



Expériences de radioactivité sous les Alpes

# Peser l'Univers et dater le monde

Tunnel du Fréjus. Dans un laboratoire souterrain, des physiciens s'isolent pour mesurer l'âge du vivant grâce à la radioactivité. Tout y passe : petits vins et grands crus, coquillages et crustacés, os de porc et de bœuf livrent leurs secrets. Reportage.

**La recherche française** est sens dessus dessous. Elle envoie des océanographes dans les Alpes, et même en dessous, à 1200 mètres d'altitude, 1700 mètres de profondeur et plus de 150 kilomètres de la plus proche mer ! Plus précisément au milieu du tunnel du Fréjus, qui relie la France et l'Italie. Nulle punition, au contraire. Au fond de cette grotte de moins de 150 mètres carrés, dans une atmosphère climatisée et sans lumière naturelle, l'océa-

nographe, mais aussi l'œnologue, l'électronicien, l'archéologue, le médecin, le physicien trouveront leur bonheur : le calme. Certes les milliers de voitures et de camions qui passent chaque jour à quelques mètres du laboratoire sont un désagrément, mais grâce aux 1700 mètres de roches au-dessus d'eux, les chercheurs sont protégés d'un bruit autrement plus dramatique pour leurs expériences : le bruit de fond de particules.

Chaque seconde, plusieurs dizaines de milliards de neutrinos et une petite dizaine de muons nous tombent sur la tête... et nous traversent sans aucun dommage. Ces particules viennent du Soleil, mais aussi du reste de l'Univers *via* les rayons cosmiques très énergétiques qui percutent les molécules de l'atmosphère et créent des gerbes de nouvelles particules : des électrons, des protons ou des neutrinos pour les plus connues,

mais aussi des muons, des kaons ou des pions, pour les plus exotiques. Sans danger pour l'homme, cette pluie affole les détecteurs et cache les phénomènes rares que les scientifiques traquent. Au Laboratoire souterrain de Modane (LSM), ce bruit est environ deux millions de fois plus faible qu'en surface. « *Pour vivre heureux, vivons cachés* », en somme. Mais pour quoi faire ? Entrons.

D'abord, avant les muons, gare

explique Jean-Louis Reyss, directeur adjoint du LSM. *Sans déboucher les bouteilles !* » Et grâce... aux explosions nucléaires ! En effet, les premiers essais aériens atomiques des années 1950 puis l'accident de Tchernobyl en 1986 ont apporté dans l'atmosphère un radioélément qui n'existe pas naturellement sur Terre, le césium 137. Ce noyau, issu des réactions de fissions nucléaires, est ainsi nommé à cause de ses 137 protons et neutrons. Avec les pluies, cet élément retombe sur le sol et sur les raisins. Il devient ainsi un excellent indicateur pour dater une bouteille. Si le vin testé n'en contient pas, le millésime est antérieur aux années 1950.

Mieux, en connaissant la teneur en césium 137, il est possible de préciser l'âge. Sur un mur, une courbe illustre cette retombée inattendue des armes atomiques : un premier pic de césium à la fin des années 1950, puis une chute et une reprise brutale en 1963, quelques mois avant le moratoire sur les essais atmosphériques, et enfin un nouveau sommet, plus faible que les précédents, en 1986 pour Tchernobyl. L'histoire nucléaire se lit dans le vin. Pour détecter ce radioélément, il faut à nouveau recourir à la radioactivité. Le césium 137 n'est pas stable, il se désintègre en émettant un rayonnement gamma (lire l'encadré ci-contre) que les instruments cubiques de la pièce détectent. En trente ans, la moitié des noyaux d'un échantillon a disparu.

« Lorsque nous avons expliqué aux vignerons que le vin était radioactif, il y a eu des craintes. Mais à force de pédagogie, nous avons réussi à chasser ces inquiétudes. Notre technique est un exemple parfait des retombées de la recherche fondamentale puisque ces appareils ont été développés pour Nemo, donc pour la recherche en physique des neutrinos », se souvient Philippe Hubert, physicien du Centre d'études nucléaires de Bordeaux-Mérignac. Une vingtaine de bouteilles millésimées de 1929 à 1999 ont été testées durant un à deux jours chacune.

