



La guerre des métaux rares La face cachée de la transition énergétique et numérique

G. Pitron

Préface : H. Védrine

296 p., 20 €

Les Liens qui Libèrent, 2018

Résultat de six années d'enquête menée dans une douzaine de pays par Guillaume Pitron, journaliste spécialisé dans la géopolitique des matières premières, *La guerre des métaux rares* est un livre grand public qui vise à nous éclairer sur la face cachée de la transition énergétique et numérique, nouvelle grande aventure de l'humanité. On nous répète en effet tous les jours que l'avenir de notre planète et de l'humanité repose sur les énergies vertes qui nous permettront de nous affranchir des énergies fossiles, mais ce qu'on nous dit beaucoup moins, c'est le prix qu'il nous en coûte réellement. Les technologies vertes ne le sont peut-être pas tant que ça : leur impact écologique s'avère même très noir. En effet, elles nécessitent le recours à des minerais rares – parmi lesquels les terres rares aux exceptionnelles propriétés électromagnétiques, optiques, catalytiques et chimiques – dont l'exploitation est tout sauf propre, générant de véritables désastres écologiques, notamment en Chine ou en République démocratique du Congo.

D'autre part, le marché de ces métaux rares est devenu très stratégique. La Chine, moins regardante sur la qualité de son air et de ses sols, en a progressivement pris le contrôle à partir des années 1980 (elle produit par exemple actuellement 95 % des terres rares – dont on consomme de l'ordre de seulement 17 g/an/ha, mais sans lesquelles notre monde tournerait au ralenti), et ce grâce aux Occidentaux qui le lui ont

offert sur un plateau... d'argent, comme nous l'explique l'auteur, s'appuyant sur de nombreux témoignages et références⁽¹⁾. Ce marché n'est ni stable ni prévisible et laisse présager des conflits géopolitiques majeurs. Depuis dix ans, la Chine a également fait grâce à cela de stupéfiants progrès technologiques – comme en témoigne par exemple l'alunissage de Chang'e-4 sur la face cachée de la Lune début janvier –, et la ville de Baotou en Mongolie intérieure est devenue la « Silicon Valley des terres rares ». Derrière elle, on assiste aussi à la montée en puissance d'autres pays en développement.

Ce regard porté sur les dessous des avancées technologiques nous place face à de nouveaux défis, comme de trouver des solutions plus propres, de relancer l'exploitation des ressources minières⁽²⁾ de façon écologique, de trouver des moyens viables de recycler les matériaux composites... Pour cela, il est plus que nécessaire d'investir dans la recherche ! L'ouvrage se conclut par une mise en garde sur notre mode de fonctionnement, nous incitant à accepter de réduire notre consommation, à bannir l'obsolescence programmée – « La meilleure énergie est celle que nous ne consommons pas » –, à payer plus cher pour acheter « propre »... sous peine de vivre un jour dans un monde façon Mad Max. À lire et à faire lire !

S. Bléneau-Serdel

Ce livre a reçu le « coup de cœur des médias » du 31^e Prix Roberval⁽³⁾.

(1) Parmi ces références, on notera l'article publié par Régis Poisson en décembre 2012 dans nos colonnes (*La guerre des terres rares*, *L'Act. Chim.*, 2012, 369, p. 47), qui est aussi cité pour son témoignage concernant Rhône-Poulenc dont l'usine de La Rochelle produisait une grande part des terres rares mondiales dans les années 1980 avant que cette production, coûteuse et polluante, ne soit confiée à la Chine.

(2) Dans la course aux nouveaux gisements, les États sont en train de se partager le domaine maritime et la France est bien placée car elle se classe 2^e derrière les États-Unis avec 11 millions de km². Notons qu'en plus du partage de la surface des océans, on pourrait bientôt voir apparaître des « orpailleurs spatiaux », les États-Unis ayant voté un texte en 2015 sur le droit d'appropriation des richesses se trouvant dans l'espace...

(3) Voir encadré p. 53.



Les antibiotiques, c'est la panique !

Les solutions pour lutter contre
la résistance des bactéries...

