

De très grandes précautions doivent également être prises au cours de l'analyse proprement dite. Toutes les analyses sont effectuées dans des salles blanches, similaires à celles qui sont utilisées dans l'industrie micro-électronique, où l'air, ultra-filtré, est en légère surpression par rapport à l'extérieur ; les opérateurs portent des vêtements spéciaux non émissifs de poussière et des gants en polyéthylène. Nous n'utilisons que des matériaux non contaminants pour les métaux mesurés, tels le polyéthylène basse densité ou certains téflons, pour les récipients qui sont en contact avec les échantillons. L'ensemble du matériel utilisé subit des nettoyages poussés, par immersion dans des bains d'acide nitrique chaud, de pureté croissante. Les bains terminaux sont préparés à l'aide d'acide nitrique de très haute pureté, mis au point pour l'analyse des roches lunaires.

Parmi les techniques spectrométriques ultra-sensibles qui sont utilisées figure notamment la spectrométrie de masse à ionisation thermique, que nous utilisons avec notre collègue australien Kevin Rosman, de l'Université de technologie de Perth. Cette technique permet tout à la fois de déterminer la composition isotopique du plomb (l'abondance relative des isotopes

204, 206, 207 et 208) et la concentration totale de ce métal dans des échantillons ne contenant que  $10^{-11}$  gramme (un cent milliardième de gramme) de plomb.

Les volumes d'échantillons utilisés sont de l'ordre de dix millilitres ; on les transporte congelés en Australie, afin de limiter les échanges avec les parois des flacons. Puis, en salle blanche, on les évapore lentement en présence d'acide nitrique ultra-pur et d'un mélange de silica gel et d'acide phosphorique, jusqu'à l'obtention d'une goutte. Cette dernière est alors transférée sur un filament en rhénium, qui est introduit dans le spectromètre de masse ; une fois le vide effectué dans le spectromètre, on chauffe le filament afin de produire un faisceau d'ions métalliques qui sont déviés par des champs électriques et magnétiques. Comme la déviation des ions, dans le spectromètre, dépend du quotient de leur masse par leur charge électrique, on détermine l'abondance relative des divers isotopes. De surcroît, l'introduction d'une quantité connue d'un traceur enrichi en plomb 205 permet d'accéder à la concentration totale en plomb (méthode de dilution isotopique).

La spectrométrie de fluorescence atomique laser, que nous utilisons avec

Michael Bolshov et ses collègues de l'Institut de spectroscopie de Troitzk (près de Moscou), est une autre technique performante. Cette fois, on vaporise 50 microlitres de glace fondue dans le faisceau d'un laser accordable à colorant doublé en fréquence. On mesure la fluorescence des atomes du métal dosé (la longueur d'onde du laser est choisie pour exciter spécifiquement les atomes de ce métal). Cette fois, il s'agit d'une technique relative : le signal obtenu permet de déterminer la concentration du métal dosé par rapport à la concentration (connue) d'étalons contenant le même métal.

Encore rarement utilisée, la spectrométrie de fluorescence atomique laser a mesuré les concentrations en plomb, en cadmium et en bismuth à partir de très petits volumes d'échantillon jusqu'à des concentrations de l'ordre de  $10^{-13}$  gramme (ou dix millièmes de milliardième de gramme) par gramme de glace, ce qui correspond à des masses détectées comprises entre  $10^{-16}$  et  $10^{-15}$  gramme.

Enfin, avec Freddy Adams, de l'Université d'Anvers, nous avons étudié les composés organo-métalliques, tels ceux qui sont ajoutés dans l'essence automobile comme additifs antidétonants. Ces additifs sont du plomb tétraéthyle ou tétraméthyle, mais ils



**3. INSTRUMENTS MÉDICAUX** retrouvés à Herculaneum et ustensiles de cuisine en bronze datant de l'Empire romain. Les glaces du Groenland montrent que la métallurgie du cuivre, dans des fours à ciel ouvert, a pollué notre atmosphère dès l'Antiquité. Il y a 7 000 ans environ, on utilisait déjà le cuivre natif. La production de cuivre a considérablement augmenté à partir d'il y a 5 000 ans, avec l'apparition des techniques qui permettent de traiter les carbonates, les oxydes, puis, plus tard, les sulfures de cuivre.