

Retour sur des sujets déjà traités dans nos colonnes

→ LE NOYAU DE LA LUNE

Les deux faces de la Lune n'ont pas la même apparence : celle que l'on voit présente de sombres bassins d'impact et celle qui est cachée en est dépourvue. Au moment de sa formation, une grande part de la Lune était en fusion et les roches qui la composent ont toutes cristallisé à partir d'un océan de magma. En réanalysant les données sismiques des missions *Apollo* des années 1960 et 1970 et des données plus récentes d'autres missions lunaires, les spécialistes ont montré que la croûte lunaire est plus épaisse sur la face cachée que sur la face visible. Ces deux phénomènes expliqueraient en partie leur dissemblance (voir *Les deux visages de la Lune*, *Pour la Science*, août 2008, <http://bit.ly/plsoer370>). Mais qu'en est-il des couches plus profondes de la Lune ? Les scientifiques ont analysé à nouveau les données d'*Apollo* avec une méthode traitant les enregistrements sismiques terrestres et ils ont obtenu des résultats concernant le noyau lunaire (*Science*, janvier 2011). À l'instar du noyau de la Terre, celui de la Lune aurait une graine solide interne et une couronne externe en fusion ; mais le noyau externe serait recouvert d'une épaisse couche partiellement fondue. Au total, le noyau de la Lune serait à 60 pour cent liquide. Ces nouveaux éléments sur



La face visible de la Lune présente de vastes « mers » sombres.

la composition lunaire devraient permettre de mieux comprendre sa formation et ses visages.

→ ARRÊTER LA FLORAISON

Beaucoup de plantes ne fleurissent qu'après avoir été soumises à une période de froid – une phase nommée *vernalisation* – et si le jour a une durée adaptée. Chez l'arabette des dames, la plante modèle des biologistes, les mécanismes de la floraison sont désormais connus : le froid diminue la quantité d'un inhibiteur de la floraison, nommé FLC, et la durée du jour engendre la production du florigène, la pro-

téine FT, qui migre des feuilles vers la pointe de la tige où la fleur apparaîtra (voir *Mais qu'est-ce qui fait fleurir les plantes ?*, *Pour la Science*, juillet 2009, <http://bit.ly/plsoer381>). Mais toutes les plantes ne fonctionnent pas comme l'arabette. Des chercheurs suédois et français ont découvert un mécanisme distinct chez la betterave à sucre (*Science*, décembre 2010), une plante bisannuelle qui produit un tubercule la première année et ne fleurit qu'après le passage de l'hiver. Cette plante possède deux gènes proches de FT : *BvFT1*, qui stimule la floraison comme chez l'arabette, et un autre, *BvFT2*, qui au contraire la bloque. Dans ce cas, le froid de l'hiver abaisse la quantité de protéine BvFT2, permettant ainsi à la plante de fleurir.

→ BÉBÉ D'HIVER OU D'ÉTÉ

L'horloge centrale ou circadienne, contrôlée par la lumière du jour, interagit avec d'autres horloges dans l'organisme et garantit des cycles d'éveil et de sommeil calés sur 24 heures. Elle se situe dans le cerveau, notamment dans les noyaux suprachiasmatiques (voir *Au rythme du jour et des saisons*, *Pour la Science*, novembre 2010, <http://bit.ly/plsoer397>). Mais la durée d'exposition à la lumière après la naissance modifie-t-elle l'activité de cette horloge ? En d'autres termes, les hommes nés en hiver ont-ils une horloge différente de ceux nés en été ? Des neurobiologistes américains ont montré que des souris soumises à une luminosité hivernale après leur naissance présentent à l'âge adulte des dysfonctionnements de leur horloge circadienne, comparées à celles soumises à une luminosité estivale néonatale (*Nature Neuroscience*, décembre 2010). Notamment, l'activité des neurones des noyaux suprachiasmatiques des souris nées en hiver ne s'adapte pas aux changements de luminosité des saisons... ce qui dérègle le rythme de leur sommeil. Reste à savoir si ces perturbations de l'horloge modifient aussi l'humeur ou le risque de développer des troubles anxieux, parfois liés au manque de lumière ou à l'hiver.

→ Bénédicte Salthun-Lassalle

→ ALZHEIMER : UNE MAUVAISE ÉLIMINATION DE PROTÉINES

La maladie d'Alzheimer se caractérise par la présence de plaques dites amyloïdes dans les neurones, et d'amas dits neurofibrillaires dans les ramifications des neurones. La maladie pourrait survenir quand la protéine bêta-amyloïde est produite en trop grande quantité ou sous forme d'une molécule prompte à s'agréger : les plaques se formeraient, altérant le fonctionnement des neurones, voire leur survie (voir *Pour oublier la maladie d'Alzheimer*, *Pour la Science*, août 2006, <http://bit.ly/plsoer346>). Des neurobiologistes de l'École de médecine à Saint-Louis, aux États-Unis, suggèrent que l'accumulation des plaques serait plutôt due à une diminution de l'élimination de la protéine (*Scienceexpress*, décembre 2010). Ils ont comparé la production cérébrale et la clairance – l'élimination – des protéines A bêta 40 et A bêta 42 (constitutives des plaques amyloïdes) chez 24 personnes de plus de 60 ans, dont 12 souffraient de la maladie. Pour ce faire, ils ont injecté un métabolite radioactif aux participants et leur ont prélevé du liquide céphalo-rachidien pendant deux jours pour doser les protéines. Que les participants soient malades ou non, la quantité de protéines bêta-amyloïde produite est la même ; en revanche, la clairance des malades est 30 pour cent plus faible que celle des personnes saines.