E. Ruppé

160 p., 18 €

Éditions Quæ, 2018

Encore un livre, me direz-vous, sur la problématique de l'antibiorésistance ! C'est vrai mais bien que de taille modeste, ce livre facile à lire, non dénué d'humour, est une vraie mine de renseignements qui nous aide à comprendre comment on en est arrivé là. Remarquablement didactique, vous saurez tout sur cette évolution inquiétante de la résistance des bactéries aux antibiotiques qui, aujourd'hui, menace l'humanité (dixit l'OMS).

Après l'âge d'or (1940-1980) que fut celui de la découverte des antibiotiques qui ont contribué à sauver tant de vies lors de la Seconde Guerre mondiale, on en vient aux années 1980, avec l'apparition des premiers signes de résistance des bactéries. Toutefois, la découverte incessante de nouveaux antibiotiques dotés de mécanismes d'action différents conduira la communauté scientifique et médicale à ignorer le danger.

Au sein d'un second chapitre, séparant le bon grain de l'ivraie, s'il existe des bactéries pathogènes et pathogènes opportunistes, l'auteur nous rappelle que la plupart des bactéries vivent en parfaite symbiose avec l'homme, faisant de nous des holobiontes ou supra-organismes. Le microbiote intestinal est l'exemple flagrant de cette symbiose réussie.

Certes, nous l'avons dit, la résistance des bactéries à certains antibiotiques n'est pas nouvelle, mais dans un troisième chapitre, l'auteur décrit par le détail l'émergence et la diffusion de ces nouvelles bactéries multirésistantes, hors du champ de l'hôpital. Pour illustrer ce

propos, deux exemples typiques sont développés : celui de la résistance des staphylocoques dorés à la méthicilline connue sous le nom de SARM, et celui de la résistance aux carbapénèmes chez les bactéries à Gram négatif, due à la céfotaximase Munich. Cette β -lactamase CTX-M est tombée «amoureuse» de notre colibacille *E. coli*, l'une des bactéries amies qui peuplent notre intestin, la prévalence de ces *E. coli* CTX-M étant particulièrement élevée dans les régions de moindre hygiène. Susceptible de voyager, on peut retrouver cette *E. coli* BLSE porteuse de cette β -lactamase à spectre étendu chez des sujets n'ayant pas fréquenté l'hôpital et ses risques d'infections nosocomiales, ou ayant pris des antibiotiques.

Quant à la parade qui consiste à mettre au point des antibiotiques non naturels comme l'acide nalidixique, et de là les fluoroquinolones, elle s'avérera un échec : il y a bien là encore apparition de résistances. Les bactéries ne manquent en effet pas d'imagination pour résister, soit en partageant de l'ADN sous forme de plasmides, considérée comme l'option à moindre coût, soit par l'existence de gènes de résistance acquise lors de l'évolution (exemple de la colistine), soit par l'acquisition d'enzymes de dégradation comme les β -lactamases ou modifiantes. Ceci doit nous inciter à raison garder, et à ne pas crier victoire trop tôt comme c'est souvent le cas après la découverte de tout nouvel antibiotique. Toutefois, l'auteur se garde bien d'être anxigène, même s'il n'apporte pas de solutions miracles pour lutter contre la résistance des bactéries. C'est ainsi qu'en fin de livre sont évoquées quelques alternatives à l'antibiothérapie comme la phagothérapie, les éligobiotiques, les anticorps monoclonaux et les peptides antimicrobiens, autant de pistes qui restent encore à valider.

Ce n'est donc qu'en utilisant les antibiotiques à bon escient, tant chez l'homme que chez l'animal, et en améliorant la couverture vaccinale de façon à limiter la survenue de maladies infectieuses, que l'on limitera cette antibiorésistance. Néanmoins, il y a urgence à trouver de nouvelles molécules ou pistes thérapeutiques et pour cela, il faudra prendre en ce domaine des mesures incitatives en faveur de la recherche, tant universitaire qu'industrielle. Ne pas baisser les bras : telle est la ligne de conduite à tenir sachant que la lutte contre l'antibiorésistance est l'affaire de chacun de nous.