Désormais, ces cénologues de

circonstances travaillent à deux raffinements supplémentaires : améliorer la précision de la datation et déterminer l'origine géographique. Là, le césium ne suffit plus. Heureusement le vin est riche en radioéléments : outre le césium 137, il y a aussi le potassium 40, du plomb 210 et deux isotopes du radium. De quoi dater des vins plus jeunes, voire dresser une carte d'identité radiologique de chaque appellation. En attendant, Philippe Hubert a installé des détecteurs dans les caves de l'université de Bordeaux, vingt-cinq fois moins protégées du bruit que les Alpes, mais plus adéquates pour ce genre d'études...

### Sous l'œil des rayons gamma

Un peu plus loin, un technicien raccroche son téléphone et ouvre le capot d'une machine cubique. En son milieu, un métal, du germanium, qui constitue la partie active de l'instrument. Lorsqu'un rayon gamma est émis par un échantillon placé au centre, il arrache des électrons au cristal de germanium, qui pèse de plusieurs centaines de grammes à quelques kilogrammes selon les dispositifs. Un courant électrique apparaît. L'éner- ➤

## Qu'est ce que la radioactivité ?

La matière n'est pas stable. Les noyaux qui la constituent se débarrassent régulièrement de certaines particules. Et ce, de trois façons différentes.

Emission d'une particule alpha (radioactivité alpha) : un noyau d'hélium, constitué de deux protons et de deux neutrons, est éjecté.

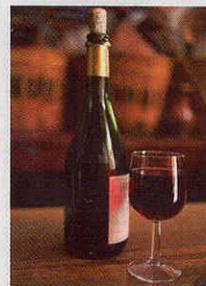
Emission d'un électron (radioactivité bêta) : cette réaction est à l'origine des émissions de neutrinos du Soleil.

Emission de photon (radioactivité gamma) : des noyaux excités retournent à l'équilibre en émettant un photon analogue aux rayons X mais plus énergétiques.

Un homme est radioactif à cause du potassium et du carbone 14 qu'il contient. 10 000 noyaux se désintègrent par seconde (soit 10 000 becquerels par seconde) dans un corps humain de 70 kilos. □

## Des retombées inattendues

La radioactivité gamma est riche d'applications qui reposent toutes sur le même principe : mesurer d'infimes quantités de radioéléments.



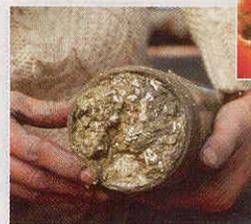
Age des vins



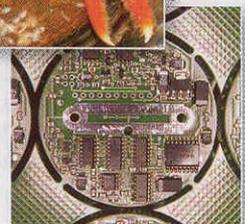
Age des crustacés



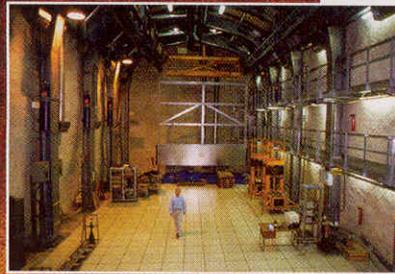
Etude du plancton marin



Datation archéologique



Contrôle des circuits imprimés



Sous les Alpes, l'entrée du laboratoire, vue de la route entre l'Italie et la France, et le hall principal lors des travaux dans les années 80.

aux camions. Il faut traverser à pied une route à deux voies très fréquentée par les poids lourds. A droite, à quelques mètres, la frontière italienne. En face, un espace sombre et un peu sale. C'est l'entrée du laboratoire. La première porte franchie, le bruit des voitures s'étouffe et la lumière est plus vive. Des bouteilles d'hélium témoignent que l'endroit n'a plus rien à voir avec l'Équipement. Quelques mètres plus loin, une deuxième porte marque l'entrée véritable du laboratoire. Dans le hall, une gigantesque cuve occupe presque tout l'espace. Il s'agit de Nemo 3, un instrument servant à peser l'Univers. Ou du moins, une de ses particules les plus étranges, le neutrino (lire l'encadré p. 81). Si ces travaux n'ont pas encore donné de résultats, ils ont débouché sur des applications spectaculaires en radioactivité. Devenues la spécialité du lieu, celles-ci sont cantonnées dans un espace réduit où, de chaque côté, sont alignés de gros cubes métalliques baptisés mondeuse, roussette, abymes... Visiblement, les chercheurs aiment la Savoie et le vin. La Savoie, c'est entendu, mais le vin ?

