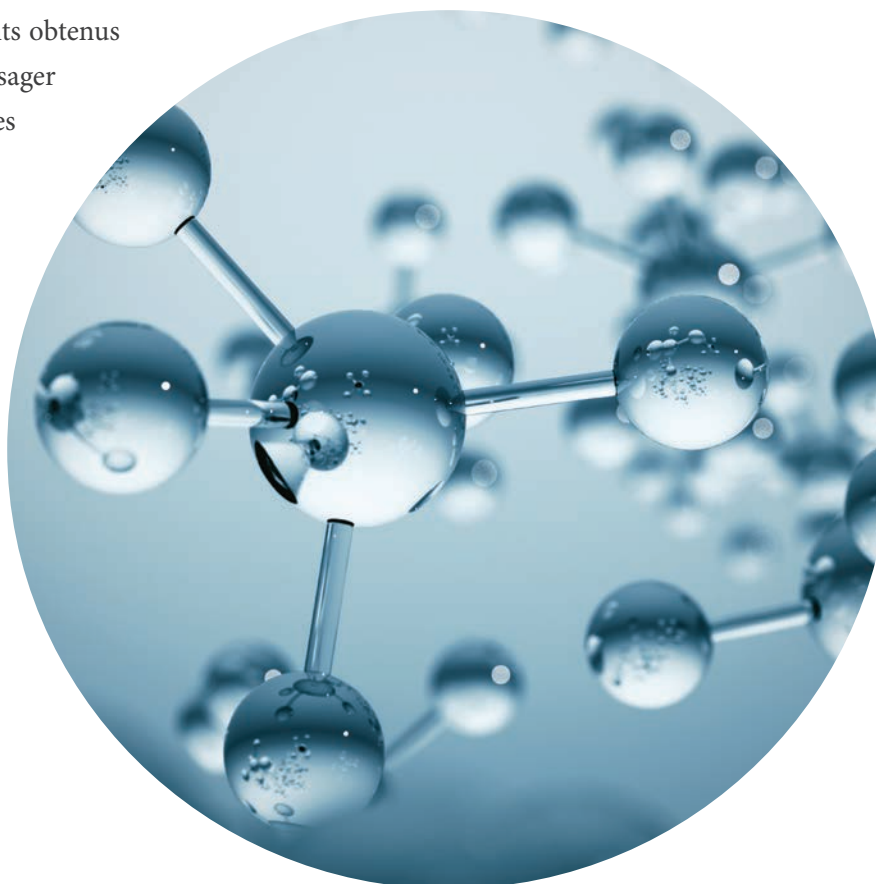
© B. Eymann - Académie des sciences

Azzedine Bousseksou

Directeur de recherche au CNRS, Laboratoire de chimie de coordination au CNRS à Toulouse¹, membre de l'Académie des sciences

Le phénomène de transition de spin est un des exemples les plus spectaculaires de bistabilité moléculaire et est au cœur de nouveaux matériaux moléculaires multifonctionnels qui font l'objet d'une attention particulière ces dernières années². Ce vif intérêt est lié (i) à la versatilité des stimuli utilisés pour induire ce phénomène ; (ii) à la possibilité d'une commutation autour de la température ambiante avec un effet mémoire (hystérésis), et (iii) au maintien de la bistabilité de ces matériaux lorsqu'ils sont élaborés en couches minces.

Les principaux résultats importants obtenus ces dernières années laissent envisager de vraies ruptures et ouvertures scientifiques majeures associées à des applications futures potentielles dans le domaine du stockage de l'information (électronique), de la photonique (capteurs) et de la micro/nano-mécanique (muscle artificiel).



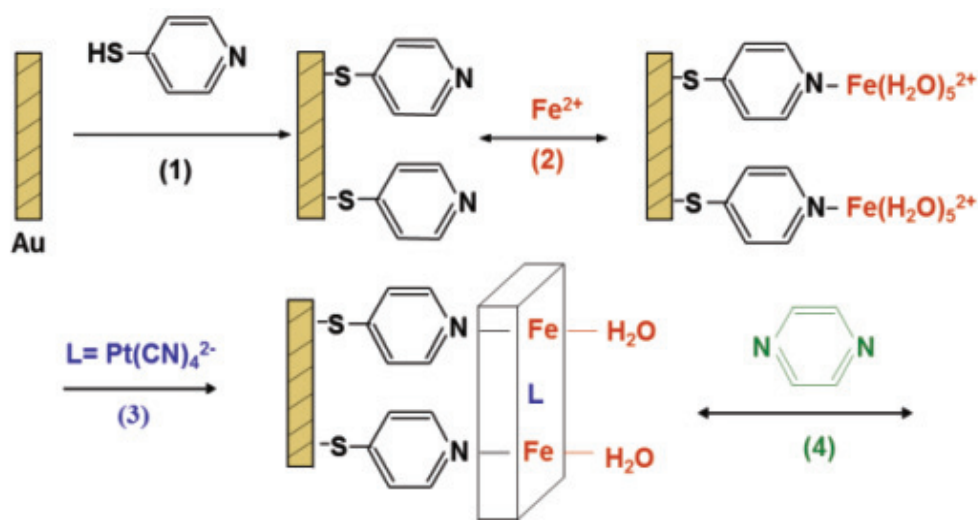
© 123dartist - stock.adobe.com

1 - Équipe Matériaux moléculaires commutables, Laboratoire de chimie de coordination du CNRS à Toulouse, France. Azzedine Bousseksou, directeur de recherche au CNRS, Gabor Molnar, directeur de recherche au CNRS, Lionel Salmon, directeur de recherche au CNRS, William Nicolazzi, maître de conférences de l'université Toulouse 3

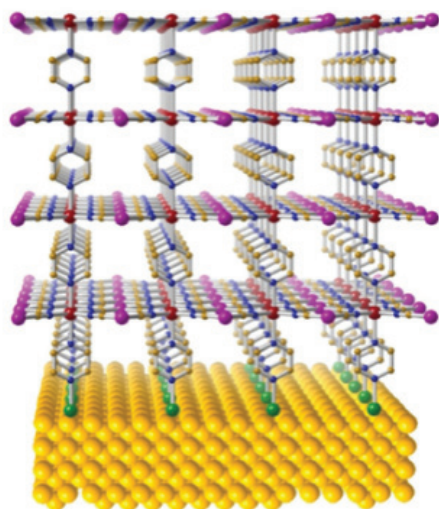
2- Chem. Soc. Rev. 40(2011)3313- Critical Review

La bistabilité moléculaire et les couches minces³

L'élaboration de couches minces bistables avec hystérésis (effet mémoire) a été un vrai challenge pour les chimistes car les nombreuses techniques jusqu'alors mises en œuvre conduisaient systématiquement à la perte de la propriété de bistabilité en raison des interactions, d'origine électrostatique et autres, du matériau avec la surface. L'utilisation d'une méthode d'assemblage couche par couche associée à une ingénierie de l'interface entre le matériau déposé et le substrat a permis de préserver les propriétés de bistabilité mesurées pour les matériaux massifs.



Protocole de synthèse chimique séquentiel "couche par couche" permettant d'obtenir des couches minces électriquement bistables



Schémas de fixation (fonctionnalisation) d'un matériau bistable sur une couche d'or via une liaison Or-Soufre

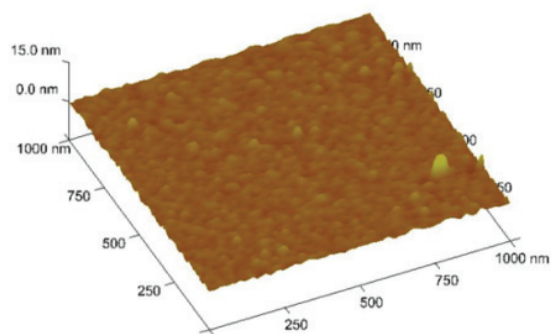


Image de microscopie à force atomique d'une couche mince obtenue avec une rugosité moyenne sub-nanométrique (de 7 Angströms)

La bistabilité moléculaire et la nano-thermométrie^{4,5,6}

Le dépôt de nanoparticules bistables à transition de spin couplées avec un luminophore sur un fil chauffant permet de révéler l'élévation de température par l'apparition de la luminescence (cf. figure a).

Le dépôt de nanoparticules bistables à transition de spin couplées avec un luminophore sur un ensemble de fils chauffants distants de quelques nanomètres permet de révéler l'élévation de température par l'apparition de la luminescence avec une résolution spatiale nanométrique (cf. figure b).

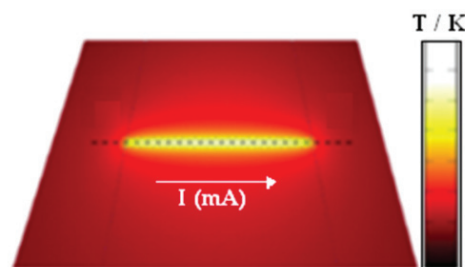


Figure a

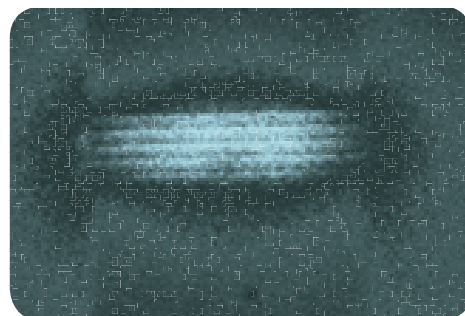
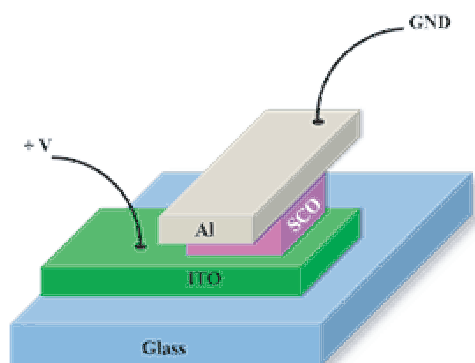


Figure b

La bistabilité moléculaire et la spintronique moléculaire⁶



Elaboration d'une jonction composée d'une couche d'aluminium, une couche de 30 nm d'un matériau moléculaire bistable, d'une couche d'un conducteur transparent (ITO) et d'un substrat en verre

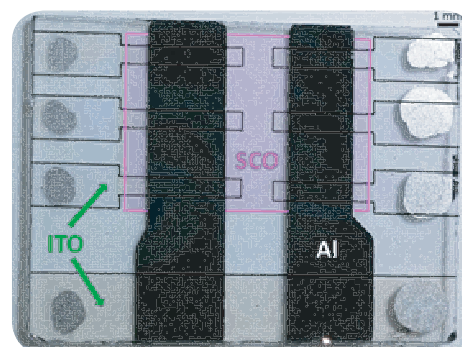


Photo du dispositif réel

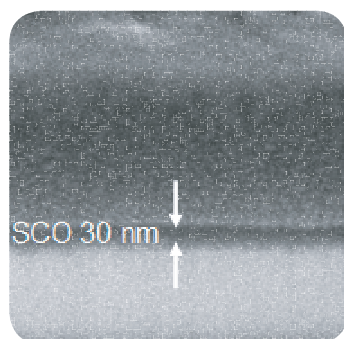
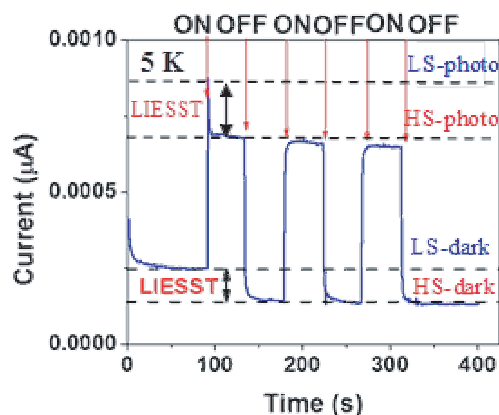


Image de microscopie à force atomique d'une jonction



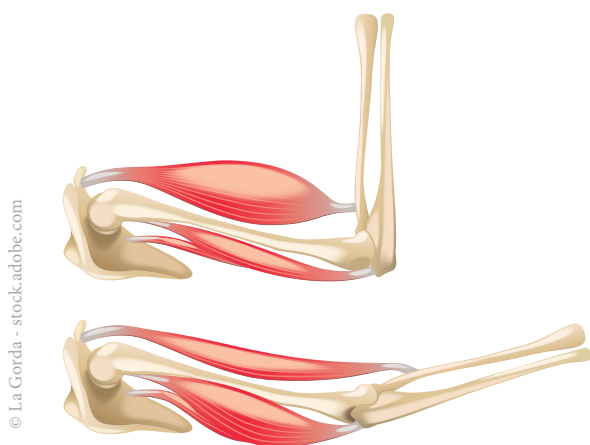
Mesure d'un photo-courant au travers cette jonction montrant des valeurs différentes selon que le matériau est dans son état haut spin ($S=2$) ou bas spin ($S=0$). La valeur du photo-courant est donc dépendante de l'état de spin du matériau, conduisant à un effet de type spintronique moléculaire.

