

De la Révolution industrielle à nos jours

Examinons maintenant la pollution plus récente, par les divers métaux. La carotte prélevée entre la surface et 70 mètres de profondeur, à Summit, permet de reconstituer cette pollution des années 1770 à nos jours. Tout d'abord, les concentrations en plomb sont proches de 10 picogrammes par gramme dans les années 1770, c'est-à-dire environ le double des concentrations observées à la Renaissance. Elles croissent ensuite jusqu'à 50 picogrammes par gramme, dans les années 1900, en raison de la croissance progressive des émissions de plomb par l'industrie des métaux non ferreux, par la sidérurgie et par la combustion du bois et du charbon. Au cours des années 1920 et 1930, les concentrations auraient ensuite décliné passagèrement, peut-être en raison de la dépression économique.

Puis, des années 1930 à la fin des années 1960, les concentrations ont

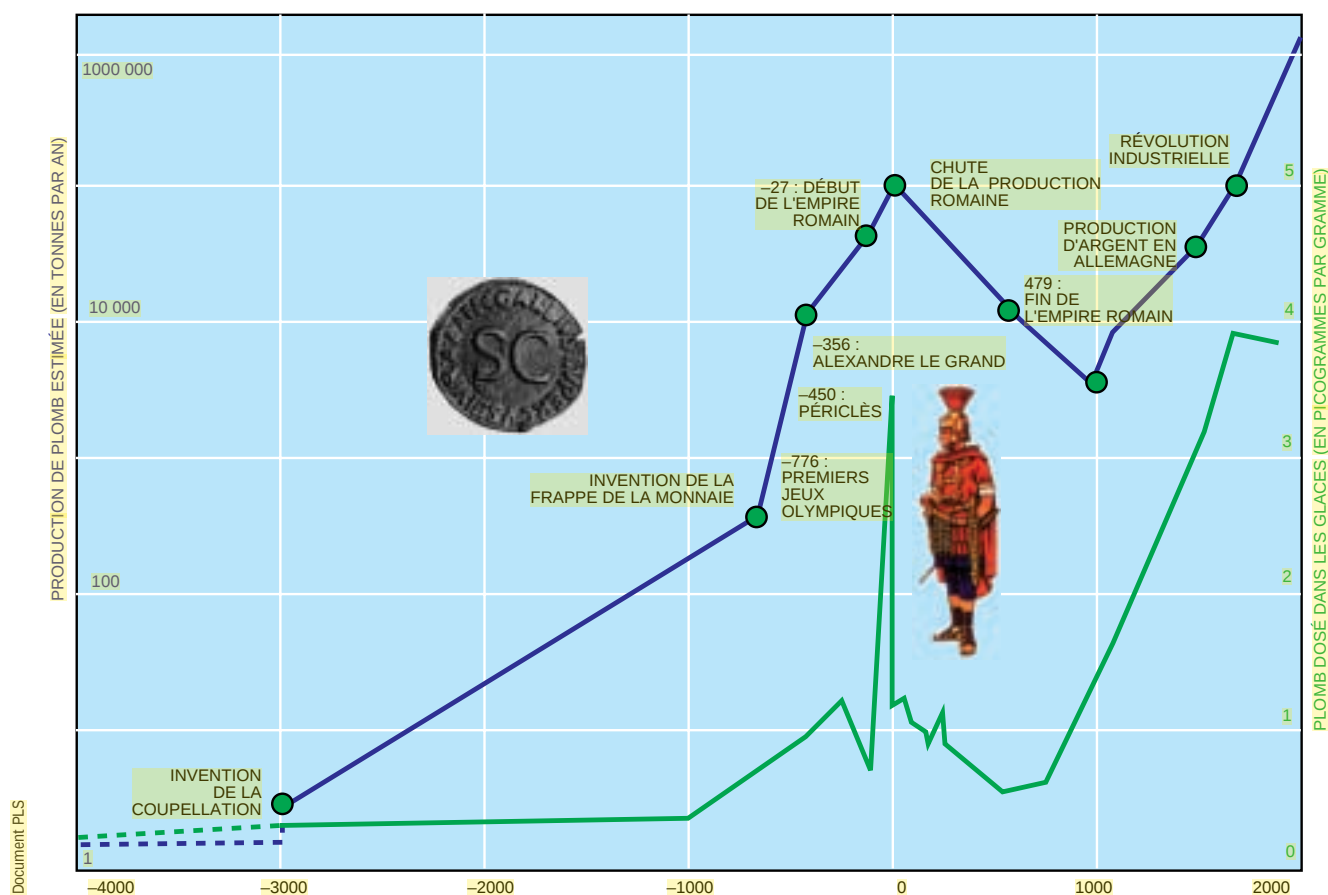
considérablement augmenté, en raison de l'introduction (en 1923), puis de l'utilisation généralisée des composés organo-plombés (le plomb tétraéthyle et le plomb tétraméthyle), comme additifs antidétonants dans les carburants pour automobiles et pour avions. Au maximum des années 1960, la quantité d'additifs utilisée avoisinait les 400 000 tonnes par an (dont deux tiers environ pour les États-Unis). Près de 70 pour cent de ces quantités étaient directement rejetées dans l'atmosphère, à la sortie des pots d'échappement : l'ensemble de notre planète fut terriblement contaminé.

