

# Un héritage de plomb

Quel qu'en soit l'usage, ce métal porte le sceau de son origine

Grâce à une législation de plus en plus sévère, les teneurs en plomb dans l'atmosphère ont considérablement diminué depuis vingt ans. Ayant paré au plus urgent, on s'intéresse aujourd'hui aux stocks accumulés dans certains environnements depuis plus de trois mille ans. Quelle est leur origine ? Quels sont les risques associés ? L'analyse isotopique fournit des réponses parfois inattendues...

## Fabrice Monna

est maître de conférences à l'UMR Géosol Inra-université de Bourgogne, spécialiste en géochimie isotopique.

Fabrice.Monna@u-bourgogne.fr

C'est au début des années 1970, au Japon et aux Etats-Unis, que pour la première fois l'attention des pouvoirs publics se porte sérieusement sur la contamination en plomb enregistrée au niveau planétaire. Les principaux responsables incriminés sont alors les additifs antidétonants des carburants automobiles. Cette pollution n'est pas nouvelle. Depuis le 2 février 1925, date à laquelle le premier gallon d'essence au plomb a été commercialisé à Dayton (Ohio), les pétroliers n'ont cessé d'incorporer les composés organiques\* du plomb pour élever l'indice d'octane et éviter ainsi les combustions anormales qui provoquent le phénomène de cliquetis particulièrement destructeur pour les moteurs.

**Risques actuels.** A la fin des années 1970, la France, elle aussi, commence à réduire progressivement la teneur légale en plomb tétraéthyle pour passer d'environ 0,7 g/l à 0,15 g/l d'essence en 1999. Parallèlement, l'introduction sur le marché en 1987 des additifs de substitution est accompagnée de mesures fiscales incitatives. C'est seulement à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2000 que la vente d'essences plombées\* est interdite en France, alors que dans de nombreux pays industrialisés cette mesure avait été prise depuis longtemps déjà : début des années 1980 au Japon, 1990 au Canada, 1995 en Suède, 1995 aux Etats-Unis.

Aujourd'hui, les indicateurs des réseaux de surveillance de la qualité de l'air sont repassés au vert, tout au moins pour ce qui concerne ce métal. Le plomb a en grande partie disparu de l'atmosphère des grandes villes, et sa concentration est très inférieure à la limite légale de 2 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle fixée par l'Union européenne. On estime à plus de 65 % la réduction des émissions sur la période 1990-1998. Et à Paris les mesures au milieu du trafic indiquent que l'on est passé de 8 µg/m<sup>3</sup> en 1978 à 0,2 µg/m<sup>3</sup> en 1997.

La question des risques liés aux émissions de plomb dans l'environnement n'est pas pour autant entièrement réglée. Les effets de ce métal sur la santé au-delà d'une certaine dose sont bien connus et multiples : inhibition de la synthèse de l'hémoglobine, altéra-

tions neurocomportementales, coliques, voire même paralysie et néphropathie saturnines chez les sujets les plus exposés. Actuellement, la dose hebdomadaire tolérable provisoire est fixée à 25 µg par kg de masse corporelle. Et la directive européenne du 22 avril 1999 vise une nouvelle valeur limite dans l'atmosphère de 0,5 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle, à respecter au plus tard en 2010. En France, plusieurs sites, surtout industriels, dépassent aujourd'hui ce niveau, et des mesures doivent être prises rapidement pour identifier les sources afin de limiter les émissions. En termes de risques, il faut également gérer l'héritage du passé qu'il soit industriel ou lié à des pratiques agricoles. Les épandages de boues résiduelles urbaines sont de plus en plus réglementés, et l'utilisation de certains traitements agricoles comme l'arséniate de plomb, longtemps utilisé comme produit phytosanitaire pour la vigne, est aujourd'hui interdite. Mais, qu'il ait été émis dans l'atmosphère ou apporté par l'agriculture, le plomb s'est accumulé depuis longtemps dans les sols. Généralement associé à la matière organique, il est très peu mobile et souvent piégé dans les horizons superficiels. Quel est alors le risque ? Lors de la dégradation de la matière organique, il peut être libéré et devenir potentiellement assimilable par des organismes vivants. De plus, localisé en surface, il est particulièrement sensible aux phénomènes d'érosion. Comme dans les sols, le plomb s'accumule aussi dans les sédiments où certaines modifications chimiques ou mécaniques (comme un dragage) peuvent le remobiliser. Certains n'hésitent pas à qualifier cette situation de véritable « bombe à retardement ». Mais pour vraiment évaluer l'ampleur du problème il faut d'abord répondre à deux questions : quelles sont les quantités stockées ? Quel sera le devenir du polluant ?