4 - Small 12 (2016) 6325–6331

5- J. Mater. Chem. 20 (2010) 5499 – 5503

6- Chem. Commun. 51 (2015) 15098 – 15101

La bistabilité moléculaire et le muscle artificiel⁶



© La Gorda - stock.adobe.com

Dessin du muscle d'un bras humain

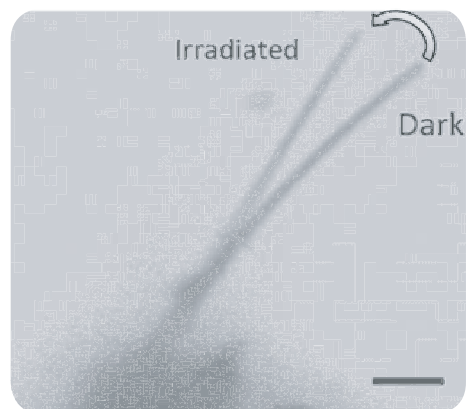
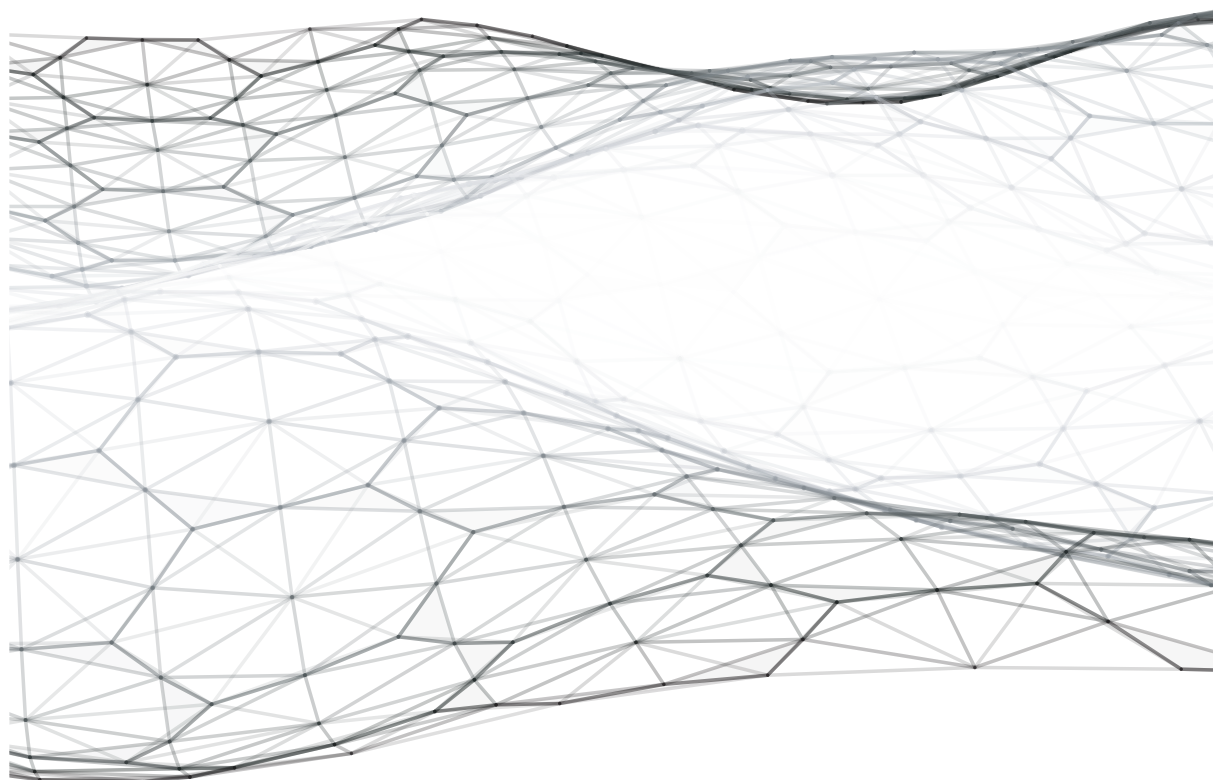
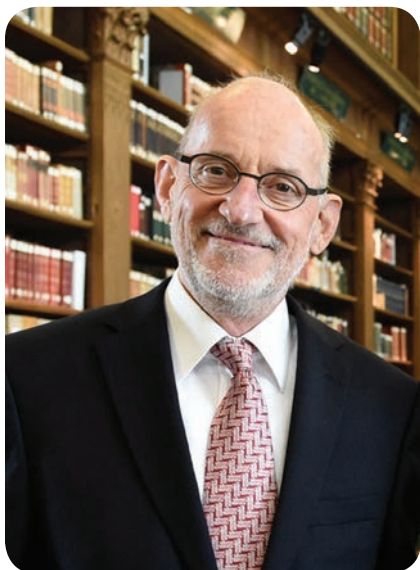


Photo d'un matériau moléculaire bistable montrant que sa position mécanique dépend de son état de spin qui peut être thermo ou photo-induit. Ainsi une action mécanique à sens contrôlé pouvant mimer de façon artificielle un muscle humain est aujourd'hui réalisable⁷.



© Maxim - stock.adobe.com

Les nanotechnologies : une approche originale pour la conception de nouveaux médicaments



© B. Eymann - Académie des sciences

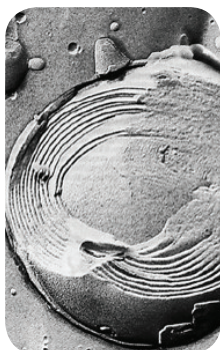
Patrick Couvreur

Professeur à l'université Paris-Sud, membre senior de l'Institut universitaire de France (IUF), membre de l'Académie des sciences

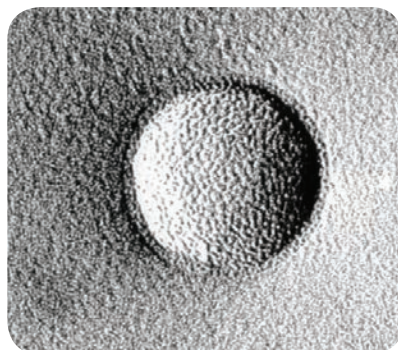
L'administration des médicaments à l'aide des formes galéniques traditionnelles se heurte à de nombreuses difficultés : faible spécificité pour le tissu ou de la cellule à traiter, métabolisation rapide et absence de pénétration intracellulaire. Le manque de spécificité de nombreux médicaments se traduit par une imprégnation des tissus sains ce qui conduit à un faible index thérapeutique et à l'émergence d'effets secondaires. Encapsuler ces composés dans des nanovecteurs d'une taille submicronique permet de mieux contrôler la délivrance du médicament dans le temps (en jouant sur sa vitesse de libération) et dans l'espace (en maîtrisant sa distribution dans l'organisme)¹.

Préparés à partir de matériaux organiques (comme des lipides ou des polymères) ou inorganiques (comme les oxydes de fer), les nanovecteurs doivent impérativement être biodégradables pour pouvoir être éliminés après libération du principe actif.

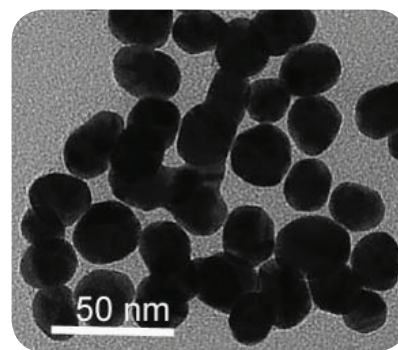
Aspect morphologique de nanovecteurs de médicaments



Liposome



Nanoparticule polymère



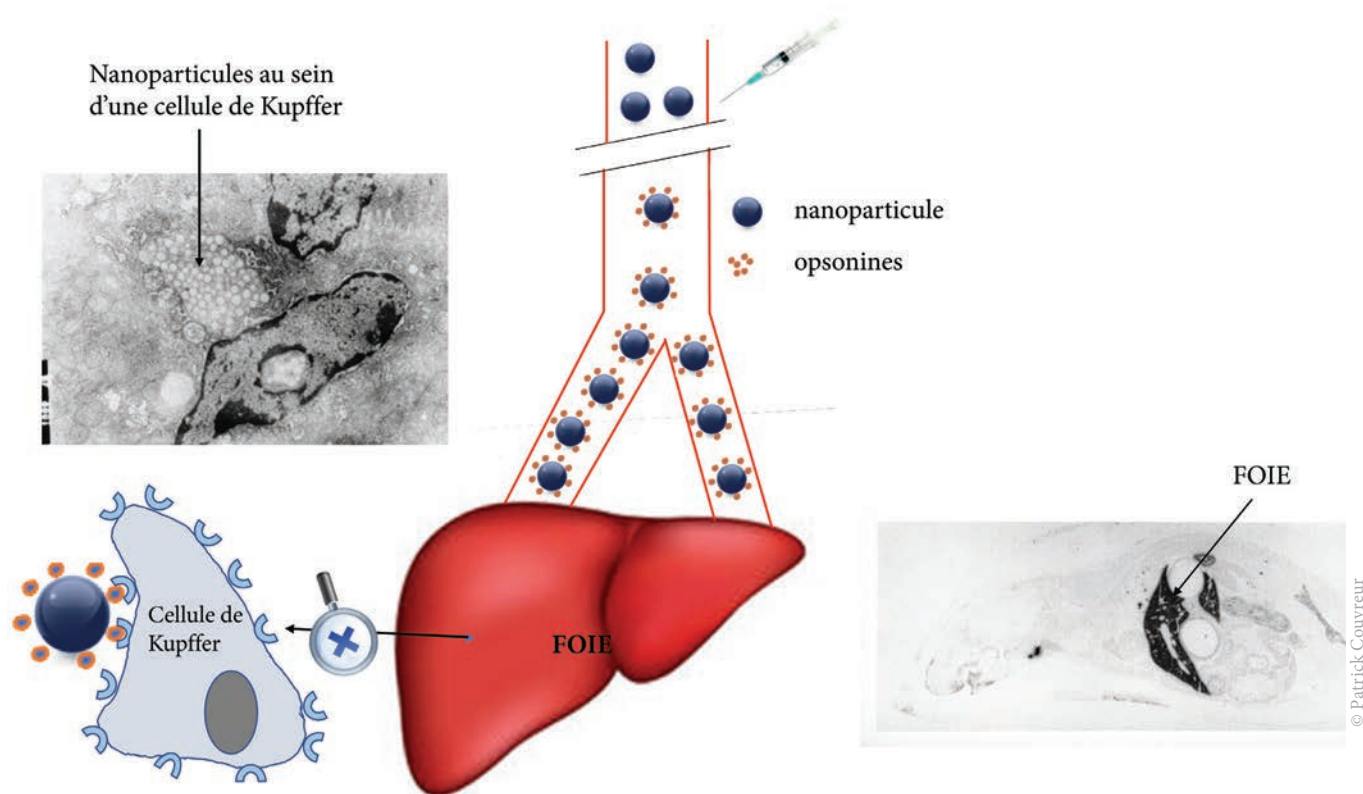
Nanoparticules d'oxyde de fer

© Patrick Couvreur



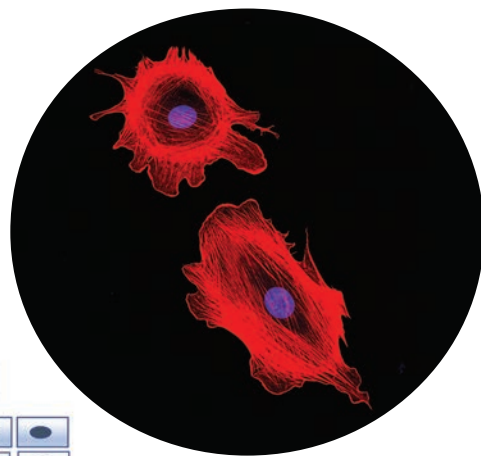
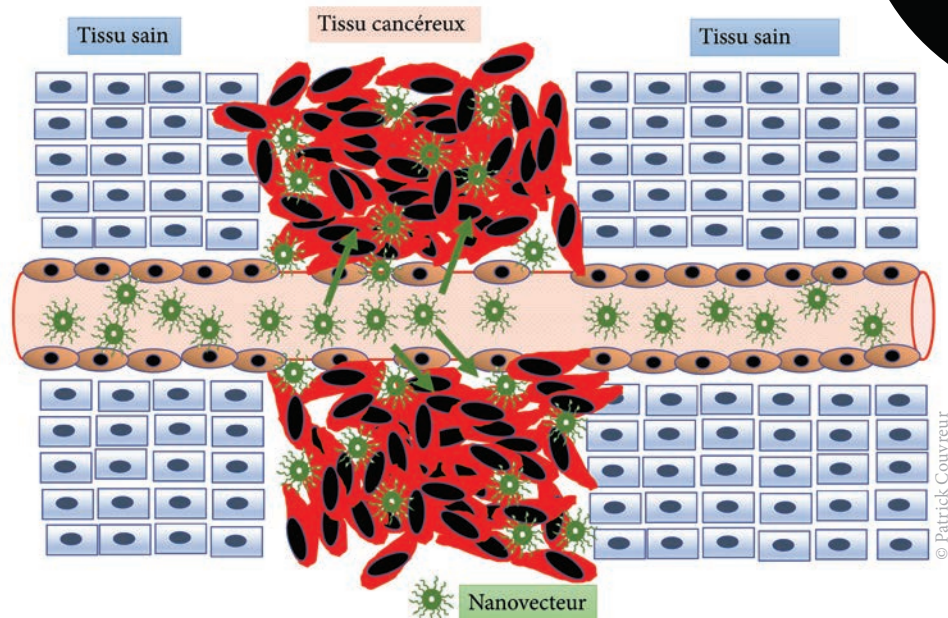
Après administration intraveineuse, les nanomédicaments vont être reconnus par l'organisme comme des particules étrangères. Certaines protéines du sang (les opsonines) vont d'abord s'adsorber à leur surface. Ensuite, cette signature moléculaire va déclencher leur reconnaissance par les macrophages du foie (cellules de Kupffer)². Il est ainsi possible de traiter efficacement certaines pathologies hépatiques (cancer primitif du foie).

