

On pensait que les couches passives, en raison de leur extrême minceur, devaient être amorphes, sans ordre atomique à grande distance. Toutefois les études les plus récentes ont montré que les films peuvent être cristallisés. Ainsi les observations au microscope à effet tunnel, où l'on balaye la surface des échantillons avec une pointe très petite, qui échange des électrons avec l'échantillon par l'effet tunnel, ont apporté des informations essentielles sur la croissance des couches d'oxydes sur des substrats monocristallins.

CRISTAUX PROTECTEURS

La figure, par exemple, est celle de la structure atomique de la couche passive formée sur une électrode de nickel monocristallin. La périodicité observée indique que cette couche était le plan cristallographique le plus compact de l'oxyde de nickel. Dans de telles images, on observe des défauts structuraux : marches monoatomiques, crans, lacunes, et joints... La croissance de l'oxyde s'effectue selon une direction inclinée de huit degrés par rapport au plan cristallographique, ce qui conduit à un système de terrasses et de marches, et à l'existence de fluctuations de l'épaisseur du film. Ce type de croissance minimise les contraintes entre les réseaux de l'oxyde et du métal.

Ce cas n'est pas général. Pour le chrome, par exemple, la couche passive n'est pas constituée de grands cristaux, comme dans le nickel ; les très nombreux «nanocristaux» formés sont reliés par de l'hydroxyde de chrome, qui forme un liant, minimisant les défauts interfaciaux qui pourraient affaiblir la couche protectrice. Cette structure nanocristalline est sans doute la clef des propriétés exceptionnelles du chrome, connu pour son excellente résistance à la corrosion et utilisé, à ce titre, comme additif dans de nombreux alliages.

Comment l'industrie métallurgique utilisera-t-elle ces analyses ? Un succès a été obtenu dans le cas des aciers inoxydables ferritiques : la couche passive qui se forme quand ces alliages sont plongés dans un milieu qui contient des ions chlorures (l'eau de mer, par exemple) est de qualité bien inférieure à celle qui apparaît quand les mêmes alliages sont d'abord placés en milieu oxydant contrôlé, c'est-à-dire au contact de l'air ou de l'eau. On peut aussi faire vieillir les aciers ou alliages inoxydables dans ces milieux, ce qui augmente la concentration en ions chrome dans les couches passives, avant de les employer en milieu chloruré.

Philippe MARCUS
CNRS, École nationale supérieure
de chimie de Paris

La caulerpe

Cette algue aurait des effets bénéfiques, en assainissant les fonds de la Méditerranée.

Aurait-on trop vite dénigré *Caulerpa taxifolia* ? Depuis quelques années cette algue unicellulaire géante colonise le littoral Nord-Ouest de la Méditerranée et de l'Adriatique, où elle prolifère par endroits, au détriment d'autres espèces végétales. D'après les résultats d'une étude publiée dans la revue *Nature* par les chercheurs de l'Observatoire océanologique européen, cette algue serait un agent antipollution.

À la différence des autres algues, la caulerpe a des rhizoïdes, l'équivalent des racines des plantes supérieures. Ces rhizoïdes soutirent des substances nutritives aux fonds marins et l'algue prospère indépendamment des nutriments dissous dans l'eau de mer.

La surface des rhizoïdes est couverte de bactéries, et d'autres prolifèrent dans son volume interne. Certaines ressemblent aux bactéries symbiotiques qui assurent la fixation de l'azote dans les légumineuses (la luzerne, le haricot, par exemple). Jean Jaubert et ses collègues de l'Institut océanographique de Monaco ont observé que les pseudo-racines de la caulerpe absorbent du phosphore minéral et des composés organiques, notamment de l'azote et du carbone, et des acides aminés dissous. Ces substances, abondantes dans les zones où prolifère l'algue, proviennent des rejets industriels ou domestiques ; elles s'accumulent dans

les sédiments et dans certaines roches poreuses. Cette faculté d'assimiler des substances nutritives inutilisées par les autres algues expliquerait l'abondance de la caulerpe et la disparition d'une grande partie de la flore, devenue inadaptée. *Caulerpa taxifolia* comblerait les vides laissés par d'autres végétaux éliminés ou fragilisés par la pollution, tels les herbiers de posidonies.