Claude Monneret



Arsenic

Exposure sources, health risks, and mechanisms of toxicity

J.C. States (ed.)

560 p., 175,50 €

Wiley, 2016

L'arsenic (As) est un élément omniprésent dans notre environnement connu depuis la nuit des temps. Sous le nom d'arsenic, il se retrouve sous forme de plusieurs espèces chimiques, dont la valence va de moins trois (As^{-3}) à plus cinq (As^{+5}), en passant par le cation trivalent (As^{+3}), de loin le plus étudié. Cette spéciation est particulièrement importante pour certains éléments minéraux (As, Cr...) dont au moins une espèce chimique est indispensable à la vie (oligoélément), alors que d'autres composés sont des toxiques redoutables pour les organismes vivants.

Ainsi dans le cas de l'arsenic, certains organismes aquatiques (crustacés, mollusques, poissons, algues) sont riches en composés biologiques arséniés, de nature organométalloïdique, qui sont peu toxiques (arsénobétaïne, arsénolipides, arsénoglucides...), alors que d'autres composés, en particulier des molécules minérales sous forme trivalente (As^{-3} , As^{+3}) sont extrêmement toxiques. Fait paradoxal, alors qu'en Chine ou aux Indes, l'arsenic est utilisé en médecine traditionnelle depuis des millénaires, ce n'est qu'assez récemment que l'anhydride arsénieux (As_2O_3) est rentré dans des thérapies anticancéreuses spécifiques (dont certaines sous formes nanométriques).

Et pourtant dans l'opinion publique, l'arsenic est considéré comme un modèle de poison, son usage criminel ayant apporté la célébrité à certains (Rodrigo Borgia devenu le pape Alexandre VI...). Dans ce contexte plein de contradictions, cet ouvrage est le bienvenu. Chaque chapitre est rédigé par des spécialistes internationaux qui s'appuient sur les données scientifiques les plus récentes agrémentées d'une abondante littérature.

Il est étonnant de remarquer qu'au niveau du public, il y a une grande méconnaissance du réel impact de l'arsenic sur l'environnement... sujet qui par ailleurs

est peu développé dans cet ouvrage. Si la présence de l'arsenic dans l'écorce terrestre est assez faible (en moyenne 2 mg/kg), on peut trouver par contre de fortes concentrations sur les lieux d'extraction de métaux (Zn, Pb, Ag, Cu, Au...), entraînant une contamination importante des nappes phréatiques environnantes. Ceci s'observe actuellement dans plusieurs pays miniers (Chine, Mongolie, Chili...), mais aussi en France autour d'anciens sites miniers (Salsigne, Cévennes...). Pour l'arsenic, un autre rapport environnemental est lié à la déforestation (Bangladesh, Amazonie...). Il s'agit d'une très grave menace pour notre planète. Ainsi, près de 140 millions de personnes dans 70 pays seraient victimes d'une telle pollution, dont 70 millions pour le seul Bangladesh, victime de la déforestation des pentes de l'Himalaya.

Mais revenons à cet excellent ouvrage, scindé en quatre parties. La première partie, très documentée, est consacrée à l'exposition et au métabolisme des composés de l'arsenic. Dans ce dernier domaine, des recherches récentes en Chine et au Japon ont permis de détecter parmi les métabolites urinaires secondaires des composés arséno-soufrés qui seraient impliqués dans les cancers vésicaux fréquents avec l'arsenic. Dans la seconde partie sont développées les pathologies et l'épidémiologie liées à toutes ces maladies.

Contrairement à d'autres éléments chimiques, l'arsenic a de multiples cibles : la peau (dans laquelle il se lie à la kératine puis est lentement excrété), les muqueuses, le système cardiovasculaire (très souvent impacté), respiratoire (surtout en milieu professionnel), nerveux, sans oublier le foie, les reins et la vessie. À forte dose, ces atteintes peuvent entraîner de graves brûlures cutanées, des inflammations gastro-intestinales, mais aussi des atteintes hépatiques, rénales, et en final un arrêt cardiaque. À plus long terme, ces atteintes multiples peuvent aboutir à divers cancers (poumon, foie, vessie, prostate...), ce qui a conduit le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) à ranger l'arsenic et ses composés, dont l'arséniure de gallium ($AsGa$) très utilisé en microélectronique, parmi les cancérogènes avérés chez l'homme (groupe 1).