Représentation schématique de la capture des nanovecteurs par le foie



Pour cibler d'autres organes, il convient au contraire d'éviter l'opsonisation en décorant la surface des nanovecteurs à l'aide de polyéthylèneglycols. Ces polymères hydrophiles permettent aux nanomédicaments injectés de demeurer plus longtemps dans la circulation générale. De manière remarquable, lorsque le tissu ou l'organe malade est caractérisé par la présence d'une réaction inflammatoire (tumeur, maladie infectieuse, maladie auto-immune etc.), la paroi des vaisseaux devient beaucoup plus perméable et entraîne la capture du nanovecteur par un effet de perméabilité et de rétention tissulaire augmentée. Bien

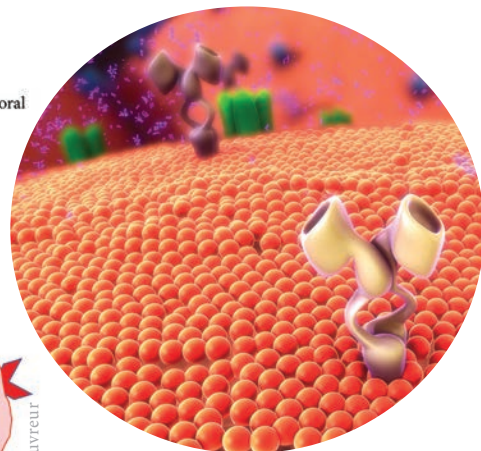
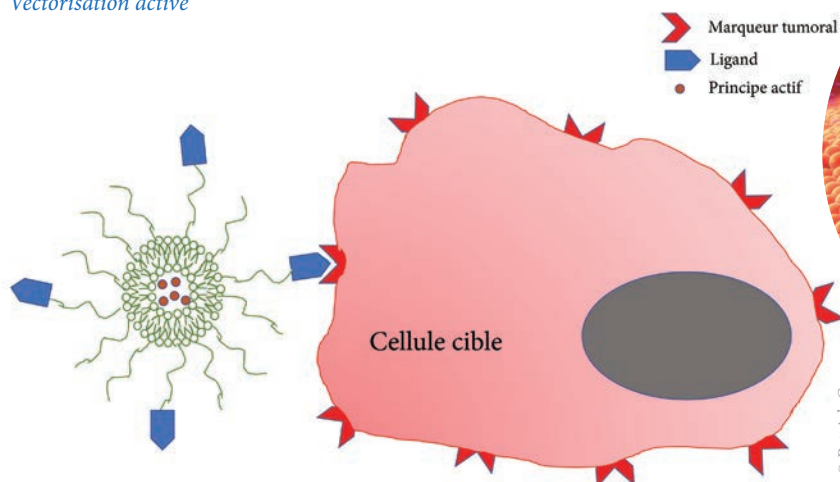
documentée au niveau des essais précliniques chez l'animal, la réalité de cette vectorisation passive ne fait toutefois pas consensus en clinique humaine car cet effet peut varier en fonction du patient et de l'état de la tumeur.



© drimafilm - stock.adobe.com

La vectorisation active consiste à équiper les nanovecteurs de ligands (acide folique, peptides, anticorps) capables de reconnaître spécifiquement des marqueurs exprimés à la surface des cellules pathologiques.

Vectorisation active



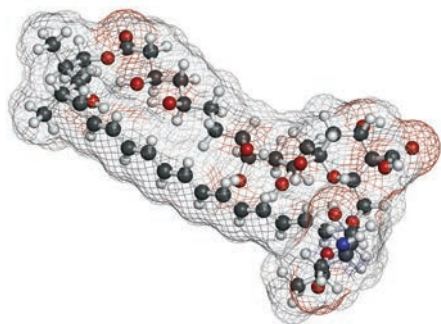
© drimafilm - stock.adobe.com

Les applications thérapeutiques envisagées sont nombreuses : traitement des cancers³, des maladies du système nerveux⁴, des pathologies cardiovasculaires⁵ etc.

Enfin, des approches très récentes visent à développer des nanovecteurs ayant une forte affinité pour certaines protéines plasmatiques comme l'albumine ou les LDL (lipoprotéines de faible densité) afin de tirer parti des capacités de reconnaissance de ces molécules endogènes⁶.

Les progrès réalisés dans le domaine de la conception de matériaux « intelligents » permettent également de préparer des nanovecteurs capables de libérer le principe actif en réponse à un stimulus exogène ou endogène⁷. Ainsi, il existe des nanomédicaments sensibles à un champ magnétique extracorporel (guidage magnétique), à une augmentation de température (hyperthermie locale) ou à une diminution de pH (par exemple suite à une réaction inflammatoire). En oncologie, des essais cliniques ont été menés avec des liposomes ayant une température de transition de phase proche de 40°C et l'utilisation de nanoparticules d'oxyde de fer sous champ magnétique a été approuvée pour le traitement du glioblastome.

Encore au stade de la recherche pré-clinique, certains nanomédicaments sont dotés d'une double fonctionnalité, thérapeutique et diagnostique (imagerie), en associant un médicament avec un agent d'imagerie⁸. Ces « nanotheranostiques » ouvrent des perspectives nouvelles pour la médecine personnalisée puisqu'ils permettent de visualiser la présence du nanomédicament au niveau de la cible thérapeutique.



Ambisome®

Plusieurs nanomédicaments sont actuellement sur le marché, à la disposition des patients, tandis que d'autres à la phase de l'essai clinique. Les applications thérapeutiques concernent principalement l'oncologie (Doxil®, Myocet®, Abraxane®), le traitement des infections fongiques (Ambisome®) et l'imagerie (Endorem®). La variabilité interindividuelle des paramètres biopharmaceutiques et des marqueurs pathologiques, la difficulté des nanotechnologies à diffuser à travers certaines barrières biologiques et le coût des traitements constituent, toutefois, des freins à la généralisation du concept. Une meilleure connaissance, à l'échelle moléculaire, des interactions

de ces nanotechnologies avec le vivant devrait, cependant, ouvrir de nouvelles perspectives. C'est pourquoi, les recherches engagées actuellement ont un caractère extrêmement pluridisciplinaire et la chimie y occupe une place centrale avec la synthèse de matériaux biodégradables et biocompatibles, la bioconjugaison de ligands et l'élaboration d'une chimie supramoléculaire capable de déclencher la libération du médicament en réponse à un stimulus.

Pour en savoir plus

1. <http://www.college-de-france.fr/site/patrick-couvreur/inaugural-lecture-2010-01-21-18h00.htm>
2. <https://www.funmooc.fr/courses/UPSUD/42003/session01/about>
3. Maksimenko A, Dosio F, Mougin J, Ferrero A, Wack S, Harivardhan Reddy L, Weyn A A, Lepeltier E, Bourgaux C, Stella B, Cattel L, Couvreur P, *Proceed. Natl. Acad. Sci. USA*, E217–E226 (2014)
4. Gaudin A, Yemisci M, Eroglu H, Lepêtre-Mouelhi S, Turkoglu OF, Dönmez-Demir B, Caban S, Sargon MF, Garcia-Argote S, Pieters G, Loreau O, Rousseau B, Tagit O, Hildebrandt N, Le Dantec Y, Mougin J, Valetti S, Chacun H, Nicolas V, Desmaële D, Andrieux K, Capan Y, Dalkara T, Couvreur P, *Nature Nanotechnology*, 9, 1054-1063 (2014)
5. Dormont F, Varna M, Couvreur P, *Materials Today*, doi: org/10.1016/j.mattod.2017.07.008 (2017)
6. Sobot D, Mura S, Yesylevskyy SO, Dalbin L, Cayre F, Bort G, Mougin J, Desmaële D, LepetreMouelhi S, Pieters G, Andreiuk B, Klymchenko AS, Paul JL, Ramseyer C, Couvreur P, *Nature Communications*, 8, 15678. doi: 10.1038/ncomms15678 (2017)
7. S. Mura, J. Nicolas, P. Couvreur, *Nature Materials*, 12, 991-1003 (2013)
8. Horcajada P, Chalati T, Serre C, Gillet B, Sebrie C, Baati T, Eubank JF, Heurtaux D, Clayette P, Kreuz C, Chang J-S, Hwang Y, Marsaud V, Bories P, Cynober L, Gil S, Férey G, Couvreur P, Gref R, *Nature Materials*, 9, 172-178 (2010)

La chimie théorique en chimie : de l'utilité des interprétations



© B. Eymann - Académie des sciences

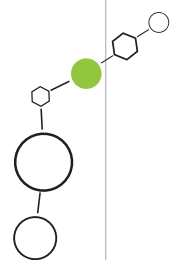
Odile Eisenstein

Directeur de recherche émérite au CNRS, professeur associé à l'université d'Oslo (Norvège), membre de l'Académie des sciences

La chimie théorique et la simulation font désormais partie intégrante des recherches dans l'ensemble des sous-disciplines de la chimie. Leurs impacts ont été reconnus par des prix Nobel en 1981 (R. Hoffmann et K. Fukui), 1998 (W. Kohn et J. Pople) et 2013 (M. Karplus, M. Levitt et A. Warshel). Faire de la chimie théorique et de la simulation veut dire « construire un modèle du système expérimental et en étudier son comportement par l'informatique » d'où le nom de chimie *in-silico*. Dirac écrivait « *The fundamental laws necessary for the mathematical treatment of a large part of physics and the whole of chemistry are thus completely known,*

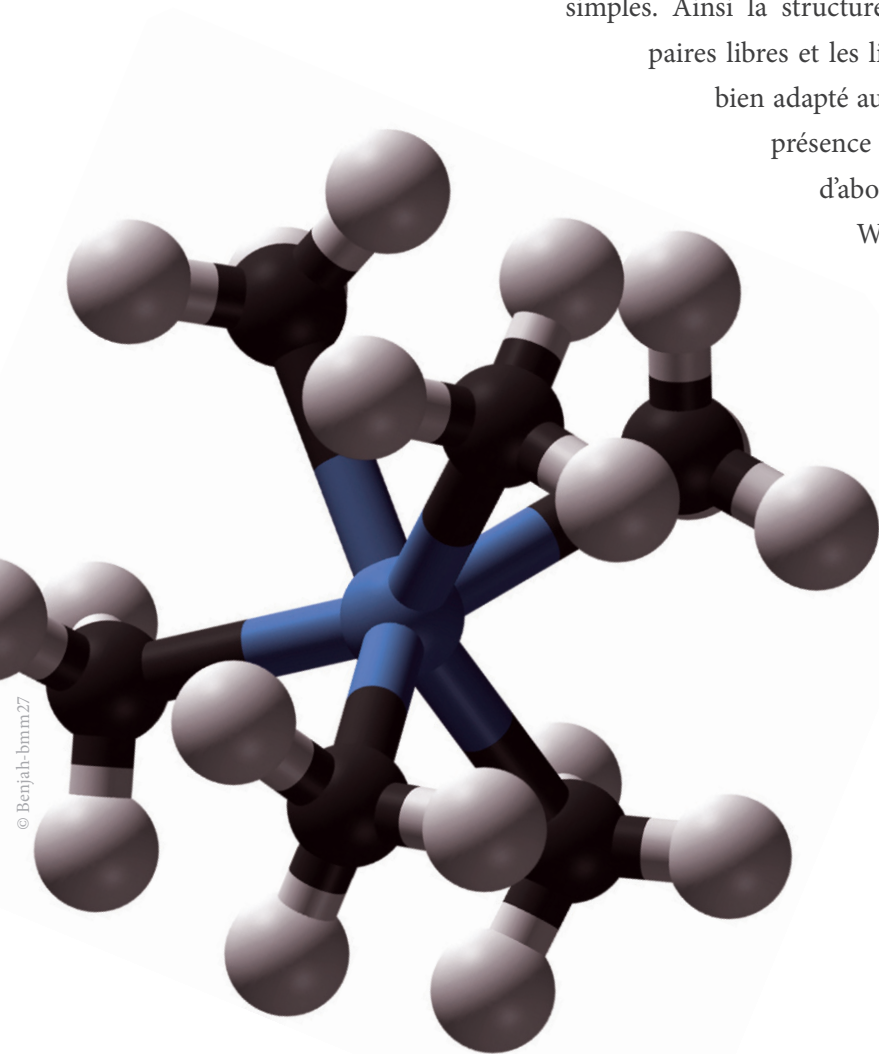
and the difficulty lies only in the fact that application of these laws leads to equations that are too complex to be solved¹ ». Il est en effet pratiquement impossible de résoudre les équations nécessaires et il est délicat de construire un modèle réaliste d'une situation expérimentale qui doit intégrer à la fois un nombre important d'atomes et une notion temporelle pour étudier les évolutions. Les études théoriques permettent aussi de déterminer les facteurs qui contrôlent les phénomènes étudiés, même avec une modélisation simple.

C'est bien en raison de sa capacité d'interprétation que les chimistes se sont intéressés aux études théoriques sans attendre les développements de méthodes plus élaborées.



En 1966, trois communications de R. Hoffmann et R. B. Woodward paraissaient dans le *Journal of the American Chemical Society*. Avec des calculs très simples, ces articles proposaient une interprétation de la sélectivité de réactions organiques. Ces propositions ont révolutionné le mode de pensée des chimistes en démontrant que les propriétés électroniques portaient des informations précieuses pour la compréhension des réactions. À cette époque, il était seulement possible de comprendre des tendances et d'édicter des règles qualitatives. La situation est aujourd'hui bien plus satisfaisante car il est possible d'allier calculs quantitatifs et interprétations de nature très variées fondées sur une vision en termes d'orbitales moléculaires ou d'orbitales localisées. Nous illustrons par quelques exemples issus des travaux de notre groupe l'apport de la chimie théorique.