Pourquoi cette algue prolifère-t-elle aujourd'hui ? Les algues du genre *Caulerpa* prospèrent dans les eaux chaudes habitées par des coraux et pauvres en nutriments ; leurs rhizoïdes et leur structure unicellulaire les avantagent par rapport aux autres algues car ils facilitent les échanges nutritifs. Plusieurs espèces de caulerpes, dont *Caulerpa taxifolia*, vivent dans la mer Rouge et ont sans doute migré vers la Méditerranée occidentale par le détroit de Suez. Le réchauffement climatique accélérerait leur expansion.

Ce n'est pas la première incursion des caulerpes dans le bassin méditerranéen : avant la crise climatique de la fin du Miocène, il y a sept millions d'années, elles faisaient partie de la flore commune et y prospéraient.

Comme de nombreuses plantes aquatiques, les caulerpes produisent des toxines, notamment la caulerpénine, à laquelle la faune ne semble pas sensible. Le nombre et les espèces de poissons vivant dans les prairies de caulerpes n'ont guère varié : Ils ne les «broutent» pas, mais se nourrissent des produits de leur dégradation.

Ainsi, grâce à leur aptitude à se développer sur des substrats imprégnés de matières organiques en décomposition, qui ne conviennent pas aux autres végétaux, les caulerpes assainiraient les fonds méditerranéens.

Marie-Thérèse LANDOUSY



Poulpe vivant au milieu de caulerpes.

Superphénix demain ?

Le surrégénérateur devenu réacteur de recherche devrait étudier l'élimination des déchets.

Dans les années 1970, la construction d'un surrégénérateur, *Superphénix*, a été lancée sur le site de Creys-Malville, dans l'Isère. En 1994, après huit ans d'un fonctionnement ponctué d'incidents et d'arrêts, le gouvernement français en a autorisé le redémarrage dans un but exclusif de recherche. Une commission d'experts a examiné les objectifs proposés : outre une attention soutenue à la sécurité, elle préconise l'étude prioritaire de la destruction des déchets que sont les actinides mineurs (américium, neptunium, curium).

Lorsque la décision de construire le surrégénérateur *Superphénix* a été prise, ses promoteurs pensaient qu'il serait le premier d'une longue série. Les surrégénérateurs, ou réacteurs à neutrons rapides, auraient remplacé à terme les centrales nucléaires à eau pressurisée, qui constituent le parc français actuel. L'État français (et *Électricité de France*) souhaitait qu'à moyen terme la production d'énergie électrique soit indépendante du pétrole, dont l'approvisionnement et les cours semblaient incertains. En outre, les économistes prévoyaient une telle augmentation de la consommation d'énergie que les centrales nucléaires à eau pressurisée seraient vite insuffisantes, et que l'uranium qu'elles utilisaient deviendrait, pensait-on, comme le pétrole à l'époque, une ressource rare.

Avec des surrégénérateurs, la source d'énergie paraissait quasi inépuisable. Dans *Superphénix*, l'énergie est produite par la fission du plutonium 239, et non d'uranium 238, l'isotope le plus abondant, non fissile, dans le cœur du réacteur où il est transformé en plutonium : le surrégénérateur produit plus de plutonium qu'il n'en consomme. Du plutonium était disponible pour démarrer le cycle : c'est un déchet produit par les centrales à eau pressurisée.

Une vingtaine d'années plus tard, le constat s'impose : les surrégénérateurs ne remplaceront pas de sitôt les autres types de centrales. Les experts les plus optimistes fixent au milieu du siècle prochain la construction en série de ces nouveaux réacteurs. La consommation d'énergie a en effet augmenté moins vite que prévu. En France, le programme de construction de centrales nucléaires a même été ralenti. Le traitement du plutonium est complexe et coûteux : son utilisation ne deviendrait rentable que si les cours des autres matières premières augmentaient considérablement. Comme les réserves de pétrole et de gaz naturel ont été réévaluées à la hausse et que les cours restent bas depuis 1990, les autres sources d'énergie ne se sont pas taries. L'uranium est aussi abondant et bon marché.