POINT DE VUE

Il faut sauver la métallurgie !

Alors qu'elle est étroitement liée aux industries classiques et de pointe, la métallurgie française est en déclin. Un sursaut de son enseignement et de la recherche s'impose.

Yves BRÉCHET

Pourquoi se préoccuper de la métallurgie, parfois perçue comme une science du passé, une industrie d'un temps révolu, un héritage encombrant des maîtres de forges ? Pourquoi s'inquiéter de la désaffection des étudiants, des ingénieurs et des chercheurs pour ce domaine ? Certainement pas par nostalgie : comme l'illustre le récent rapport de l'Académie des sciences et de l'Académie des technologies, l'avenir industriel de la France en dépend en grande partie, et cette discipline est tout sauf archaïque.

Le rôle central de la métallurgie dans de nombreux secteurs industriels est évident. En France, ce domaine est associé à 1,8 million d'emplois, dont 500 000 directs. Les progrès du secteur automobile, de l'industrie nucléaire, de l'aéronautique, de la pétrochimie sont tributaires d'une meilleure maîtrise des matériaux métalliques. La diminution des émissions de gaz à effet de serre passe par l'allègement des véhicules, par l'augmentation de la température de fonctionnement des moteurs, par le développement d'un nucléaire durable.

Le recyclage des métaux, la sécurité dans les transports, le développement de prothèses orthopédiques et autres dispositifs médicaux implantés font tous aussi appel au métallurgiste. Même la miniaturisation des circuits intégrés, bien avant de rencontrer le « mur quantique », se heurtera à des problèmes métallurgiques, notamment l'endommagement des connexions.

Ce vaste secteur est ainsi stratégique pour notre pays, en termes d'activité indus-

trielle, d'exportations, d'emplois. Or il souffre d'asthénie : les étudiants le boudent, les professeurs s'en éloignent et nombre de laboratoires concernés maigrissent (une division par trois en 15 ans au CEA ou à l'ONERA) ou disparaissent. Les grandes écoles les plus prestigieuses, de même que les universités, ont abandonné leurs enseignements en métallurgie.

La désaffection des étudiants pour cette voie est exacerbée par une image historique faussée, par l'éloignement vis-à-vis des sciences et des technologies, par la désindustrialisation de notre pays et par l'absence de grands projets industriels mobilisateurs.

IL EST URGENT DE RÉINSTALLER, dans les universités et les grandes écoles, des formations de métallurgie.

La métallurgie est pourtant un champ scientifique et technique en plein renouvellement. Elle est au confluent de diverses disciplines (mécanique, physique et chimie), à la frontière entre recherche fondamentale et recherche appliquée. C'est un domaine où les besoins industriels suscitent des études fondamentales qui, à leur tour, ouvrent la voie à de nouvelles applications.

L'étude expérimentale bénéficie désormais de grands instruments (rayonnement synchrotron, réacteurs à neutrons...) et de nouvelles techniques (microscopie à champ proche, sonde tomographique à résolution atomique, techniques de corrélation d'images...). Quant à la modélisation, elle associe simulations numériques intensives

et élaboration de modèles théoriques à la fois pertinents et suffisamment simples pour être éclairants. Quelle est la finalité de ces études ? Entre autres, comprendre les liens entre la microstructure des matériaux métalliques, les traitements qu'on leur fait subir et leurs propriétés à l'échelle macroscopique. Cette compréhension, encore loin d'être satisfaisante, est essentielle pour évoluer vers la conception « sur mesure » de nouveaux métaux.

La métallurgie est étroitement liée à l'étude de la matière condensée. Elle est une science du changement d'échelle. Pour comprendre comment l'histoire thermomécanique d'un alliage conditionne sa microstructure et ses propriétés, il faut parcourir dans le temps plus de 15 ordres de grandeur (de la vibration des atomes aux durées de traitement thermique), et dans l'espace aller du nanomètre au mètre. Ces changements d'échelle dans l'organisation des atomes ou dans la dynamique des défauts posent des questions fondamentales de thermodynamique, de physique statistique, de mécanique.

Soulignons aussi que la métallurgie porte sur des systèmes maintenus loin de l'équilibre thermodynamique, là où toute la richesse de la physique non linéaire se manifeste. Et régulièrement, la physique fondamentale rencontre la métallurgie, qu'il s'agisse des phénomènes de solidification et plus généralement des changements de phase, de la chimie des surfaces, de la plasticité et de la rupture, du rôle joué par les défauts, des propriétés électroniques ou magnétiques, etc.

En science des matériaux, dont elle est par ailleurs le socle historique, la métallur-