**L'approche isotopique.** La seule mesure des concentrations ne suffit malheureusement pas. En particulier, elle ne dit rien de l'origine, dont la détermination est essentielle pour agir sur les acteurs responsables de la contamination, ou pour connaître les modes de dispersion de manière à en déduire les processus de mobilisation. En outre, de fortes concentrations ne

(1) F. Monna et al., *Environ. Sci. Technol.*, 31, 2277, 1997.

(2) F. Monna et al., *Environ. Sci. Technol.*, 33, 2517, 1999.

(3) F. Monna et al., *Environ. Sci. Technol.*, 33, 2850, 1999.

(4) W. Shotyk et al., *Science*, 281, 1634, 1998.

(5) K. Rosman et al., *Env. Sci. Technol.*, 31, 5415, 1997.

(6) M.-J. Brännvall et al., *Environ. Sci. Technol.*, 33, 4391, 1999.

(7) F. Monna et al., *J. Geochem. Explor.* (68), 3, 201, 2000.

(8) S.C. Gilfillan, *J. Occupational Medicine*, 7, 55, 1965.

(9) L. Needleman, D. Needleman, *Classical Views / Echo du monde classique*, t. 4, 1, 65, 1985.



**Avec l'abandon progressif des essences au plomb, on estime à plus de 65 % la réduction des émissions entre 1990 et 1998.**

**A Paris, la concentration du plomb dans l'atmosphère est passée, en vingt ans, de 8 µg/m<sup>3</sup> à 0,2 µg/m<sup>3</sup>.**

© John Sturrock/Network/Rapho

**Le plomb ajouté dans les carburants n'a pas la même signature que celui plus largement utilisé par l'industrie**

sont pas forcément dues à des activités humaines. Il peut tout aussi bien s'agir d'une simple augmentation des teneurs naturelles pour des raisons diverses, une éruption volcanique par exemple. Les techniques isotopiques, développées en géologie, vont se révéler ici très utiles puisque la composition isotopique révèle l'origine du métal (voir l'encadré : « Marque de fabrique isotopique »).

Pour des raisons économiques et environnementales, l'exploitation des gisements de plomb et de zinc a considérablement diminué durant les quarante dernières années en Europe de l'Ouest pour cesser totalement dans les années 1990. Aujourd'hui, tout le plomb utilisé dans l'Union européenne est donc importé. Il provient essentiellement de gisements paléozoïques ou plus anciens, c'est-à-dire vieux de plus de 255 millions d'années, dont les signatures isotopiques sont moins radiogéniques\* que celles du plomb naturellement présent dans les sédiments ou dans les sols. En Europe de l'Ouest, on distingue même le plomb ajouté dans les

carburants de celui utilisé plus largement par l'industrie<sup>(1)</sup>. Pendant longtemps la compagnie Ocel S.A. et ses filiales ont détenu le quasi-monopole du marché des additifs antidétonants en Europe de l'Ouest. Au moins depuis les années 1980, ces sociétés ont imprimé aux émissions automobiles une signature très peu radiogénique, caractéristique de leurs importations (principalement des gisements australiens et canadiens formés il y a plus de 2,6 milliards d'années) se traduisant par des rapports <sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb compris entre 1,07 et 1,12. L'industrie, hormis les carburants, utilise un plus large éventail d'importations, incluant des gisements plus jeunes. Par conséquent, la signature moyenne du plomb industriel est généralement plus radiogénique (<sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb : 1,14 à 1,16) que celle des essences. Reste le plomb naturel. Définir cette source n'est pas toujours une tâche facile puisqu'il n'existe plus de zones à la surface de la Terre que le plomb anthropique n'ait marquée de son empreinte. On s'intéresse donc à des sédiments dits préindustriels, c'est-à-dire déposés avant toute influence humaine. En Europe de l'Ouest, leurs rapports <sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb sont généralement compris entre 1,20 et 1,21, et varient légèrement selon la nature du substratum géologique.