En outre, les ingénieurs ne maîtrisent pas encore la technique nécessaire pour faire fonctionner un surrégénérateur tel que *Superphénix* : depuis l'obtention de la pleine puissance en décembre 1986, l'installation a été arrêtée pendant une durée cumulée de plus de six ans, pour des incidents mettant en cause la sécurité. L'utilisation de sodium liquide, qui réagit violemment avec l'air et l'eau, comme fluide caloporteur, est à l'origine de la plupart des difficultés rencontrées.

LE PROGRAMME DE RECHERCHE

En juillet 1994, *Superphénix* n'a obtenu l'autorisation de redémarrer que pour réaliser un programme de recherche. Celui-ci comprend trois objectifs : démontrer la capacité d'un réacteur à neutrons rapides à produire de l'électricité à un niveau industriel, évaluer le fonctionnement de ce type de réacteur en situation de sous-génération, où il consomme du plutonium, et étudier ses possibilités de destruction des déchets de grande durée de vie.

Le gouvernement a nommé, en octobre 1995, une commission scientifique, présidée par Raimond Castaing, pour évaluer la crédibilité de ce programme de recherche. Elle a rendu son rapport en juin 1996. Celui-ci insiste sur l'importance de la recherche fondamentale : les études réalisées avec *Superphénix* auraient pour objectif l'acquisition de connaissances de portée générale, applicables éventuellement dans d'autres types de réacteurs. *Superphénix* ne devrait pas avoir de successeur avant une cinquantaine d'années : même si l'on construit un jour des surrégénérateurs au plutonium, ils seront très différents. Dans cette optique, la sûreté de fonctionnement est prioritaire sur la production d'énergie : l'analyse des incidents et les éventuels arrêts d'exploitation priment sur la recherche de puissance ou de durée de fonctionnement qui prouveraient la capacité du réacteur à fonctionner industriellement.

Hélas, *Superphénix* n'est pas construit comme un réacteur de recherche : son utilisation dans ce but est malaisée. La commission propose donc de n'utiliser *Superphénix* que pour les expériences impossibles à réaliser dans d'autres installations. La construction d'un nouveau réacteur de recherche, qui remplacerait *Phénix*, en fonctionnement depuis 1973 à Marcoule, lui semble souhaitable.

Le deuxième et le troisième volets du programme de recherche portent sur l'utilisation des surrégénérateurs pour l'élimination des déchets radioactifs. La commission Castaing les a évalués en référence à la loi de 1991 sur le traitement et le stockage des déchets



Superphénix, à Creys-Malville : projet inutile ?

nucléaires. Celle-ci fixe un délai de 15 ans pour l'acquisition de connaissances, afin de prendre des décisions de long terme en 2006.

À quoi est-il urgent d'employer *Superphénix*? L'uranium introduit comme combustible dans les centrales à eau pressurisée contient entre 3,25 et 4 pour cent d'uranium 235, l'isotope fissile, et de l'uranium 238, non fissile. Un noyau d'uranium 238 peut, en absorbant un neutron, se transformer en plutonium 239, fissile. Ce plutonium participe ensuite partiellement à la production d'énergie. Chaque tonne de combustible déchargé contient ainsi, en plus de l'uranium non consommé, dix kilogrammes de plutonium, 0,45 kilogramme de neptunium, 0,3 kilogramme d'américium et 0,03 kilogramme de curium. Ces éléments radioactifs à période longue sont encore dangereux après plusieurs centaines d'années.

La mise au point, ces dernières années, pour les centrales à eau pressurisée, de combustible composé d'oxydes d'uranium et de plutonium ouvre une voie prometteuse pour utiliser ce dernier. En employant un tel combustible, les centrales consommeraient autant de plutonium qu'elles en produisent. Si l'on réussit à purifier le combustible après chaque cycle, on stabilisera le stock de plutonium. En outre, il serait confiné en majeure partie dans les centrales nucléaires : les risques de pollution ou de détournement seraient réduits.