Les concentrations maximales atteintes dans les neiges du Groenland à la fin des années 1960 – environ 100 picogrammes par gramme – sont plus de 200 fois supérieures aux concentrations naturelles d'il y a plusieurs milliers d'années, et la pollution par le plomb fut, de loin, l'une des pollutions globales les plus spectaculaires (les facteurs d'augmentation pour les composés du soufre et de l'azote, pour le

gaz carbonique et pour le méthane sont bien inférieurs).

À partir du début des années 1970, les concentrations diminuent d'un facteur dix environ, ce qui ramène les concentrations des années 1990 au niveau de celles de la première moitié du XIX^e siècle. Manifestement, c'est là l'effet de l'abandon progressif des additifs au plomb au cours des deux dernières décennies. D'une part, de plus en plus de véhicules (la quasi-totalité aux États-Unis et au Japon) consomment maintenant une essence non plombée ; d'autre part, les compagnies pétrolières ont été conduites à réduire les concentrations en plomb dans l'essence plombée : en France, la concentration en plomb, qui était de 0,55 gramme par litre en 1976, est passée à 0,15 gramme par litre depuis 1991.

La contribution des additifs au plomb à la pollution généralisée de l'atmosphère, au cours des dernières décennies, a été directement confirmée par la détection de composés organo-plombés, principalement le plomb tri-



5. LES CONCENTRATIONS EN PLOMB dans les glaces du Groenland ont été altérées par les activités humaines dès le premier millénaire avant notre ère. Sur ce diagramme, on a mis en correspondance la production estimée de plomb et la quantité de plomb présente dans les

glaces. Les analyses montrent que la pollution en plomb de l'atmosphère de l'hémisphère Nord est ancienne. L'Empire romain a largement pollué la Terre. Puis la pollution a repris à partir du Moyen Âge, avant de se généraliser avec l'introduction des additifs pour l'essence.



6. LA PRODUCTION de cuivre (courbe à droite) a commencé il y a plus de 6 000 ans. Elle a culminé une première fois à l'apogée de l'Empire romain (les lingots de gauche datent de cette époque).



Un deuxième maximum est observé à l'époque de la dynastie Sung, en Chine. La production actuelle est proche de neuf millions de tonnes par an.

thyle et le plomb diéthylo, dans les neiges du Groenland déposées lors de ces décennies : ces molécules n'existant pas à l'état naturel dans l'environnement, elles constituent des traceurs de la pollution par les additifs de l'essence. Absentes de la neige et de la glace déposées avant les années 1920, elles sont présentes dans les couches déposées à partir des années 1930.