- 1) La **structure tridimensionnelle** de molécules est interprétable avec des règles simples. Ainsi la structure préférée maximise les distances entre les paires libres et les liaisons autour de chaque atome. Ce concept bien adapté aux molécules organiques est mis en défaut en présence d'un métal de transition. Ainsi des calculs d'abord simples puis élaborés ont montré que $W(CH_3)_6$ n'est pas octaédrique mais trigonal prismatique, une proposition confirmée ultérieurement par l'expérience. En effet, la forme octaédrique a des orbitales vacantes basses en énergie sur le métal, un facteur d'instabilité².



- 2) L'**induction asymétrique** est d'une grande importance en synthèse notamment de molécules d'intérêt pharmaceutique. Étudier l'induction asymétrique par des calculs est un défi en raison de la taille des molécules et de la précision numérique nécessaire. C'est l'aspect de la sélectivité en chimie le plus difficile à modéliser³. Souvent, le produit majoritaire est associé à la minimisation des effets stériques. Or, sur une étape clef de la synthèse de l'artémisinine, un antipaludique (*cf. figure 1*), les calculs ont montré que la direction préférentielle de l'addition d'une molécule trop petite pour induire des effets stériques (N_2H_2) est contrôlée par un ensemble de forces attractives faibles, dont la nature a été identifiée⁴.

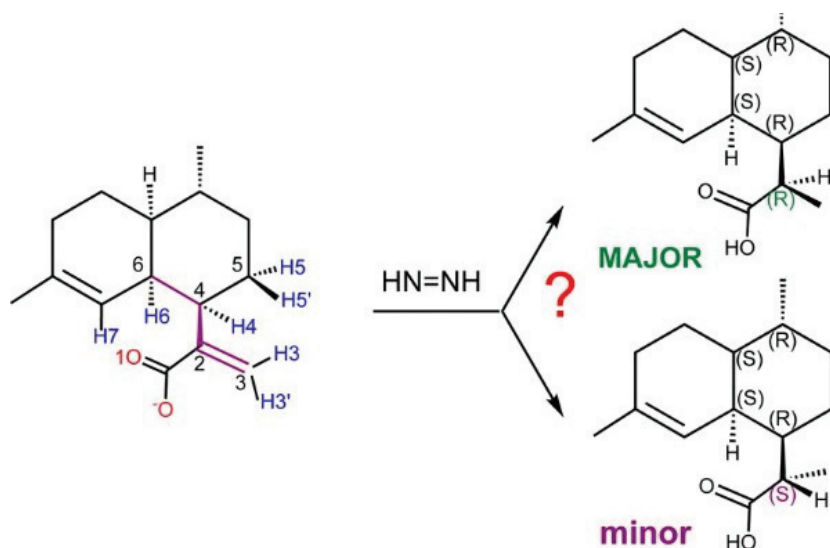


Figure 1 : Une étape clé de la synthèse de l'artémisinine⁴

© 2014 American Chemical Society

3) **La métathèse des oléfines** est une réaction de grande importance pour l'industrie chimique. Y. Chauvin en a proposé le mécanisme et R. H. Grubbs et R. R. Schrock ont poursuivi son développement. Tous les trois ont reçus le prix Nobel en 2005. Dans cette réaction, un alcène s'additionne à un complexe carbénique pour former un cycle à quatre chaînons qui évolue en un nouveau complexe carbénique et un nouvel alcène. Souvent, les étapes qui déterminent l'efficacité d'une réaction sont associées à des formations ou des coupures de liaisons fortes. Or, les calculs ont montré que l'étape au cours de laquelle l'alcène entre dans la sphère de coordination du métal influe sur l'efficacité de la réaction (*cf. figure 2*). Cette étape nécessite en effet une déformation géométrique du catalyseur dont le coût énergétique doit être minimisé. D'autres calculs ont identifié les mécanismes de désactivation du catalyseur⁵. Ces études ont conduit à des catalyseurs plus efficaces.

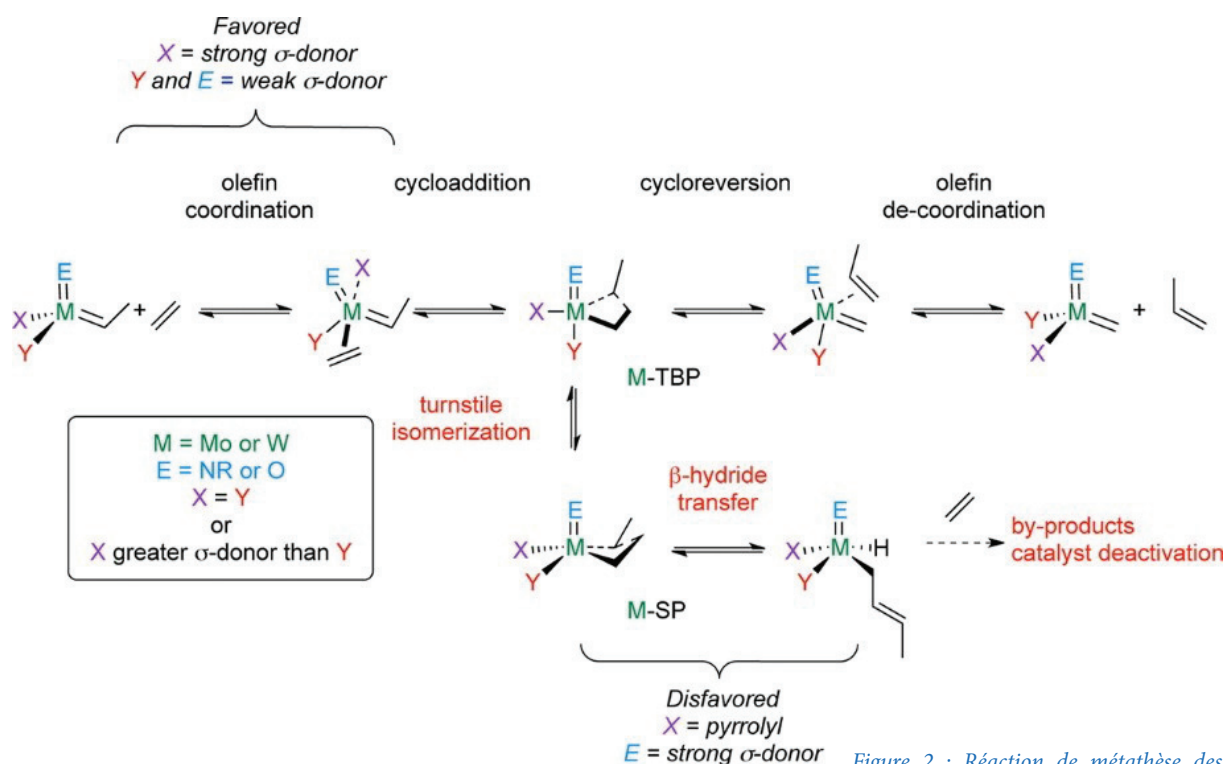


Figure 2 : Réaction de métathèse des alcènes avec le complexe de Schrock⁵

© 2012 American Chemical Society

4) Les déplacements chimiques en spectroscopie de résonance magnétique nucléaire (dont une application est l'IRM) peuvent être compris en déterminant les orbitales occupées et vacantes impliquées dans l'écrantage, ce qui crée un lien entre une information spectroscopique mesurable et la réactivité⁶ (cf. figure 3).

La chimie théorique va poursuivre sa croissance et offrira des méthodes encore plus rapides et toujours plus précises ainsi que des outils d'analyses de plus en plus pertinents. Expérimentateurs et théoriciens collaborent déjà. Nul doute que ces collaborations seront encore plus fructueuses dans le futur.

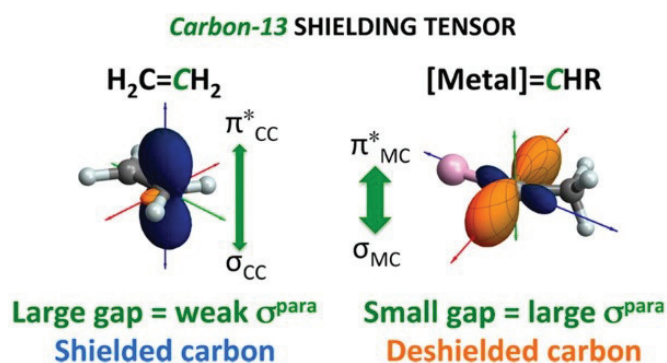


Figure 3 : Origine des déplacements chimiques RMN du carbone⁶

© 2016 American Chemical Society



© everythingpossible - stock.adobe.com

Pour en savoir plus

1. P. A. M. Dirac *Proceedings of the Royal Society* 1929, A, **123**, 714
2. S.K. Kang, T.A. Albright, O. Eisenstein *Inorg. Chem.* 1989, **28**, 1611
3. D. Balcells, E. Clot, O. Eisenstein, A. Nova, L. Perrin, *Acc. Chem. Res.* 2016, **49**, 1070
4. B. Castro, R. Chaudret, G. Ricci, G. Kretzschmar, V. Kraft, K. Rossen, O. Eisenstein. *J. Org. Chem.* 2014, **79**, 5939
5. X. Solans-Monfort, C. Copéret, O. Eisenstein. *Organometallics* 2012, **31**, 6812
6. S. Halbert, C. Copéret, C. Raynaud, O. Eisenstein *J. Am. Chem. Soc.* 2016, **138**, 2261

Les vitrimères



© B. Eymann - Académie des sciences

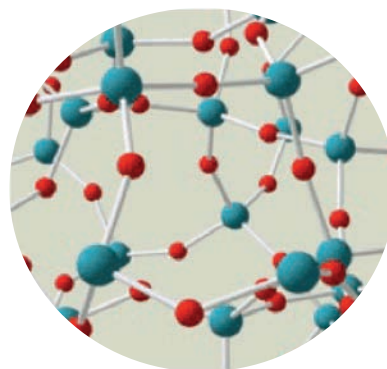
Ludwik Leibler

Directeur de recherche de classe exceptionnelle au CNRS, professeur associé à l'ESPCI ParisTech, Laboratoire matière molle et chimie, membre de l'Académie des sciences

Le verre est un matériau étonnant. Tous ses atomes sont unis les uns aux autres en un réseau tridimensionnel, ce qui lui confère sa rigidité à température ambiante (*cf. figure 1*). À chaud le verre coule. L'écoulement nécessite que les atomes se déplacent les uns par rapport aux autres et cependant l'effet de la chaleur n'est pas suffisant pour rompre les liens entre les atomes. Aucun autre matériau avant l'invention des vitrimères en 2011 ne présentait un tel comportement paradoxal. Du point de

vue de la structure

en réseau, le caoutchouc des pneus ou les résines utilisées en aéronautique se rapprochent du verre. Cependant, chauffés, ils ne s'écoulent point. Ainsi, contrairement au verre, ces matériaux appelés polymères thermodurs ne peuvent pas être façonnés à volonté ni recyclés.



© Ludwik Leibler

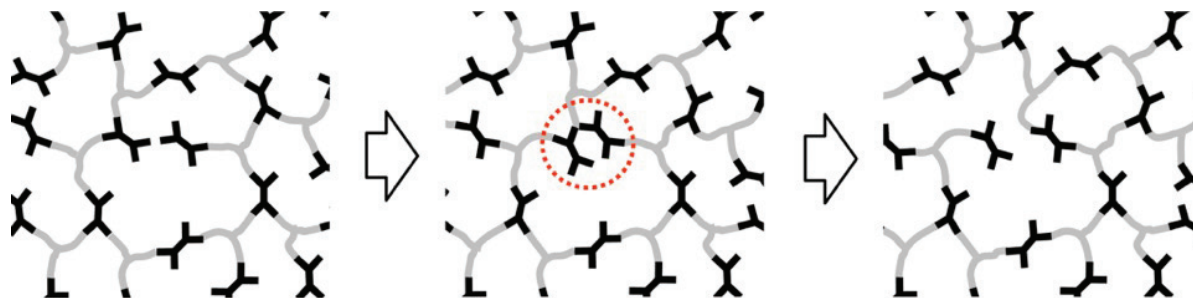
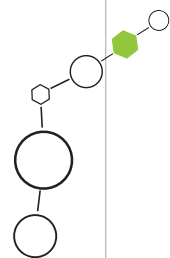
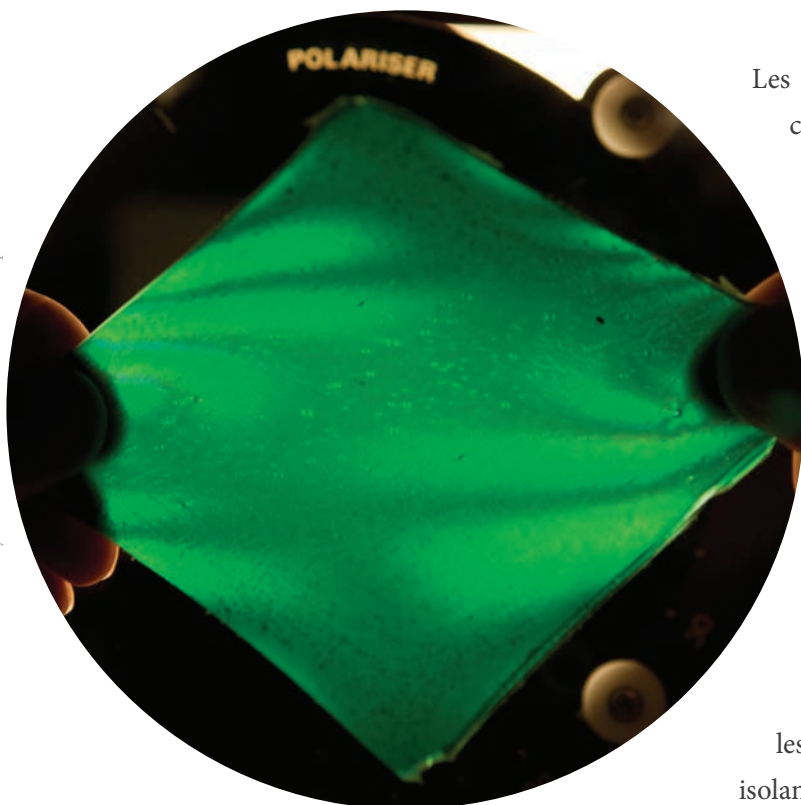


Figure 1





Les vitrimères sont des réseaux d'atomes de carbone, hydrogène, oxygène etc comme les polymères thermodurs, mais capables de se réorganiser sous l'effet de la chaleur sans que le nombre de liens ne soit diminué. Ce comportement est possible grâce à des réactions d'échange dans lesquelles les atomes changent leurs partenaires.