Le neptunium, l'américium et le curium, en revanche, sont inutilisables. Aujourd'hui, on les entrepose dans des endroits protégés. On pourrait en réduire les quantités en plaçant ces éléments dans le fort flux de neutrons du cœur d'un réacteur à neutrons rapides. Dans ces conditions, les noyaux se cassent en éléments plus légers, à durée de vie plus courte. Quelques noyaux se transforment en éléments plus lourds, mais la masse totale des déchets est réduite par l'opération. Des calculs prévoient que, dans un combustible constitué à cinq pour cent d'américium, une irradiation pendant 15 ans dans *Superphénix* en éliminerait 90 pour cent, laissant seulement 10 pour cent de noyaux lourds. Ce modèle et d'autres doivent être testés avant que cette voie de réduction des déchets ne soit éventuellement utilisée en vraie grandeur. À condition qu'il fonctionne, *Superphénix* est le seul outil qui permette de le faire avant 2006.

Le rapport de la commission (ce n'était pas son objectif), ne répond néanmoins pas à une question : le jeu en vaut-il la chandelle? Même dans les conditions de fonctionnement les plus sûres, est-il moins risqué de faire fonctionner un *Superphénix* plutôt que de stocker quelques tonnes de produits radioactifs à vie longue? □

Sans domicile

La première enquête statistique à leur sujet.

Qui sont les personnes sans domicile fixe en France? Les enquêtes statistiques traditionnelles les ignorent. Maryse Marpsat et Jean-Marie Firdion, de l'Institut national d'études démographiques, ont dirigé la première enquête qui a recueilli des données sur cette catégorie de la population. Les résultats soulignent la diversité des histoires personnelles et le fort lien entre logement et emploi.

Les recensements et les enquêtes statistiques, exhaustives ou sur des échantillons représentatifs de la population, s'appuient sur des listes d'adresses : les personnes sans domicile en sont exclues. L'interrogation des personnes rencontrées dans la rue par les enquêteurs est trop aléatoire : l'exclusion du logement n'est pas visible à tout coup.

Des adresses disponibles pour trouver des personnes sans domicile sont celles des centres d'hébergement et de restauration. En février et mars 1995, une enquête a été menée dans Paris auprès des personnes qui fréquentaient ces lieux. La plus ou moins grande utilisation des services a été pondérée par le traitement statistique des données.

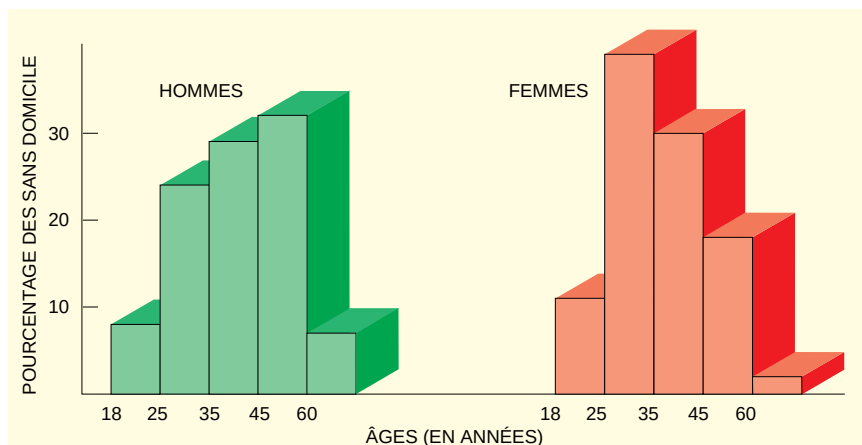
Les sans domicile interrogés sont majoritairement des hommes : la proportion de femmes n'est que de 17 pour cent. Les plus de 60 ans sont peu nombreux : des maisons de retraite les

accueillent parfois lorsqu'ils touchent une pension ; en outre, l'espérance de vie est faible dans la rue. Les moins de 25 ans sont aussi sous représentés : une volonté d'indépendance et des ressources financières plus faibles (ils ne peuvent par exemple pas prétendre au Revenu minimum d'insertion) expliqueraient un moindre accès aux services d'hébergement de moyenne et de longue durée, même de prix modique.