Pour un chimiste, la troisième partie consacrée aux mécanismes moléculaires est particulièrement attrayante, tant ils sont complexes et plein d'imprévus ! En fait, fondamentalement, les mécanismes impliqués dans les

processus toxiques ont été décrits il y a plus de 70 ans (Challenger, 1945) et confirmés depuis (entre autres) par l'équipe d'Aposhian (E.-U.) et celle de Lauwerys (Belgique). Pour résumer, les composés minéraux les plus oxydés, les espèces cationiques pentavalentes (As^{V}) comme les arsénates (AsO_4^{-3}), sont en général moins toxiques, tandis que les entités cationiques trivalentes (As^{III}), parmi lesquelles on retrouve les arsénites (AsO_3^{-3}) et l'anhydride arsénieux (As_2O_3), le poison tant apprécié, sont des toxiques puissants. Dans le cas des composés pentavalents de l'arsenic (As^{V}), il est admis que suite à la similitude proche entre l'atome d'arsenic et celui du phosphore, l'anion arséniate (AsO_4^{-3}) pourrait se substituer à l'anion phosphate (PO_4^{-3}) dans certains processus biologiques, par exemple dans la chaîne respiratoire mitochondriale par laquelle il y a la production de l'ATP. La substitution d'un phosphate par un arséniate limite donc la production d'ATP, entraînant une perturbation de la respiration cellulaire, d'où une souffrance cellulaire. Par contre, les composés trivalents de l'arsenic (arsine, arsénites, anhydride arsénieux...), les plus toxiques, vont être impliqués dans des processus irréversibles, rapidement létaux.

C'est la très grande affinité des composés trivalents de l'arsenic (As^{-3} , As^{+3}) pour les fonctions soufrées réductrices, comme les thiols (R-S-H), qui en formant des complexes insolubles, à liaisons covalentes solides, va entraîner le blocage irréversible de nombreuses molécules biologiques vitales à fonction thiol (cystéine, glutathion, protéine soufrées...).

Ce type de complexation, que l'on retrouve aussi avec le cation mercurique (Hg^{+2}) et qui entraîne au niveau cellulaire des perturbations irréversibles, permet de comprendre qu'il s'agit d'éléments minéraux redoutables, tant pour la santé que pour l'environnement.

La dernière partie de l'ouvrage répertorie les modèles permettant de faire l'évaluation des risques liés à l'arsenic, ce qui doit particulièrement interpeler les médecins du travail confrontés à la surveillance des travailleurs dans l'industrie (microélectronique...).

En conclusion, cette remarquable bible sur l'arsenic ne peut que nous convaincre que même actuellement, on devrait se méfier de cet élément au passé si empoisonné. Ainsi en France, au niveau de notre alimentation, on ne devrait pas négliger l'apport caché de l'arsenic (entre autres le riz d'origine

chinoise, en provenance de zones minières, les algues japonaises et quelques eaux minérales...). Par ailleurs, en ce qui concerne l'environnement, l'éventuelle réouverture de mines, dont les terrils abandonnés pouvant être riches en métaux stratégiques (Ge, In, Co, terres rares...), devra prendre en compte la dépollution..., ce qui ne sera pas un mince problème à gérer !

André Picot et Nicole Proust



Materials

Introduction and applications

W. Brostow, H.E. Hagg Lobland

458 p., 120 €

Wiley, 2017

L'ouvrage est ambitieux : en 21 chapitres couvrant les bases de la science des matériaux (définition, thermodynamique et diagrammes de phase, structure), les différentes familles (métaux, céramiques, composés carbonés naturels, polymères, composites, biomatériaux, cristaux liquides et composés spéciaux) et les principales caractéristiques (rhéologiques, mécaniques, thermiques, optiques, électroniques, magnétiques, de réactivité et tribologiques), ainsi que les techniques de contrôle et les problématiques de recyclage et de durabilité, les auteurs (Université de North Texas) dressent un panorama très complet de la culture générale que doit avoir un ingénieur en science des matériaux.