Comme le verre, un vitrimère est malléable à chaud et reste insoluble quelle que soit la température.

Les premiers vitrimères ont été basés sur la chimie des résines époxy bien connue dans les domaines des adhésifs, des revêtements, des isolants ou des composites. La réaction d'échange qui a été mise en œuvre est la transestérification, très utilisée en chimie industrielle. Les prototypes basés sur la chimie de transestérification ont bien illustré le concept.

À partir d'un ruban plat élastique, on peut façonner une pièce complexe à l'aide d'un pistolet chauffant à la manière d'un verrier sur la flamme (cf. figure 3). Du début à la fin, la pièce reste insoluble. Le réseau époxy standard est insoluble, mais traité de la même façon, il reprendrait toujours sa forme initiale de ruban plat. Quant au plastique dont les atomes sont unis en chaînes et non en réseau tridimensionnel, il peut être façonné à chaud, mais il se dissout complètement dans un solvant. C'est pourquoi les vitrimères, au côté des plastiques et des thermodurs, constituent une nouvelle classe de polymères.

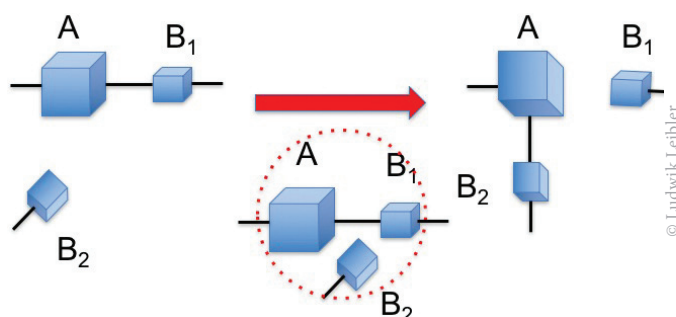


Figure illustrant le processus d'échange : l'atome A initialement uni à B_1 rencontre B_2 et suite à la réaction d'échange A se lie à B_2 et B_1 redevenu plus libre s'éloigne. Les échanges successifs permettent les déplacements des atomes, le matériau s'écoule sans que pour autant l'intégrité du réseau ne soit altérée.

Au delà des concepts, cette chimie robuste a permis d'entrevoir des applications importantes. La plus avancée à ce jour concerne la connectique. À travers le monde, des systèmes aux propriétés étonnantes ont été conçus : matériaux à mémoire de forme, actionneurs cristaux liquides ou composites soudables. En parallèle, d'autres réactions d'échange ont été mises à profit dans la chimie des vitrimères telles que la transcarbamylation, la transalkylation ou la transamination. Malgré ces avancées, les polymères dont le

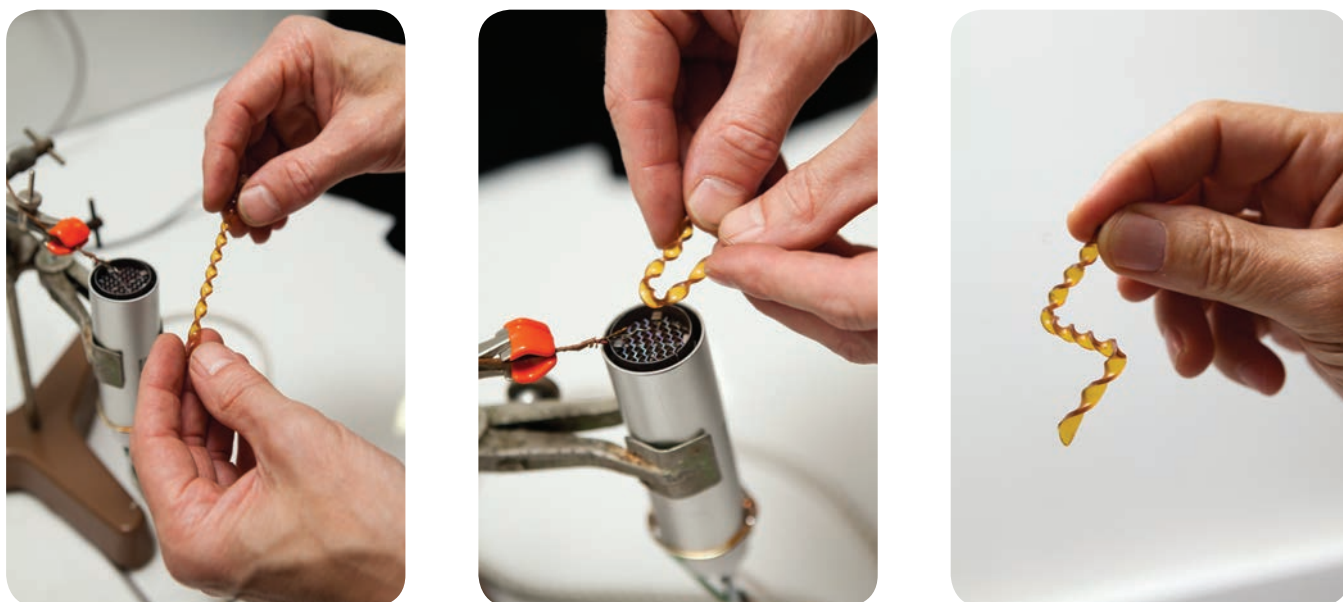


Figure 3

squelette ne comporte que des atomes du carbone, c'est à dire 80% des matières plastiques produites dans le monde, ne pouvaient toujours pas devenir vitrimères. Un autre défi restait à relever : trouver une réaction d'échange suffisamment rapide et robuste pour permettre aux vitrimères d'être mis en forme par les outils et aux cadences actuelles de la plasturgie.

La découverte en 2017 de la métathèse des esters boroniques (*cf. figure 4*) vient à propos en relevant d'un coup ces deux défis. Désormais, des plastiques aussi quotidiens que le polystyrène, le polyéthylène ou les acryliques peuvent devenir résistants aux solvants et à la chaleur tout en restant transformables et réutilisables grâce à la transformation en vitrimères. Les domaines industriels intéressés, du bidon d'essence aux éoliennes, de la chirurgie dentaire aux canalisations, de la câblerie aux composites, semblent



Vitrimères issus du recyclage

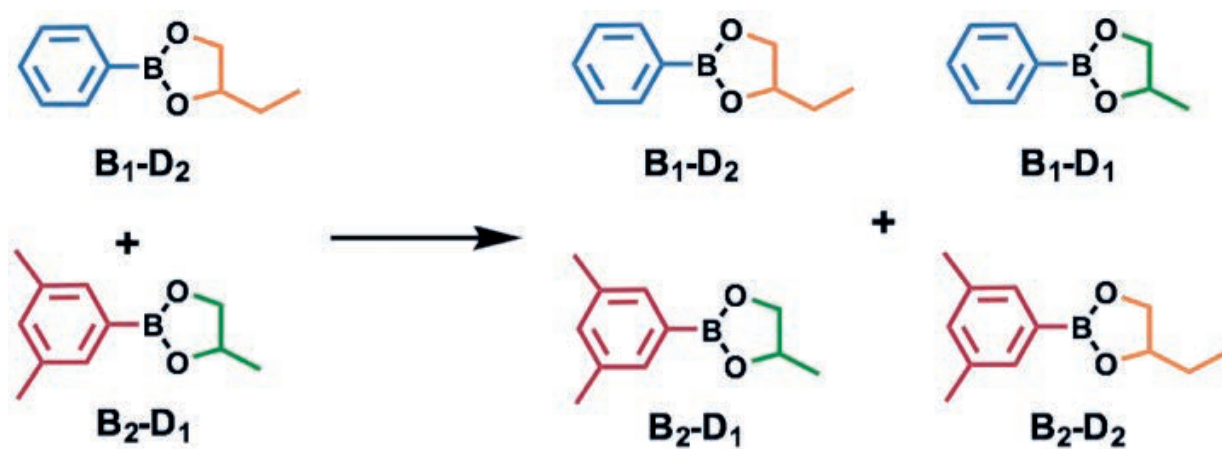


Figure 4

innombrables.

Peut-être sera-t-il un jour possible d'expliquer par quel mécanisme, le verre, matériau millénaire, s'écoule. Serait-il un vitrimère ?



Pour en savoir plus

1. Montarnal, D., Capelot, M., Tournilhac, F. & Leibler, L. "Silica-Like Malleable Materials from Permanent Organic Networks." *Science* **334**, 965–968 (2011).
2. Röttger, M., Domenech T., van der Weegen, R., Breuillac, A. & Leibler L. "High-performance vitrimers from commodity thermoplastics through dioxaborolane metathesis." *Science* **356**, 62–65 (2017).

Composés à anneaux entrelacés et machines moléculaires



© César Manrique

Jean-Pierre Sauvage

Prix Nobel de chimie 2016, directeur de recherche émérite au CNRS, professeur émérite à l'université de Strasbourg, membre de l'Académie des sciences

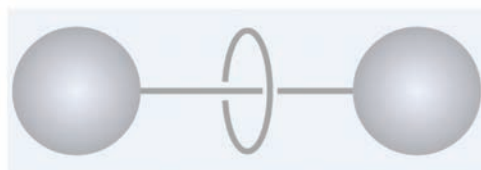
Au cours des vingt dernières années, le domaine des « machines moléculaires » a connu un développement spectaculaire. L'intérêt porté par les chimistes à de tels systèmes tient à plusieurs facteurs. En particulier, l'omniprésence des systèmes dynamiques complexes en biologie (moteurs rotatifs, comme l'ATP synthase, ou mouvements linéaires, tels la kinésine se déplaçant sur un microtubule dans la cellule) et le caractère essentiel de ces machines ou moteurs dans la plupart des processus du vivant ont incité les chimistes des molécules à créer des composés complexes dont les mouvements rappellent ceux

des systèmes biologiques. Des assemblages moléculaires dont les mouvements sont contrôlés ont ainsi été conçus et synthétisés. Ces « machines » sont encore d'une grande simplicité par comparaison aux protéines motrices du monde vivant.

Le domaine de machinerie moléculaire découle en grande partie de recherches antérieures portant sur les entrelacs ou les nœuds moléculaires. En effet, les caténanes et les rotaxanes (anneaux entrelacés ou traversés par des filaments moléculaires) sont les précurseurs des premières machines moléculaires. Les exemples les plus simples de ces composés sont représentés de manière schématisée dans la figure 1. Ils comportent chacun deux constituants élémentaires et sont donc baptisés [2]caténane ou [2]rotaxane.



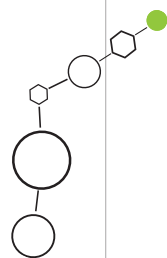
[2]caténane



© Jean-Pierre Sauvage

[2]rotaxane

Figure 1



Depuis le début des années 80, le groupe strasbourgeois s'est intéressé à ces composés. La stratégie de synthèse des caténanes, rotaxanes et nœuds moléculaires repose sur l'utilisation d'un métal de transition, utilisé comme élément « template », capable d'entremêler des fils moléculaires et de permettre ainsi la synthèse de composés à anneaux entrelacés. La réaction chimique ayant conduit de manière préparative au premier [2]caténane est schématisée dans la figure 2.

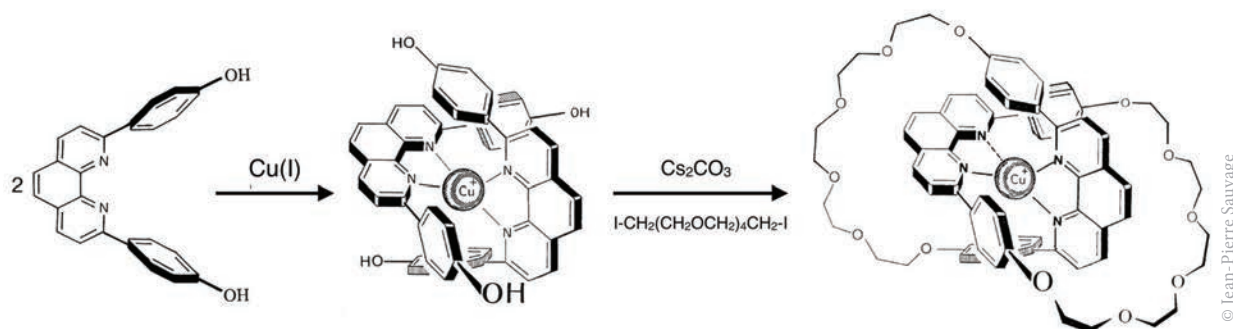


Figure 2 : La première synthèse pratique d'un [2]caténane. Formation de l'espèce comportant deux ligands encastrés autour d'un ion Cu(I) suivie de la réaction de double cyclisation conduisant à un [2]caténane - Dietrich-Buchecker et al., 1983-1984

De nombreuses équipes ont par la suite contribué au développement spectaculaire du domaine, en proposant des stratégies de synthèse originales, conduisant à des molécules ayant des propriétés électroniques et dynamiques fascinantes.