Grâce à l'outil isotopique, dont la précision atteint la quatrième ou la cinquième décimale, on est capable d'identifier l'origine d'une contamination récente dans n'importe quel contexte. Lorsque la pollution est plus ancienne, la méthode peut être appliquée si les différentes sources possèdent des signatures isotopiques connues, et distinctes. Prenons un premier exemple d'une contamination naturelle récente délicate à identifier.

## Marque de fabrique isotopique

Le plomb possède quatre isotopes : <sup>204</sup>Pb, <sup>206</sup>Pb, <sup>207</sup>Pb et <sup>208</sup>Pb. Les trois derniers résultent de la lente désintégration d'isotopes radioactifs de l'uranium et du thorium, respectivement <sup>238</sup>U, <sup>235</sup>U et <sup>232</sup>Th. Mais ces transformations se font à des vitesses très différentes. La moitié du stock de l'<sup>235</sup>U devient du <sup>207</sup>Pb en 704 millions d'années, alors qu'il faut 4.47 milliards d'années pour désintégrer la même quantité d'<sup>238</sup>U en <sup>206</sup>Pb. L'essentiel du <sup>207</sup>Pb radiogénique\* a donc été produit pendant la première moitié de l'histoire terrestre. Et l'on considère pratiquement constante son abondance actuelle. Le <sup>206</sup>Pb continue, lui, de progresser. Les rapports d'abondance <sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb n'ont donc cessé d'augmenter au cours des temps géologiques. Lors de la formation d'un gisement sous forme de galène PbS, le plomb est isolé de ses isotopes pères, et sa composition isotopique s'en trouve « fossilisée ». Chaque gisement présente ainsi une composition caractéristique, reflétant les conditions qui régnaient au moment de sa formation. Pour fixer les idées, des rapports <sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb bas indiquent généralement un gisement ancien, tandis que des valeurs élevées traduisent une individualisation plus récente. Ce rapport n'étant pas modifié par les procédés industriels ou biologiques, il reflète l'origine minérale du plomb.



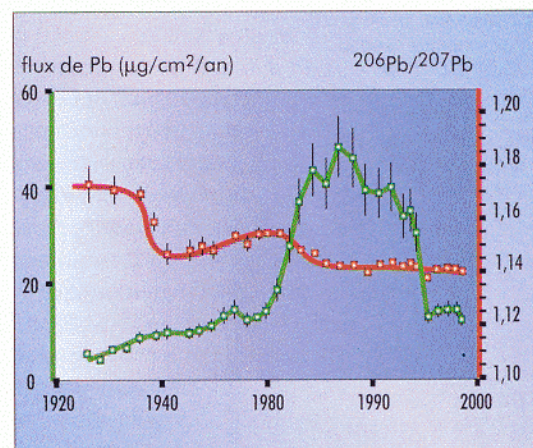
**Lors d'éruptions volcaniques,** des particules contenant du plomb, entre autres, sont émises dans l'atmosphère. Comparée aux émissions à l'échelle de toute la planète, cette contribution est peu importante (3 300 tonnes émises par an à comparer à un total de 348 000 tonnes par an). Mais à proximité du volcan, cette part est-elle négligeable ? La réponse est à chercher dans les lichens poussant sur les pentes du volcan.

©Krafft/HOA QUI

Si la quantité de plomb émise dans l'atmosphère par les volcans peut être considérée comme une très petite fraction de la quantité totale émise à l'échelle planétaire, elle peut devenir considérablement plus importante à leur voisinage immédiat, où les métaux sont constamment relâchés par dégazage passif ou lors des éruptions. Mais comment quantifier cette part ? Bien entendu, l'idéal pour l'étudier est de disposer d'un vaste réseau de surveillance qui prélève et analyse des particules atmosphériques en continu et depuis suffisamment longtemps pour que les résultats soient significatifs. Mais ce n'était pas le cas de l'équipe de Gaetano Dongarrà de l'université de Palerme, qui s'intéressait à la qualité de l'air à proximité de l'Etna et de Vulcano. Pour ce faire, ils ont appliqué l'outil isotopique à un tout autre indicateur, les lichens<sup>(2)</sup>. Ces derniers, comme les mousses, résultent d'une association symbiotique algue-champignon, et à leur morphologie les force à absorber et accumuler les éléments sous forme gazeuse, liquide ou particulaire à partir de l'atmosphère. L'analyse d'un lichen nous renseigne donc sur la qualité moyenne