Pourquoi perd-on son logement? Les trois-quarts des hommes sans domicile ne vivaient plus à 16 ans avec au moins l'un de leur deux parents, étaient nés à l'étranger, ou avaient vécu un événement négatif avant 18 ans (problème de santé, mauvais traitements...). Les parcours sont toutefois divers et leur reconstitution nécessite un dépouillement approfondi des entretiens : des événements personnels recouvrent parfois des phénomènes sociaux. Ainsi, un homme qui présentait son divorce comme cause première de la perte de son logement avait préalablement perdu son emploi de mineur de fond.

Cette enquête souligne aussi que de nombreuses personnes sans domicile n'en ont jamais vraiment eu. Certaines sont passées d'un foyer de la DASS, ou d'une famille d'accueil, à la rue. D'autres n'avaient un logement que grâce à leur emploi : un ouvrier du bâtiment, logé sur les chantiers ou à proximité a perdu emploi et logement après un accident du travail ; une gardienne d'immeuble a perdu son logement de fonction le jour de son départ en retraite.

Associées à celles des enquêtes habituelles, les données collectées, grâce à des enquêtes utilisant la même méthode, auprès des personnes sans domicile, fourniront un tableau plus exact de la population française. Permettront-elles de lutter contre l'exclusion? □



La pyramide des âges des personnes sans domicile fixe à Paris a été reconstituée à partir des données de l'enquête menée en février et mars 1995 dans des centres d'hébergement et de restauration. Pour les femmes, nettement minoritaires, il ne s'agit que d'ordres de grandeur.

Un roman fleuve

Les sédiments charriés retracent le cours d'un fleuve ancien.

En recueillant les cristaux de zircon dans les collines de la région d'Amarillo au Texas, Nancy Riggs a retrouvé les traces d'un gigantesque fleuve. Ce fleuve, il y a 225 millions d'années, traversait l'ancien supercontinent, la Pangée qui allait se scinder en deux parties, le Gondwana et la Laurasia. Le fleuve de 1 500 kilomètres de long, baptisé Chinle, reliait ce qui est aujourd'hui le Texas au Nevada (Science, 5 juillet 1996).

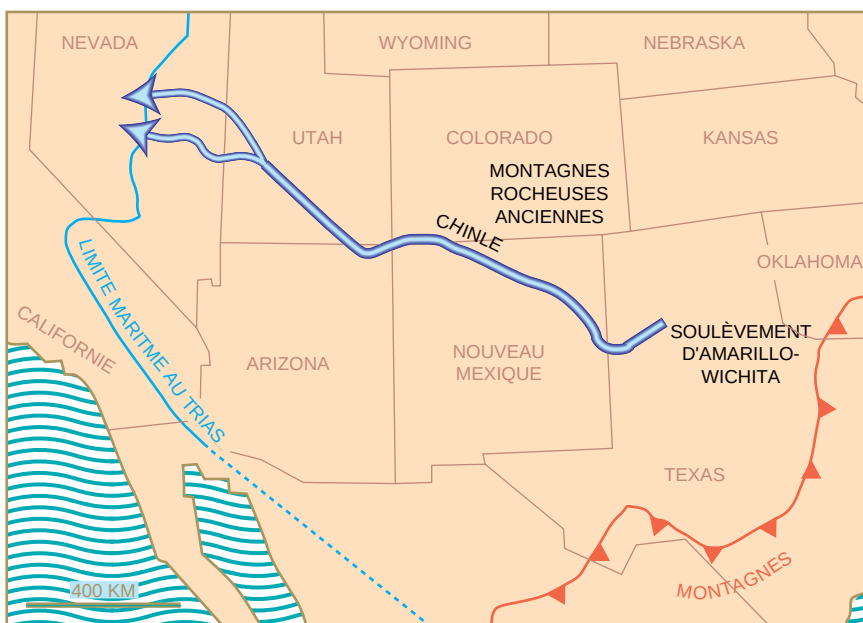
La curieuse découverte de cristaux de zircon datant de 520 millions d'années dans les sédiments plus jeunes du Nevada lança la recherche. Ces cristaux devaient provenir de roches ignées anciennes, mais il n'existait aucune roche de ce type au voisinage du lieu de leur découverte ; aussi les géologues de l'Université de l'Arizona recherchèrent-ils plus à l'Est la source du zircon.