De par leur structure et leur topologie, les caténanes et rotaxanes apparaissent comme parfaitement adaptés aux mouvements de grande amplitude qui caractérisent les moteurs et machines moléculaires artificielles, comme illustré dans la figure 3.

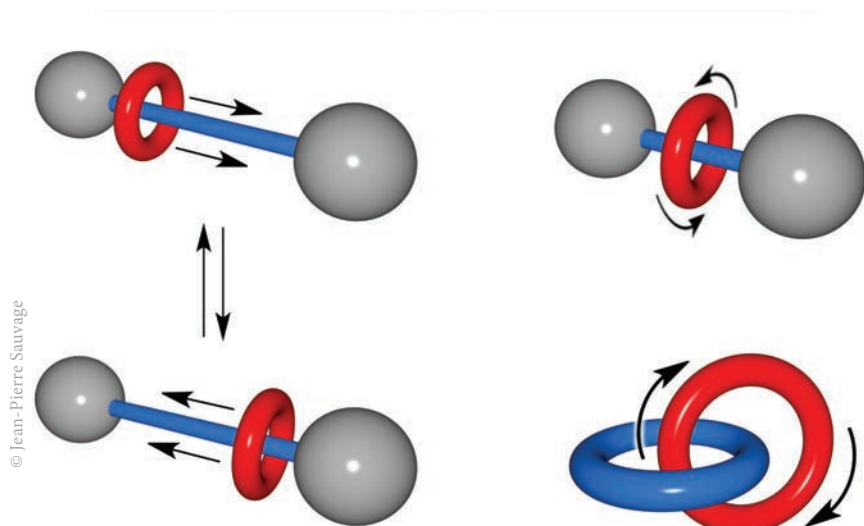


Figure 3 : Caténanes et rotaxanes en mouvement : vers des machines moléculaires

Les caténanes et rotaxanes sont parfaitement adaptés à des mouvements de grande amplitude : un anneau peut se déplacer le long d'un axe qui le traverse ou tourner autour d'un axe ou à l'intérieur d'un autre anneau.

La réaction de décomplexation du cuivre(I), indiquée dans la figure 4, représente un premier pas vers la machinerie moléculaire.

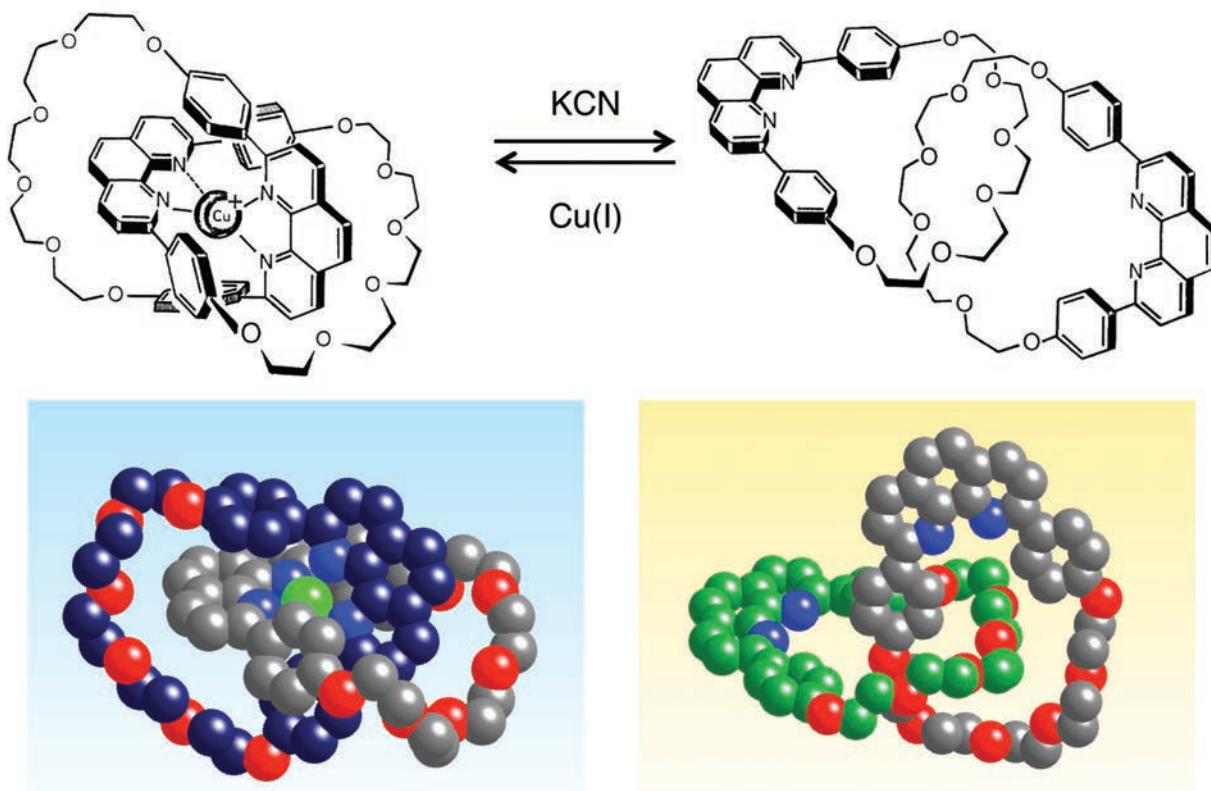


Figure 4 : En retirant l'atome de cuivre(I), la molécule subit une véritable « métamorphose ». Le complexe de Cu(I) (espèce de gauche) est globulaire et rigide alors que la structure du [2]caténane libre (à droite) est très flexible et ouverte- Dietrich-Buchecker, Pascard et collaborateurs

Dans le domaine des machines moléculaires, l'équipe strasbourgeoise a proposé plusieurs composés de type rotaxane ou caténane, dont une partie peut subir un mouvement de grande amplitude sous l'action d'un signal externe, alors que les autres constituants de l'ensemble peuvent être considérés comme immobiles. Un exemple prometteur est celui d'un « muscle », susceptible de se contracter ou de s'allonger par l'intervention d'une réaction chimique. Le principe général est indiqué dans la figure 5.

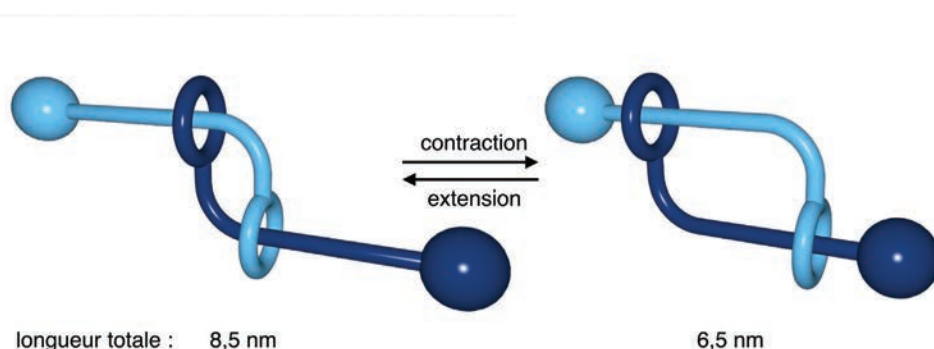
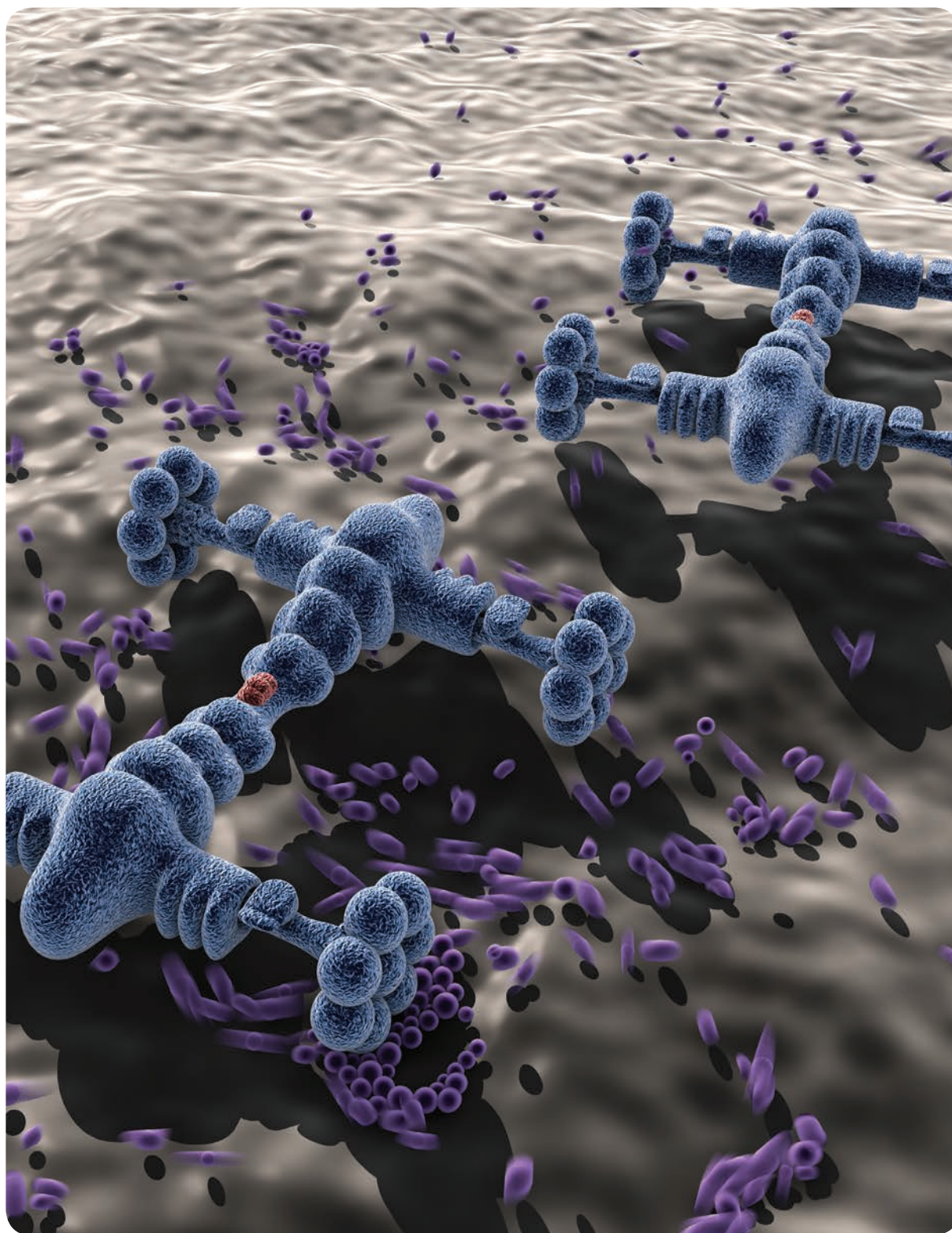


Figure 5 : Un dimère de [2]rotaxane se comportant comme un muscle - Maria Consuelo Jiménez (Chelo) et Christiane Dietrich-Buchecker

Des exemples de systèmes dynamiques se comportant comme des machines ou moteurs moléculaires ont été décrits par de nombreux groupes de recherche dont des « navettes moléculaires » (équipe de J. Fraser Stoddart) ou des moteurs rotatifs nanométriques (laboratoire de Ben. L. Feringa).

Pour le moment, les retombées pratiques de ces recherches sont encore modestes. Le stockage et le traitement d'information au niveau moléculaire semblent constituer un domaine d'application intéressant mais d'autres retombées pratiques, à caractère futuriste, méritent également d'être considérées. Par exemple, on peut envisager de fabriquer des dispositifs moléculaires capables de remplir des fonctions variées : transport de molécules ou d'ions à travers une membrane, sélection et tri de molécules différentes, élaboration de valves ou de pompes minuscules, transport ciblé de médicaments vers les cellules malades dans l'organisme, pour ne citer que quelques exemples.



© I.M.Redesniuk - stock.adobe.com

Château-observatoire Abbadia

Céline Davadan

Chargée de mission, Château-observatoire Abbadia

Voilà deux décennies que l'Académie des sciences a mis en œuvre sur le territoire d'Hendaye, en pays basque, une entreprise ambitieuse de valorisation d'un site patrimonial, architectural et culturel au service de la promotion des sciences et la diffusion de la culture scientifique¹.

Comment un projet d'une telle ampleur a-t-il vu le jour ? Quels destins ont présidé à une œuvre à nulle autre pareille ?

Sur la côte sauvage de la Corniche Basque, dominant l'Atlantique sur la pointe Sainte-Anne d'Hendaye, une insolite bâtisse aux allures de vaisseau fortifié, surplombe les paysages basques, des deux côtés du fleuve frontalier « Bidassoa ».

Magistralement mis en scène par les montagnes basques de la Rhune, des trois couronnes et du Jaizkibel, qui lui servent d'écrin naturel, le joyau architectural au vocabulaire de manoir irlandais questionne notre curiosité.



© Académie des sciences

L'Homme : Antoine d'Abbadie

C'est à l'explorateur et académicien, Antoine d'Abbadie (1810-1897) que l'on doit cette œuvre éponyme : Abbadia. Né à Dublin d'une mère irlandaise et d'un père basque, il inscrit à jamais les traits saillants de ce double héritage dans le choix architectural de son manoir irlandais et du patronyme qu'il lui consacre : Abbadia, héritage de l'Abbadia paternel, « l'Etxe » (maison en Basque) de ses aïeuls, située à Arrast dans le canton de Mauléon.