de l'air au cours de sa vie. Une trentaine de lichens ont été prélevés sur les pentes de l'Etna et sur l'île Vulcano (Sicile). Sur le plan isotopique, un premier problème se pose. Un lichen peut vivre jusqu'à une quinzaine d'années. Il intègre du plomb d'origine anthropique (essence + industrie) toute sa vie durant, mais rien n'indique que les signatures isotopiques de ces deux sources soient restées constantes tout ce temps. La généralisation de l'étude isotopique étant relativement récente, il existe peu de données concernant les sources et leurs valeurs dans le passé. La distinction entre plomb industriel et plomb automobile devient alors assez hasardeuse. Toutefois, à partir de ce que l'on connaît, on peut raisonnablement considérer un pôle anthropique global qui présente des rapports  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  de l'ordre de 1,12-1,14, tandis que le plomb émis par les volcans est beaucoup plus radiogénique :  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  de 1,26 pour l'Etna et de 1,24 pour Vulcano. En appliquant un simple modèle de mélange, on montre que le plomb d'origine volcanique contribue à hauteur de 10 %-30 % sur les pentes de l'Etna, où le plomb anthropique reste majoritaire, et entre 10 % et 80 % sur l'île Vulcano. Une telle discrimination aurait été impossible à partir de la seule mesure des concentrations. Les émissions naturelles peuvent donc s'ajouter aux apports anthropiques de façon significative et étendre ainsi le risque de contamination des sols, des végétaux et des populations vivant à proximité des édifices.

**Une histoire récente.** Plus classiquement, ce sont les enregistrements contenus dans les dépôts sédimentaires lacustres ou marins qui permettent de reconstruire l'histoire des apports en micropolluants métalliques dans l'environnement. En 1997, avec l'équipe de Janusz Dominik, de l'université de Genève, nous avons mené une mission dans le lac Léman pour déterminer l'origine des métaux dans une zone très polluée située au large de Lausanne<sup>(3)</sup>. Le scénario reconstitué est le suivant : après une aug-



**Figure 1.** Sans l'analyse isotopique, l'augmentation des dépôts de plomb enregistrée dans les sédiments du lac Léman aurait été attribuée à la croissance du trafic automobile et la baisse aux mesures environnementales récentes. En réalité, cette évolution est liée à l'installation d'une station d'épuration à partir de 1964, comme l'indique la valeur du rapport  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  autour de 1,14.

## On ne peut interpréter la chute des apports en plomb par la seule réduction des émissions automobiles

\*Un isotope radiogénique est issu de la désintégration d'un isotope père radioactif.

\*Parmi les composés organiques du plomb, on a d'abord utilisé le plomb tétraéthyle, PTE :  $Pb(C_2H_5)_4$ , puis le plomb tétraméthyle, PTM :  $Pb(CH_3)_4$ .

\*Les essences dites sans plomb en contiennent toujours un peu, mais à des concentrations très faibles qui ne doivent pas dépasser 0,013 g/l selon la législation en vigueur.

mentation régulière entre les années 1920 et le début des années 1960, les apports en plomb grimpent en flèche pour atteindre près de  $50 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{an}$  vers 1970 (fig. 1). Depuis, les trente dernières années ont enregistré une baisse importante, d'un facteur 5 environ, puisque, en 1997 les apports valaient un peu plus de  $10 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{an}$ , c'est-à-dire des valeurs comparables à celles observées à l'après-guerre. Sans les analyses

isotopiques, nous serions tentés d'interpréter ces variations comme une conséquence directe des émissions automobiles : intensification de l'utilisation des carburants plombés à la fin de la guerre, croissance exponentielle jusque dans les années 1970, diminution des teneurs en plomb tétraéthyle dans les essences, et enfin introduction des additifs de substitution (1985 en Suisse). Or, cette thèse n'est pas compatible avec les valeurs isotopiques. Au cours des vingt dernières années le contaminant présente une signature  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  d'environ 1,14, très différente du plomb contenu dans les essences suisses à la même époque :  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb} \sim 1,11-1,12$ . En fait, ces résultats prouvent qu'il s'agit à plus de 90 % d'un plomb émis par la station de traitement des eaux usées de Lausanne, qui a rejeté ses effluents dans la zone d'étude à partir de 1964, et dont la signature typique est comparable à celle observée dans les sédiments les plus récents. Le ruissellement qui remobilise généralement une partie des aérosols déposés sur les routes par le trafic automobile n'a donc joué qu'un rôle mineur, tout au moins depuis