On savait que cette zone avait été sillonnée d'un réseau fluvial à la fin du Trias, réseau dont les eaux avaient charrié des alluvions vers l'Ouest. En recueillant des zircons de même âge dans les sédiments d'autres États américains, les géologues ont suivi le lit de la

rivière ancienne. Les zircons, des cristaux d'une extrême robustesse, ne sont affectés ni par l'érosion ni par les transformations des roches. Aussi leur âge est-il mesuré par les quantités relatives d'uranium et de son descendant radioactif, le plomb. En identifiant les zircons de même âge, N. Riggs et ses collègues ont identifié de proche en proche les différentes zones alluviales du lit ancien.

La découverte de la source du fleuve précise notre reconstitution de la géographie de la Pangée pendant la période où les forces tectoniques la craquaient. Pendant la dernière période du Trias, les vieux et majestueux massifs montagneux de la région d'Amarillo-Wichita (datant de 300 millions d'années) n'étaient pas érodés comme on l'avait longtemps imaginé : au contraire, pensent les géologues américains, ils avaient été soulevés lors de l'ouverture du golfe du Mexique, épisode pendant laquelle les zircons ont fait surface.

Les géologues ne trouvent plus de métaux précieux dans cette zone. Les petits poucets amateurs de zircons trouvent mieux : les témoins sédimentaires d'un fleuve.



Il y a 225 millions d'années un gigantesque fleuve coulait du Texas au Nevada actuels. Les géologues ont retracé son parcours en suivant les zircons anciens charriés à partir des montagnes du soulèvement d'Amarillo-Wichita.

Ô râles et cris

Les hurlements des bébés dépassent les limites officielles autorisées.

Mats Zarckrisson écrit dans *New Scientist* (6 juillet 1996) que les cris de son enfant d'un mois dépassent 96 décibels : il a mesuré cette intensité sonore au voisinage de son oreille alors qu'il portait son bébé dans les bras.

Or la législation suédoise du travail limite à 85 décibels le bruit autorisé sur les lieux de travail. Il semblerait ainsi qu'un son aussi puissant et aussi riche en fréquences aiguës que les hurlements des enfants en bas âge puissent entraîner avec le temps, et dans les familles nombreuses, des troubles rédhitoires de l'audition.

Le risque a été mesuré par le commentaire associé à la norme ISO numéro 1999, «Acoustique. Détermination des bruits et estimation des niveaux sonores entraînant des défauts d'audition» : des calculs serrés indiquent qu'un bruit de 96 décibels, huit heures par jour pendant 30 ans se traduit chez quatre personnes sur 10 par une très nette surdité.

Il serait ainsi souhaitable que les mères et le personnel des crèches où une vingtaine d'enfants peuvent hurler de concert, portent des casques de protection auditive. Cette protection est-elle compatible avec les normes de sécurité ? Les cris constituant un appel, les protections sont probablement interdites. D'aucuns le regrettent car ces protections éviteraient des surdités précoces, et rendraient le travail moins pénible.

UN AVANTAGE ADAPTATIF ?

Selon Chris Handley de Nouvelle Zélande, le danger de surdité est réel. Toutefois la sensibilité de l'oreille correspond, d'après notre bon physiologue, à un avantage adaptatif. Les bébés hurleurs se transformeront en adolescents revendicatifs et pugnaces et les parents à l'audition handicapée seront sourds aux demandes d'argent de poche de leurs bambins quelque 15 ans plus tard... □