Très cultivé, aux connaissances encyclopédiques, il devient géophysicien du globe et astronome avant que François Arago (1786-1853) ne le repère et ne l'envoie au Brésil pour des observations magnétiques. Puis les missions scientifiques se succèdent au Danemark, en Algérie, en Haïti et en Ethiopie où il restera douze ans.

1 - Le mois de juin 2017 a réuni les partenaires historiques de l'Académie des sciences que sont la DRAC Nouvelle-Aquitaine, la région Nouvelle-Aquitaine, le département des Pyrénées-Atlantiques et la ville d'Hendaye pour la signature d'une convention pour la poursuite des restaurations du Château-Observatoire Abbadia et de son parc.



© J.-P. Oger

De ces années d'aventures, il rapporte une carte précise de ce pays peu connu, mais aussi de très nombreuses études météorologiques, linguistiques, ethnologiques et philologiques. Outre ses travaux de cartographie du pays, il en étudia la géologie, la géographie et l'archéologie ainsi que l'histoire naturelle. À la suite de cette expédition, il publia ses rapports concernant la topographie (1860-1873), la géographie (1890), un catalogue de manuscrits éthiopiens (1859) et le premier dictionnaire amharique-français (1880). En récompense de ses voyages, il reçut la médaille d'or de la Société de géographie, la médaille Arago de l'Académie des sciences et la Légion d'honneur. Les honneurs l'accompagnent en reconnaissance de ses engagements de membre, vice-président et président de l'Académie des sciences, président de la Société de géographie, membre du Bureau des longitudes, président de la Société de linguistique, président de la Société de philologie, maire de Hendaye...

Sa vie scientifique n'aura de cesse et se poursuit à travers le monde lors d'expéditions pour continuer l'étude du magnétisme terrestre, observer des éclipses solaires (en Norvège en 1851, en Castille en 1860 ou en Algérie en 1867) ou le passage de Vénus devant le Soleil (Haïti 1882).

Ainsi, c'est dans la deuxième partie de sa vie, que le voyageur, homme de terrain, devient homme de laboratoire. Pour abriter le lieu de ses travaux pratiques et de ses observations au service du développement des sciences, il décide de créer Abbadia sur le domaine qu'il s'est constitué au pays basque. Il matérialise ainsi son rêve de manoir irlandais, d'Etxe basque, de château néogothique, mais avant tout de lieu d'observation, d'étude et de développement des sciences et de la connaissance.

Le lieu : Abbadia

La présence d'une pensée, la qualité d'un environnement, une rencontre entre deux hommes de génie sont les différents aspects, interdépendants, qui caractérisent ce lieu d'exception.



© Pierre Salzi

De 1864 à 1879, Antoine d'Abbadie confie les plans et les élévations d'Abbadia à Eugène Viollet-le-Duc (1814-1879), architecte considéré comme l'un des fondateurs de l'histoire de l'art en France. Membre de la jeune commission des monuments historiques, le théoricien auteur du Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e au XVI^e siècle réalise pour Antoine d'Abbadie une œuvre intégrale, un Unicum.

Dans une fulgurante harmonie, l'application des théories du fameux architecte s'accordent aux intentions du commanditaire. Abbadia, véritable « livre de pierres », témoigne ainsi des influences médiévales et orientalistes qui ont si fortement marqué le XIX^e siècle et du destin de son commanditaire, Antoine d'Abbadie.

À l'intérieur, la surprise est totale et systématique pour l'hôte de passage, car rien ne laisse deviner la richesse et l'exotisme de la décoration. Néogothique, ottoman, ethnique, chaque pièce à son code chromatique.



© PhotoClub Hendaye

À l'instar des chapitres d'un récit de voyage, le mobilier, le raffinement des décors sculptés et les toiles peintes ou tissées, thématisent le salon arabe, les chambres de Jérusalem ou d'Ethiopie, traduisant ainsi les engagements de la vie d'Antoine d'Abbadie.

« Le bonheur dans le travail » ; « ma foi et mon droit » ; « plus être que paraître ». Aux trois devises qui ont guidé sa vie, Antoine d'Abbadie consacre pour Abbadia un plan en Y : une géométrie quasi organique, tripode des axes d'une vie dédiée aux sciences, à Dieu et à l'humanité.



© C. Rebière-Balloud

Par cette orientation, le voyageur, l'arpenteur inscrit le plan de sa demeure dans une géométrie très originale en forme de compas. Ainsi, Antoine d'Abbadie offre au ciel, avec la complicité de son architecte, la vue de l'outil de la géométrie, des géographes, mais aussi des bâtisseurs de cathédrales.

Les extrémités des trois « membres » d'Abbadia constitués par l'observatoire, la chapelle et l'habitation forment à leur tour un triangle équilatéral parfait dont le centre géométrique est occupé par la statue du jeune éthiopien, Abdulah, porte-lumière des 8 peintures du vestibule.



© PhotoClub Hedaye

Le programme de peintures ethnographiques, inédit dans l'art à cette époque, fait d'Abbadia l'ambassade d'une Ethiopie pour laquelle d'Abbadie ambitionnait de devenir consul.

Comme un hôte, spectateur privilégié, le visiteur est accueilli dans ce patrimoine intime où la pensée s'égène au fil des maximes et devises inscrites au cœur d'une mise en scène magistrale.

Car d'Abbadie, homme de sciences et de foi, convoque à Abbadia, le sentiment, l'imagination, la foi, la poésie, l'art, la philosophie, la religion, tous les ingrédients du « grand côté de l'humanité », comme le disait Victor Hugo.



© PhotoClub Hedaye

Les décors et le mobilier, intacts, demeurent à la place originellement choisie par le commanditaire. Ils prolongent l'accord immuable d'Abbadia avec d'Abbadie.

Abbadia ne se visite pas comme un musée, c'est une maison qui relate l'histoire des relations locales et internationales de d'Abbadie, son intime et son collectif. Franchir le seuil d'Abbadia, c'est être invité à rencontrer l'esprit d'une vie qui s'y est déployé. Pour d'Abbadie le voyageur, Abbadia est son ermitage, son dernier

refuge, l'aboutissement de tous ses engagements, de toutes ses recherches.

« Memento Morieris » par cette sentence écrite dans la chapelle d'Abbadia, d'Abbadie se convoque et convoque ses successeurs : Conserver l'esprit des lieux, poursuivre l'œuvre !

Le legs : la fondation Antoine-d'Abbadie

Si Antoine d'Abbadie a voulu passer à la postérité, c'est par ses œuvres et par une fondation scientifique : la fondation Antoine d'Abbadie.

En 1895, sans descendance et de son vivant, le voyageur et savant, alors président de l'Académie des sciences (1892-1897) lègue à ses pairs de l'Académie « ce corps d'élite qui a pour lui le passé, le présent et l'avenir. », son Château-observatoire dit : « Abbadia ».

La donation autorisée par décret du président de la République du 9 novembre 1895 prend effet à la mort de Virginie d'Abbadie, épouse d'Antoine d'Abbadie, en 1901. Cette donation, à l'origine de la Fondation Antoine d'Abbadie, stipule dans une des clauses particulières, que l'Académie des sciences devra poursuivre les travaux scientifiques entrepris dans l'observatoire d'Abbadia.

Ainsi, il y a 120 ans, Abbadia est devenu l'Observatoire national de l'Académie des sciences avec les collaborations scientifiques successives des observatoires de Paris et de Bordeaux. Fidèle à ses engagements, l'Académie des sciences poursuit et honore à Abbadia ses missions d'encouragement à la vie scientifique et de diffusion de la science en tant que composante de la culture.

Une vocation patrimoniale

L'année 1975 marquera une charnière importante dans la vie scientifique d'Abbadia. En effet, les développements conjoints de la station balnéaire d'Hendaye, de la pollution



© PhotoClub Hendaye



lumineuse qui l'accompagne, associées aux caprices météorologiques du littoral basque, compromettaient la régularité et la précision des observations. À l'heure d'une politique nationale de modernisation des équipements et des observatoires en régions, l'Académie des sciences pris la décision douloureuse, mais nécessaire, d'arrêter l'activité du laboratoire astrométrique d'Abbadia.

Par arrêté ministériel du 21 décembre 1984, Abbadia est classé monument historique (façades, toitures et pièces). La collection de mobilier fut classée au même titre en 2002 après inventaire par le Conservateur des Antiquités et Objets d'Art de Bayonne. La collection scientifique le fut en 2004 après inventaire par le Groupe pour le Patrimoine Astronomique (mission nationale d'inventaire du patrimoine astronomique français) (Davoigneau 2002).

En 1996, Jean Dercourt, nouvellement élu secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, engage une politique culturelle, patrimoniale et scientifique ambitieuse qui s'accompagne de l'ouverture d'Abbadia au public en qualité de centre de culture scientifique.

Ainsi l'Académie des sciences déploie sa mission pour le rayonnement et la diffusion de l'histoire et des sciences, et répond à l'objectif de rendre les carrières scientifiques attractives auprès des jeunes, par l'inscription de la culture scientifique et technique dans une approche pédagogique transversale et pluridisciplinaire.



© Balloide

Simultanément, une campagne de restauration d'une ampleur exceptionnelle et inédite est engagée. Elle concerne le bâtiment, les décors, les mobiliers meublants, les textiles, et une collection unique au monde d'instruments scientifiques, notamment en science physique pour l'astrométrie.

Restaurations : phase 1

En effet, plus d'un siècle après sa construction, exposé aux vents et aux tempêtes, l'état sanitaire d'Abbadia est devenu préoccupant. L'Académie engage de 1998 à 2011, un premier programme de restauration. Envisagé dès 1993 dans un rapport de Bernard Voinchet, architecte en chef des monuments historiques, il a été conduit sur plus de 12 années, soit presque autant que les 15 années nécessaires à l'édification d'Abbadia.

Le grand chantier de restauration du clos et du couvert, des collections d'objets, mobiliers et des décors s'inscrit dans un partenariat intellectuel et financier. Il a bénéficié, d'une part, de la reconduction du protocole d'accord quinquennal, signé entre le ministère de la Culture et de la Communication et l'Institut de France, relatif à la conservation des immeubles protégés au titre des monuments historiques propriétés de l'Institut ou de ses académies. Et d'autre part, des soutiens de la DRAC Aquitaine, du Conseil régional d'Aquitaine et du Conseil général des Pyrénées-Atlantiques.

Sous la conduite de l'architecte en chef des monuments historiques, les différentes études ont permis

de développer considérablement les connaissances sur Abbadia et les conditions de son édification. De l'élaboration des plans jusqu'aux éléments décoratifs sculptés du mobilier, l'action déterminante d'Antoine d'Abbadie et de son épouse Virginie a ainsi pu être soulignée.

L'inventaire des instruments scientifiques d'Abbadia a notamment permis de mettre en évidence un ensemble cohérent d'instruments décimaux (grande lunette méridienne, horloges, lunette de voyage), ainsi que des générations successives d'une même chaîne de mesure du temps particulièrement remarquables. En conséquence, grâce au concours sans faille de l'Institut de France et à l'excellente coordination entre les services de la DRAC d'Aquitaine et la CAO A, Jean Davoigneau a pu en novembre 2001 présenter au classement au titre des Monuments Historiques une grande partie de cette collection d'instruments. Par ailleurs l'inventaire a permis de jeter un regard neuf sur les travaux scientifiques de d'Abbadie et de ses successeurs, ce qui a suscité des campagnes de recherches dans divers fonds d'archives, recherches qui ont abouti à la production d'une publication et à des communications à des colloques internationaux.

En 2009 et 2010, les derniers travaux de cette première phase verront leur achèvement par la restauration et l'aménagement de la salle d'étude d'Antoine d'Abbadie pour la mesure de la variation de la verticale. Ces interventions, d'un montant global de 2 697 000 € TTC, ont pu être menées grâce à des conventions cadre qui regroupaient l'ensemble des partenaires associées à ces restaurations.

Fruit d'un partenariat remarquable qui se prolonge depuis plus de vingt ans entre L'Etat –DRAC Aquitaine, la Région Aquitaine, le Conseil Général des Pyrénées-Atlantiques et l'Académie des sciences, cette opération a été nourrie par le dialogue, la mutualisation des moyens financiers et des compétences. Animés par le souci commun d'assurer la préservation de ce joyau architectural, les acteurs mobilisés, réunis en comité



de suivi, se sont rencontrés de manière récurrente, tout au long de cette vaste entreprise, afin d'enrichir les débats et d'aboutir à des prises de décisions collégiales.

Au regard de l'extrême subtilité des richesses patrimoniales d'Abbadia, l'enjeu de la mise en relation des collections avec le visiteur et l'organisation des restaurations deviennent un enjeu quotidien pour le collectif réuni autour de la renaissance d'Abbadia. Collectif renforcé depuis 2011, avec la signature d'un contrat de délégation de service public avec la commune de Hendaye.

Depuis six ans, les élus et les équipes de l'office de tourisme accueillent et guident les visiteurs à la découverte d'une œuvre où les sciences sont mises en art.