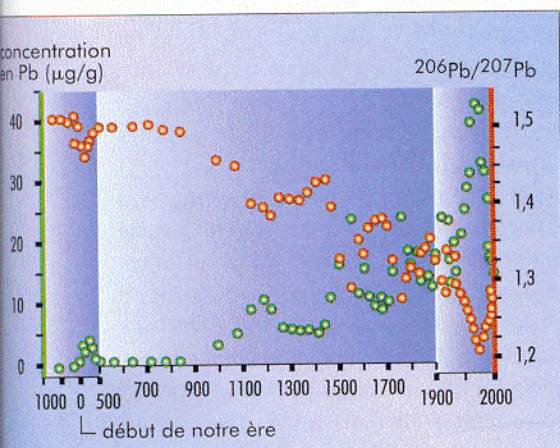
1964. L'augmentation brutale des flux lors de la mise en place de la station s'explique tout simplement par un effet de proximité des effluents, alors qu'auparavant ils devaient être plus diffus. L'amélioration observée dans les années 1970 est vraisemblablement due à de meilleures conditions de traitement des eaux usées. Ici encore l'analyse isotopique lève l'ambiguïté quant à l'origine de la pollution et pointe les sources effectives à surveiller.

**Un âge de plomb ?** Mais remontons un peu plus loin dans le temps. Bien souvent, la révolution industrielle qui a débuté dans la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle est perçue comme le début d'une ère anthropique, marquant une rupture entre l'homme et la nature. Avant, l'homme devait vivre, sinon en harmonie, au moins en équilibre relatif avec son environnement. Les études récentes menées sur les tourbières de montagne, les lacs et les glaces du pôle Nord mettent sérieusement à mal cette image. Comme les sédiments, les tourbières d'altitude et les glaces enregistrent lentement les apports atmosphériques. La contribution détritique y étant très faible, l'identification des apports anthropiques s'en trouve grandement facilitée. William Shotyk de l'université de Berne et ses collaborateurs ont récemment publié un travail passionnant sur une tourbière du Jura suisse qui couvre près de douze mille ans de l'histoire des apports de plomb<sup>(4)</sup>. On y découvre une contamination atmosphérique précoce, attribuée en grande partie

## Dans le marc d'un lac suédois

L'analyse isotopique des sédiments prélevés dans le lac de Koltjärn, au nord de la Suède, retrace l'histoire des apports de plomb depuis 2 000 ans. Elle révèle une première augmentation des teneurs en plomb au début de notre ère. Une simple variation des apports détritiques ne peut pas expliquer cette hausse, puisqu'elle s'accompagne d'une baisse significative des rapports  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  indiquant assurément une origine différente. En fait, ces deux pics correspondent aux apports atmosphériques liés aux exploitations minières grecques et romaines. Suit alors entre 400 et 900 apr. J.-C. une longue période

de récession pendant laquelle les rapports isotopiques remontent vers les valeurs naturelles ( $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb} \sim 1,50$  pour le site en question), tandis que les concentrations diminuent. De 900 à 1200 apr. J.-C. l'exploitation est relancée par la réouverture d'anciennes mines ou la découverte de nouvelles minéralisations en Autriche, en Tchéquie, en Grande-Bretagne, et surtout en Allemagne dans les montagnes Harz. En 1200, la production chute et atteint un minimum durant la peste noire (1350) qui décima près de 25 % de la population européenne. On retrouve une nouvelle période d'expansion jusqu'en 1530, puis une baisse de la production pendant laquelle une partie des ressources a été importée des Amériques. Les deux pics observés au XVIII<sup>e</sup> et au début du XX<sup>e</sup> siècle pourraient, selon les auteurs, avoir des origines plus locales (sources autochtones ou développements agricoles). La concentration maximale est observée aux alentours des années 1970. Les réductions du plomb dans les essences ont finalement porté leurs fruits puisque les concentrations mesurées dans les sédiments datant du milieu des années 1990 sont comparables à celles de la fin du XII<sup>e</sup> siècle, et même inférieures au pic d'émission enregistré au XVI<sup>e</sup> siècle. Remarquons que plus de 50 % du plomb accumulé dans ces lacs s'est déposé avant 1800.