De surcroît, l'étude de la composition isotopique du plomb déposé au Groenland a permis d'identifier l'origine géographique de ce plomb, par comparaison avec les « signatures isotopiques » du plomb émis dans les différentes zones sources de l'hémisphère Nord : pour ces études, on détermine par exemple l'abondance relative du plomb 206 et du plomb 207 dans le plomb émis dans les diverses régions du Globe, et on la compare aux abondances isotopiques effectivement observées dans les neiges du Groenland.

Ces analyses ont montré qu'au début des années 1970, les deux tiers du plomb déposé au Groenland central provenaient des seuls États-Unis ; à la fin des années 1980, les États-Unis n'étaient plus responsables que du quart des retombées, par suite de la très rapide baisse de l'utilisation des additifs dans ce pays. Les trois quarts du plomb provenaient alors d'Europe, où la baisse de l'utilisation des additifs au plomb a été plus tardive.

Les seuls autres métaux pour lesquels on dispose de suffisamment de

données fiables pour les deux derniers siècles sont le zinc, le cadmium et le cuivre. Les concentrations de ces trois métaux ont fortement augmenté jusqu'aux années 1960-1970, puis elles ont légèrement diminué au cours des deux dernières décennies. Les valeurs atteintes pendant les années 1960-1970 sont huit fois supérieures aux valeurs naturelles pour le cadmium, et cinq fois supérieures aux valeurs naturelles pour le zinc et le cuivre.

Toutefois la chronologie des changements diffère selon les métaux. Pour le zinc, la croissance des concentrations semble avoir été progressive à partir

des années 1770, alors que, pour le cadmium, elle n'aurait commencé qu'à partir des années 1850.

L'augmentation des concentrations jusqu'aux années 1960-1970 résulte sans aucun doute de l'augmentation des émissions atmosphériques de ces métaux liées à la production des métaux non ferreux, à la sidérurgie, à la combustion du bois et des combustibles fossiles et à l'incinération des ordures. La décroissance observée au cours des deux dernières décennies illustre les effets bénéfiques des mesures de réduction des émissions adoptées dans de nombreux pays industrialisés.

Claude BOUTRON, professeur à l'Université Joseph Fourier de Grenoble (Institut universitaire de France), travaille au Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement du CNRS.

J.O. NRIAGU, *Occupational Exposure to Lead in Ancient Times*, in *Sci. Tot. Environ.*, vol. 31, pp. 105-116, 1983.

J.O. NRIAGU et J.M. PACYNA, *Quantitative Assessment of Worldwide Contamination of Air, Water and Soils by Trace Metals*, in *Nature*, vol. 323, pp. 134-139, 1988.

K.J.R. ROSMAN, W. CHISHOLM, C.F. BOUTRON, J.P. CANDELONE et U. GÖRLACH, *Isotopic Evidence for the Sources of Lead in Greenland Snows since the Late 1960s*, in *Nature*, vol. 362, pp. 333-335, 1993.

S. HONG, J.P. CANDELONE, C.C. PATTERSON et C.F. BOUTRON, *Greenland Ice Evidence of Hemispheric Lead Pollution*

two Millennia ago by Greek and Roman Civilizations, in *Science*, vol. 265, pp. 1841-1843, 1994.

J.P. CANDELONE, S. HONG, C. PEL-LONE et C.F. BOUTRON, *Post-industrial Revolution Changes in Large-scale Atmospheric Pollution of the Northern Hemisphere by Heavy Metals as Documented in Central Greenland Snow and Ice*, in *J. Geophys. Res.*, vol. 100, pp. 16605-16616, 1995.

C. F. BOUTRON, *Historical Reconstruction of the Earth's Past Atmospheric Environment from Greenland and Antarctic Snow and Ice Cores*, in *Environ. Rev.*, vol. 3, pp. 1-28, 1995.

S. HONG, J.P. CANDELONE, C.C. PATTERSON et C.F. BOUTRON, *History of Ancient Copper Smelting Pollution during Roman and Medieval Times Recorded in Greenland Ice*, in *Science*, vol. 272, pp. 246-249, 1996.