Après cette première campagne de remise en état et 20 ans d'exploitations et d'ouverture aux publics, l'Académie des sciences engage un nouveau programme de restaurations, de mises aux normes et d'achèvement des restaurations intérieures, en accord avec Hendaye/Hendaye Tourisme, gestionnaire du site, et de la DRAC Nouvelle Aquitaine, maître d'ouvrage délégué. En lien avec le nouveau pavillon d'accueil, ce programme permettra de faire face aux altérations et aux désordres qui apparaissent sur les façades et les toitures et de mettre l'édifice en conformité avec les normes d'accessibilité aux personnes à mobilité réduite. Il permettra également d'achever la restauration intérieure des salles historiques d'Abbadia (chambre d'Antoine d'Abbadie, chambre de l'Empereur, office et cuisine) ainsi que de certaines pièces annexes. Enfin ce programme comprend également la restauration du portail situé à l'entrée de la propriété.

Restaurations : phase 2

La deuxième partie du programme concerne la restauration du parc d'Abbadia. Ce parc a été conçu par l'architecte paysagiste, Eugène Bühler pour assurer la mise en valeur d'Abbadia. Dans la continuité de la restauration de l'édifice, il convient de réaliser la restauration du parc qui lui sert d'écrin de manière à constituer une restauration globale de cet ensemble remarquable tant sur le plan architectural que paysager.

Pratiques scientifiques : joie et émotion du plaisir de la découverte

Aux côtés de ses partenaires institutionnels et culturels hendayais et aquitains, l'Académie des sciences œuvre pour une pratique scientifique source de joies et d'émotions pour le plaisir de la découverte, de la connaissance. C'est dans cet esprit que l'Académie poursuit ses engagements, sans oublier la demande d'Antoine d'Abbadie de maintenir la première vocation d'Abbadia, d'être un observatoire scientifique.

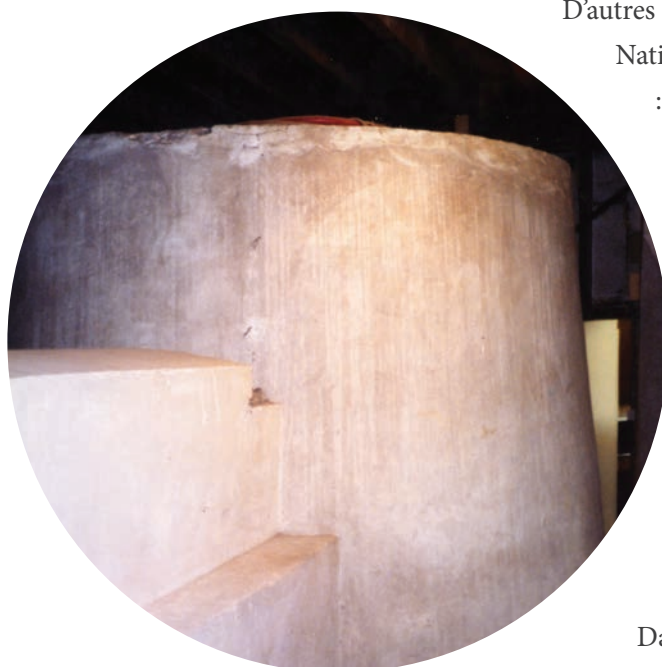
En partenariat avec l'institut de recherche en astrophysique et planétologie, Abbadia est équipé d'une station sismique et est une des vingt stations observatoire du réseau national de surveillance sismique déployé sur le versant français des Pyrénées.

En partenariat avec l'IMCCE de l'Observatoire de Paris/CNRS, GEOPS/Université Paris-Sud/CNRS, l'Observatoire d'Abbadia est également l'un des centres d'observations du réseau FRIPON, acronyme de l'anglais Fireball Recovery and InterPlanetary Observation Network. Ce réseau de caméra unique au monde est destiné à surveiller le ciel de France en continu, aussi bien de nuit que de jour, afin de détecter et de surveiller les météores, leur trajectoire avec atterrissage éventuel. En effet, certaines météorites sont

les seules roches existantes auxquelles ont accès les scientifiques, unique témoignage de la formation et de l'évolution du système solaire.

Abbadia présente également dans son observatoire, une collection d'instruments scientifiques du XIX^e et XX^e siècle, illustrant les domaines de l'astronomie et de la géophysique. Cette collection comprend notamment un inclinomètre, un gravimètre et un sismomètre installés récemment par l'Institut de physique du globe de Paris (IPGP). Ces instruments implantés au contact de la roche-mère mesurent et montrent en direct, sur un écran installé dans l'observatoire, les variations de la verticale. Ces variations matérialisent l'élasticité et les déformations du plateau terrestre, notamment dans le cas des secousses sismiques ou des marées océaniques et terrestres.

Ces observations s'inscrivent dans la continuité des recherches et des observations d'Antoine d'Abbadie, recherches pour lesquelles il a inventé un instrument scientifique qu'il a appelé « Nadirane ». Ce mot vient de Nadir, en opposition à Zénith. Deux Nadiranes existent à Abbadia : la première dans le parc, dont le bâti souterrain plonge à 8 mètres de profondeur pour une longueur de 71 mètres ; et la seconde à l'intérieur du château et dont la cuve reste le seul vestige visible dans la cave de l'observatoire.



Nadirane

D'autres instruments, prêtés par l'Institut Géographique National (IGN), sont également présentés aux visiteurs : une chaudière hypsométrique, un baromètre, un cercle horizontal, un théodolite coudé, un théodolite magnétique (magnétomètre), une boussole d'inclinaison, et un sextant. Cet ensemble d'instruments scientifique du XIX^e siècle a accompagné Antoine d'Abbadie lors de ses campagnes de cartographie du nord de l'Éthiopie ou des mesures de l'activité magnétique terrestre, témoignant ainsi de l'histoire de la géophysique du globe.

Dans le laboratoire astrométrique, la lunette méridienne a la particularité de disposer d'une graduation décimale. Elle est l'instrument roi des laboratoires astrométriques du XIX^e siècle. Elle tient son nom du seul mouvement qui lui soit possible : un déplacement vertical qui permet de regarder du point cardinal sud au point cardinal nord en passant par le zénith. En choisissant de graduer son cercle de mesure en grade et non pas en degré, Antoine d'Abbadie fait de sa méridienne, un exemplaire unique au monde.

Afin de valoriser les fonds scientifiques d'Abbadia pour la promotion des sciences à l'attention des publics scolaires, une convention de partenariat a été signée entre l'Académie des sciences et le rectorat de Bordeaux, pour la formation des enseignants par le biais de cours/conférences mensuels animés des mois de novembre à juin par des académiciens, spécialistes dans les domaines scientifiques présents à Abbadia (géophysique du globe – astronomie – histoire des sciences – histoire de l'art). De même des parcours



© Académie des sciences

pédagogique « Planète Abbadia » sensibilisent les élèves à la démarche scientifique, dans une approche historique et multidisciplinaire.

Aujourd'hui Abbadia retrouve sa splendeur passée et poursuit sa vocation scientifique grâce aux concours des partenariats exemplaires menés depuis plus de vingt ans, avec la DRAC Nouvelle-Aquitaine, la région Nouvelle-Aquitaine, le département des Pyrénées-Atlantiques et la ville d'Hendaye.

Les célébrations du 350^e anniversaire de l'Académie des sciences

En 2016, l'Académie des sciences a célébré ses 350 ans. Depuis sa fondation, la Compagnie, comme on aimait l'appeler à ses débuts, est à la fois une vitrine de la pensée scientifique et un intense lieu d'échanges entre les disciplines. Tous les grands savants, français et étrangers, qui en ont été membres, chacun en leur temps, ont été des acteurs éminents des avancées qui ont modifié en profondeur la société, celle d'hier, tout comme celle d'aujourd'hui. Voici les temps majeurs de ces célébrations



© Juliette Agnel

Cédric Villani, membre de l'Académie des sciences sous la coupole des 350 ans

La Coupole des 350 ans

L'organisation exceptionnelle de la séance solennelle « La Coupole des 350 ans » a permis de retracer l'évolution de la science depuis 1666 mettant en exergue les ruptures de paradigme.

En duplex de la Coupole à la station spatiale internationale

Point d'orgue médiatique, l'Académie des sciences, en partenariat avec le Cnes, l'Esa et l'Inserm, a organisé, le 6 décembre 2016, une vidéotransmission avec la station spatiale internationale (SSI) à l'occasion du vol du spationaute français Thomas Pesquet de l'Agence spatiale européenne. À cette occasion, une centaine d'adolescents a pu poser des questions à Thomas Pesquet sur les différentes expériences scientifiques menées au sein de la SSI.



© ESA

Thomas Pesquet

Les IV^e Rencontres capitales

Lors des IV^e *Rencontres capitales*, en présence du Premier ministre, 50 personnalités de renommée internationale – académiciens, scientifiques, intellectuels, responsables politiques, acteurs culturels, artistes, écrivains, responsables économiques – ont dialogué autour du « sens du progrès » en présence de plus de 3000 personnes venant de la société civile.

Les animations en province

La province n'a pas été oubliée lors de ces célébrations, avec les conférences sur l'univers de Louis Pasteur tenues à Arbois dans la propriété du savant, l'annonce à la villa Lépinay du Ry-Chazerat du projet de développement d'un centre pédagogique pour collégiens et lycéens, ou comme encore à Hendaye, au château-observatoire d'Abbadia, la tenue d'un rallye scientifique à destination des enfants et des familles de la région.

© DR



*La maison Louis Pasteur,
à Arbois*

© Pierre Salzi



La villa Lépinay, au Ry-Chazerat

© Barbara Cerovsek - stock.adobe.com



*Le château-observatoire
d'Abbadia, à Hendaye*

© DR



*La maison Louis Pasteur,
à Arbois*

© Pierre Salzi



La villa Lépinay, au Ry-Chazerat

© Pierre Salzi



*Le château-observatoire
d'Abbadia, à Hendaye*

La journée mondiale des sciences

L'Académie des sciences a organisé, le 27 septembre 2016, la journée mondiale des sciences à laquelle ont pris part 57 représentants d'Académie des sciences étrangères. En présence du président de la République Française, de la ministre de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, du secrétaire d'État à la Recherche, ces académies ont adopté une déclaration commune, « Science et Confiance ».

© F. Daburon et N. Dickinson



François Hollande, président de la République française, avec Catherine Bréchignac et Pascale Cossart, Secrétaires perpétuels de l'Académie des sciences (de gauche à droite)

Science et confiance Déclaration commune sur la science Paris, 27 septembre 2017

Connaître, savoir, comprendre ce qui nous entoure et ce que nous sommes est l'un des moteurs de la vie humaine. Le savoir scientifique, construit au fil des siècles, a toujours été une source indéniable de progrès. C'est un levier de culture, de développement, de coopérations créatrices, dont les applications sont parfois inattendues. La connaissance scientifique, son essor par la recherche, et les technologies qui l'accompagnent, appartiennent au patrimoine de l'humanité, qu'il est urgent de transmettre à tous afin de permettre à chacun de se l'approprier.

Face aux enjeux majeurs de ce début du XXI^e siècle - augmentation sans précédent de la population mondiale, raréfaction des ressources naturelles, déséquilibre des développements, changement des équilibres planétaires - il est primordial que nos sociétés s'appuient sur la démarche raisonnée de la pensée scientifique pour répondre de manière responsable aux questions d'aujourd'hui et aborder demain avec sérénité.

La science, partagée d'une manière universelle, maîtrisée dans ses applications, consolidée au profit des populations - et non à leur détriment - est à même de répondre à bien des défis. L'erreur serait cependant de lui demander de répondre à tout. Elle ne le peut. À l'inverse, chaque regain d'obscurantisme constitue une régression majeure pour nos civilisations.

De tout temps, les grandes avancées humaines ont résulté de la multiplication des échanges, depuis les grandes migrations de la préhistoire jusqu'à l'univers des déplacements virtuels d'aujourd'hui. Grâce au numérique, le temps de la communication s'est considérablement réduit. Ce nouveau moyen de transmission crée parfois des raccourcis qui suscitent de la confusion et nous privent des pauses nécessaires à la réflexion. Apprivoiser ce nouvel outil est alors essentiel pour reprendre le temps de penser.

Les deux constructions humaines que sont la science et la société interagissent entre elles. Elles ne doivent en aucun cas s'ignorer ou se combattre mais au contraire évoluer en symbiose pour permettre à l'Homme d'avancer.

À l'écoute des doutes qui s'installent parfois dans nos sociétés quant à l'utilité de la science, les Académies réunies à Paris ce 27 septembre 2016 souhaitent exprimer leur détermination à travailler au sein de la société. Elles renouvellent leur confiance dans l'éducation et dans la capacité de la recherche scientifique à contribuer au progrès de l'humanité.



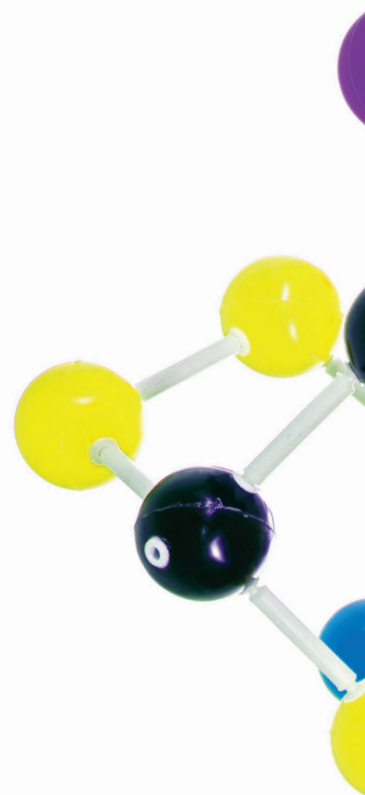
Représentants des académies étrangères et académiciens français réunis sous la pyramide du Louvre

© F. Daburon et N. Dickinson

ISSN 2102-5398



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences



Académie des sciences

23 quai de Conti - 75006 Paris

Tél.: 01 44 41 44 60

www.academie-sciences.fr