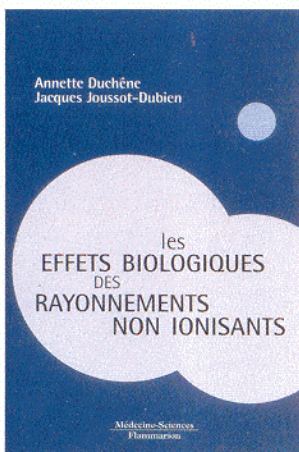
dans laquelle une partie des ressources a été importée des Amériques. Les deux pics observés au XVIII<sup>e</sup> et au début du XX<sup>e</sup> siècle pourraient, selon les auteurs, avoir des origines plus locales (sources autochtones ou développements agricoles). La concentration maximale est observée aux alentours des années 1970. Les réductions du plomb dans les essences ont finalement porté leurs fruits puisque les concentrations mesurées dans les sédiments datant du milieu des années 1990 sont comparables à celles de la fin du XII<sup>e</sup> siècle, et même inférieures au pic d'émission enregistré au XVI<sup>e</sup> siècle. Remarquons que plus de 50 % du plomb accumulé dans ces lacs s'est déposé avant 1800.



**Généralement, les prélèvements de sédiments au fond d'un lac se font d'un bateau.** Lors de la mission menée dans le lac Léman par l'Institut F.A. Forel de l'université de Genève, nous avons eu la chance de disposer du sous-marin de Jacques Piccard, précurseur en techniques sous-marines, pour mieux choisir les sites et forer des carottes de un mètre de profondeur. © auteur

Un ouvrage sur un problème actuel qui concerne notre santé.

## LES EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS NON IONISANTS

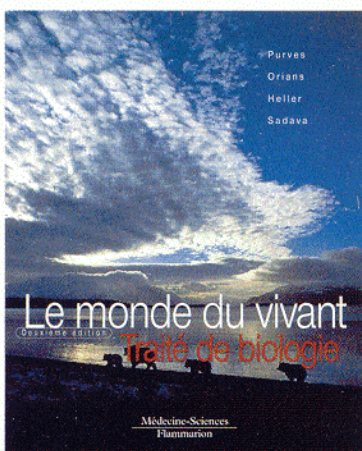


A. DUCHÈNE et J. JOUSSOT-DUBIEN

**Le téléphone portable est-il nocif ? Les échographies chez une femme enceinte sont-elles dangereuses ?...** Médecins, ingénieurs et chercheurs se sont associés pour faire le point des connaissances actuelles sur les effets biologiques des rayonnements électromagnétiques non ionisants : rayonnements optique, ultraviolet, infrarouge, laser, fréquences radio-électriques, champs électriques et magnétiques - et apporter des réponses fiables aux questions que l'on se pose.

Broché, 128 pages et 12 illustrations

Un événement exceptionnel : **LE MONDE DU VIVANT**,  
pour tout savoir sur la biologie moderne.



## Le monde du vivant

Traité de biologie  
2<sup>e</sup> édition française

William K. PURVES,  
Gordon H. ORIANI,  
H. Craig HELLER et David SADAVA  
Traduction de *Life, the Science of Biology*,  
dirigée par Jacqueline LONDON,  
Professeur de biologie moléculaire -  
Université Paris VII Denis Diderot.

1350 pages et 945 illustrations commentées en couleurs,  
un glossaire de 1700 définitions et 10 000 entrées d'index  
pour comprendre la biologie moderne.

Dense, exhaustif et d'un haut niveau d'information, **tous les aspects de tous les êtres vivants** depuis la cellule et ses composants jusqu'à l'étude de l'environnement :

- le point le plus complet sur les acquisitions récentes en biologie.
- une réactualisation de l'ensemble de l'ouvrage et de nouveaux chapitres sur l'évolution moléculaire, l'embryologie animale et l'expression des gènes, la reproduction animale, les fonctions cérébrales supérieures.
- une iconographie moderne, attrayante et de grande qualité, très largement commentée au cœur même des illustrations, ajoutant ainsi à leur valeur didactique.