Les illustrations sont nombreuses, certaines en couleur, toutes de belle qualité, tant esthétique que pédagogique : œuvres d'Escher pour illustrer certaines structures, belles micrographies et

leur traitement d'image, photos de dispositifs (turbine, hublot d'avion électrochromique, valve d'aorte, train à lévitation magnétique...), diagrammes et coupes de dispositifs, etc.

Les auteurs utilisent des exemples récents et donnent une bibliographie succincte pour chaque chapitre après la formalisation de quelques questions de cours. Deux index, un des noms cités, l'autre des mots-clés, concluent l'ouvrage.

La principale critique, du point de vue du chimiste du solide, concerne l'absence de discussion sur la classification utilisée, qui en fait n'est pas établie sur la base des liaisons chimiques mais en rapport avec les filières professionnelles. Si le chapitre sur les céramiques est cohérent, incluant bien toutes les formes – céramiques cristallines, amorphes (c'est-à-dire les verres), vitrocéramiques, carbones, ciments, bétons et plâtres –, si celui sur les composites n'oublie pas le bois, le chapitre sur les métaux ignore les céramiques métalliques. Cela se comprend : les différentes liaisons chimiques (covalente, ionique et métallique) sont traitées en quinze lignes, deux pages discutent des interactions dipolaires, de van der Waals ou de la liaison hydrogène. Pourtant, depuis la découverte des supraconducteurs YBaCuO (traitée en cinq lignes), l'existence dans un même cristal de liaisons covalentes, ioniques et métalliques qui confèrent des propriétés exceptionnelles, devraient inciter à ne pas négliger dans les ouvrages de science des matériaux une présentation claire des différents types d'interactions chimiques et de leurs implications sur les propriétés chimiques et physiques. En conséquence, le chapitre sur les semi-conducteurs est plus que succinct ; rien sur le silicium, l'AsGa, le SiC, le diamant, les III-V, les sources laser... De même, le chapitre sur les polymères ne présente pas

Bulletin de l'Union des professeurs de physique et de chimie (« Le Bup »)

La rédaction de *L'Actualité Chimique* a sélectionné pour vous les articles suivants :



N° 1010 (janvier 2019)

- Nouveaux lycées, nouveaux défis, par V. Parbelle.
- Une introduction au nouveau Système international d'unités, par C. Daussy et F. Wiotte.
- Le principe de conservation de l'énergie : pilier de l'enseignement de l'énergie dans le secondaire ?, par F. Ducasse et O. Pujol.
- Autour du mot énergie (partie 1), par D. Ducourant.

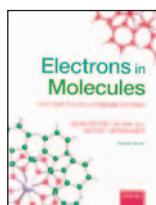
• Sommaires complets, résumés des articles et modalités d'achat sur www.udppc.asso.fr

les concepts de C.A. Angell sur les classifications forte/fragile des polymères et liquides visqueux. L'ouvrage n'a même pas été contaminé par le nano (absent de l'index, pas de discussion sur les effets de taille sur de nombreuses propriétés), ni par le réchauffement climatique.

Néanmoins, la problématique d'un développement durable, les questions relatives à la purification de l'eau, à l'énergie nucléaire, à l'utilisation du Soleil – systèmes passifs, thermiques ou photovoltaïques –, la thermoélectricité et le recyclage sont discutés, problématiques rarement abordées dans les ouvrages similaires. On trouve un chapitre sur le gaz naturel, le pétrole, le charbon et les bitumes, mais nulle part de CO₂ et de réchauffement climatique. L'Atlantique sépare bien la France du Texas.

En conclusion, un ouvrage attrayant, qui sera utile à ses lecteurs.

Philippe Colombar



Electrons in molecules (revised ed.)