Ouvrages en vente : chez votre librairie spécialisée,  
en ligne [www.medecine-flammarion.com](http://www.medecine-flammarion.com), ou par correspondance à

Flammarion-Médecine

4 rue Casimir Delavigne - 75006 PARIS

NOM : ..... Prénom : .....  
Adresse : .....  
Code Postal : ..... Ville : .....

FCH 03/01

Je commande :  **LES EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS NON IONISANTS**  
(P.U. TTC) 80 FF. + 20 FF. (frais de port) soit..... 100 FF. ou 15,24 €  
 **LE MONDE DU VIVANT**  
(P.U. TTC) 750 FF. + 30 FF. (frais de port) soit..... 780 FF. ou 118,90 €

Ci-joint mon règlement par chèque à l'ordre de Flammarion Une facture acquittée sera jointe au colis.

Venez nous rendre visite sur notre site internet : [www.medecine-flammarion.com](http://www.medecine-flammarion.com)

aux émissions et aux travaux de fonderie liés à l'exploitation quasi industrielle des gisements métalliques de la péninsule Ibérique. Ces derniers se distinguent par des signatures isotopiques caractéristiques (minéralisations du Rio Tinto, Espagne :  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb} \sim 1,16$  contre  $\sim 1,20$  pour le plomb naturel du Jura). Cette exploitation aurait débuté il y a 3 000 ans et se serait intensifiée à l'époque romaine, principalement à la fin de la République et au début de l'Empire (400 av. J.-C. - 37 apr. J.-C.) Ce plomb, répandu dans l'atmosphère à l'échelle continentale, se retrouve donc aujourd'hui enfoui à un mètre de profondeur dans une tourbière du Jura. Cette vaste dispersion s'observe jusque dans les glaces du Groenland<sup>(5)</sup>. Elle apparaît aussi dans quatre lacs du Nord de la Suède où l'étude des sédiments a même montré que plus de 50 % du plomb accumulé s'est déposé avant 1800, les concentrations ayant retrouvé au milieu des années 1990 un niveau comparable à celui de la fin du XII<sup>e</sup> siècle (voir l'encadré : « Dans le marc d'un lac suédois<sup>(6)</sup> »). En Allemagne du Nord, l'analyse isotopique du plomb présent dans les berges de la rivière Weser a révélé une influence des mines des montagnes Harz, situées à plus de 200 km en amont sur le bassin versant. Ce plomb aurait été apporté par transport fluvial depuis plus de 3 000 ans<sup>(7)</sup>.

**Les Romains intoxiqués.** Ces données vont dans le sens des connaissances archéologiques. D'abord extrait pour l'argent avec lequel il est le plus souvent associé sous forme de galène argentifère, le plomb connaît un net essor de son exploitation spécifique lors du développement de la Grèce antique, puis pendant l'Empire romain, notamment en Espagne. A l'apogée de l'Empire romain, le plomb est largement utilisé comme conservateur ou pour adoucir les aliments et le vin, dans les produits cosmétiques, pour la fabrication des canalisations — donc en partie ingéré — et par l'industrie. Pour certains, il serait même en partie responsable de la chute de l'Empire romain. Son utilisation massive aurait intoxiqué et rendu stérile l'aristocratie dirigeante<sup>(8)</sup>. Même si cette thèse est aujourd'hui controversée pour des raisons historiques, mais surtout pour son caractère eugéniste<sup>(9)</sup>, le citoyen romain devait probablement souffrir de troubles graves, précurseurs du saturnisme.

On estime aujourd'hui que le niveau de production atteint à l'apogée de l'Empire romain n'a été dépassé qu'au début du XIX<sup>e</sup> siècle. Le décryptage du message isotopique archivé dans l'environnement se poursuit et devrait nous éclairer sur toute l'histoire de la production métallique. A l'initiative d'archéologues et de botanistes, plusieurs projets se montent aujourd'hui, notamment dans le Morvan, autour d'équipes réunissant aussi des historiens, des métallurgistes, des paléo-botanistes, des géophysiciens et des géochimistes. Les résultats pourraient bien nous réserver de nouvelles surprises, concernant les pratiques forestières et agricoles liées à l'exploitation minière (déforestation, mouvements de populations) par exemple, et surtout nous permettre de mieux connaître l'héritage des civilisations anciennes sur nos écosystèmes.

F.M. ■