**From basic principles
to molecular electronics**

J.-P. Launay, M. Verdaguer

608 p., 32,50 £

Oxford University Press, 2018

Le thème central de cet ouvrage est la compréhension des phénomènes électroniques qui sous-tendent les propriétés des matériaux et dispositifs moléculaires. Son originalité réside dans l'approche unifiée choisie par les auteurs pour décrire des systèmes complexes et des fonctions aussi différentes que le magnétisme, la conductivité, le transfert d'électrons ou d'énergie, l'émission de lumière, l'électronique, la spintronique ou les machines moléculaires, en s'appuyant sur les concepts de base de la mécanique quantique et les propriétés de symétrie.

Pour chaque thématique abordée, l'état des connaissances est présenté de manière interdisciplinaire à l'interface



Les lauréats du Prix Roberval 2018 Des œuvres pour comprendre la technologie en langue française

Ce concours international francophone récompense chaque année des œuvres littéraires, audiovisuelles ou multimédias consacrées à l'explication de la technologie.

- Catégorie « Enseignement supérieur » : *Les 7 fonctions de l'emballage*, de P. Dole (Lavoisier, Tec & Doc).

- Catégorie « Grand Public » : *Du merveilleux caché dans le quotidien – La physique de l'élégance*, de E. Guyon, J. Bico, E. Reyssat et B. Roman (Flammarion).

- Catégorie « Télévision » : *Le nouveau sarcophage de Tchernobyl*, de M. Gorst (Nova, Windfall Films, avec la participation de France Télévisions, BBC, WGBH Boston, PBS, NHK, N24).

- Catégorie « Jeunesse » : *Copain des geeks*, de N. Lafargue et J.-N. Lafargue (Éditions Milan).

- Catégorie « Journalisme scientifique » : *L'hépatite C bientôt vaincue ?*, de P. Marcellin et P. Kaldy (Pour la Science).

À retenir parmi les « coups de cœur » décernés à cette occasion :

- « Coup de cœur des médias » : *La guerre des métaux rares. La face cachée de la transition énergétique et numérique*, de G. Pitron (Éditions LLL) (voir recension p. 50).

- « Coup de cœur des étudiants de l'Université de technologie de Compiègne » : *Tout ce qu'on peut faire avec la soie d'araignée*, de L. Morin (Ça m'intéresse/Prisma Media).

- « Mention spéciale du jury » : *Le biodigester ou la science au service de l'Homme*, émission de radio burkinabé avec O. Bakouan (Somda Gervais MDA).

L'appel à candidatures pour le concours 2019 est ouvert.

• Pour en savoir plus et retrouver tous les lauréats 2018 : <http://prixroberval.utc.fr>

chimie/physique/matériaux avec quelques incursions en biologie tout en décrivant aussi bien les avancées expérimentales que théoriques sans verser dans le travers du jargon scientifique indigeste. Des exemples de systèmes et dispositifs moléculaires largement étudiés ces dernières décennies viennent illustrer le propos. Une bibliographie riche en références aux ouvrages de base et articles de revue, accompagnée de nombreux clin d'œil historiques, vient compléter les développements présentés au cours des différents chapitres.

La culture scientifique des deux auteurs fait que les chapitres consacrés respectivement au magnétisme, basé sur l'électron localisé, et à l'électronique moléculaire, qui manipule les électrons, sont largement développés en comparaison des chapitres dédiés aux électrons en mouvement sondés par les spectroscopies femto- et attosecondes très peu discutées ici.

Les concepts et modèles quantiques décrivant les interactions entre particules, ici plus particulièrement les électrons, sont abordés dans le premier chapitre selon une démarche progressive afin d'introduire la complexité (de l'atome à l'état solide ou aux machines moléculaires en passant par la molécule isolée) tout en pointant les approximations et limites de ceux-ci et la nécessité de la validation expérimentale. La compréhension du comportement des électrons dans différents environnements moléculaires, sous l'influence ou non de perturbations externes, est la condition *sine qua non* pour la conception d'objets à propriétés et fonctions contrôlées.

Cet ouvrage qui couvre de nombreux domaines aux interfaces devrait, dans sa version révisée, contribuer à la créativité en piquant la curiosité du chimiste aussi bien que celle du physicien pour de nouveaux dispositifs moléculaires.

Chantal Daniel