« Nous avons développé une technique pour dater les crus,

» gie d'un rayon gamma est propre à chaque noyau radioactif. Ainsi, cette mesure identifie précisément le type de radioélément présent dans l'échantillon ainsi que sa quantité.

Pour protéger ce cœur sensible, la montagne ne suffit pas. C'est pourquoi une double épaisseur de plomb et de cuivre est ajoutée pour diminuer encore le flux de particules indésirables : des centaines de coups par seconde sans ces protections contre seulement 0,2 coup par minute avec. Ensuite, l'ensemble est refermé et refroidi pour améliorer la sensibilité du germanium. Cette étape achevée, le technicien reprend le téléphone et signale à son interlocuteur que l'échantillon a été échangé.

« Il n'y a plus beaucoup de chercheurs en permanence ici car les résultats sont directement accessibles depuis les laboratoires extérieurs », explique Jean-Louis Reyss. Curieux, il jette un œil sur les échantillons. Des os de porc et de bovins ! Philippe Hubert, resté à Bordeaux, est en train de tester pour un chirurgien si certains implants osseux ne contiennent pas de radioéléments et quelles sont les conditions de la migration de ces noyaux dans les os. D'ou

ces essais très préliminaires sur du matériel animal. « *Moi-même, j'ai eu à travailler sur des os humains dans une affaire judiciaire*, se souvient Jean-Louis Reyss. *J'ai donné une date approximative de décès, mais la méthode n'a jamais été complètement validée. Ce travail a quand même contribué à donner*

**« La datation du vin est un exemple parfait des apports de la recherche en physique des particules. »**

Philippe Hubert

*quelques pistes aux juges. »*

Ce chercheur a également collaboré avec des biologistes de l'Ifremer pour déterminer l'âge des crustacés et, ainsi, mieux évaluer les stocks. Le laboratoire a alors été envahi par toute une collection de carapaces de crabes, tourteaux, langoustes ou homards. « *Nous n'en avons pas mangé un seul* », se défend Jean-Louis Reyss. Pour connaître l'âge des poissons, les écailles, à la manière des cernes d'un arbre, sont suffisantes. Une technique qui ne marche pas pour les crustacés. Car ceux-ci grandissent par palier, en muant.

Heureusement, la bienfaitrice radioactivité est encore là.

Cette fois point de césium mais un couple de radioéléments : le radium et le thorium, qui « descendent » du radium après sa désintégration. Ce radium s'incorpore dans la carapace au moment de la calcification. Le rapport de la quantité de thorium sur celle de radium détermine l'âge de la dernière mue. Comme par

*ici* », justifie Jean-Louis Reyss. Surtout depuis l'accident du tunnel du Mont-Blanc. Le laboratoire s'est ainsi équipé de caméras thermiques pour « voir » à travers la fumée. Des vestes de protection incorporant une bouteille d'oxygène ont été spécialement fabriquées. Côté société de gestion du tunnel routier, un escalier d'évacuation sera installé. En attendant, le rideau d'eau fonctionne et rend l'air frais et humide.

De l'eau, encore de l'eau. Notre hôte tient maintenant dans la main une éprouvette d'une dizaine de centimètres contenant des cristaux blancs. « *C'est ce qui reste de 1900 litres d'eau de mer* », s'amuse Jean-Louis Reyss, qui, en plus de ses fonctions officielles, est membre du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement, commun au CNRS et au CEA (Gif-sur-Yvette, Essonne). « *Nous cherchons un traceur de l'âge et de l'activité des planctons marins. Tout le monde utilise le sulfate de baryum, une composition insoluble, mais sa formation est paradoxalement encore mal connue* », ajoute-t-il. Pour combler cette lacune, des milliers de litres d'eau ont « coulé » dans les cœurs de germanium. Objectif, mesurer les concentrations respectives en radium 228 et 226 de ce sulfate pour le dater et en percer les secrets.

Mais le chercheur a déjà en main une autre éprouvette. Là, ce sont des sédiments du lac d'Annecy : 30 centimètres de carottes pour lire les 150 dernières années de l'histoire de ce lac alpin. Les tremblements de terre, l'agriculture sur ses berges, l'impact de l'homme... Après l'océanographie, c'est l'archéologie qui profite de la radioactivité.

Visiblement l'absence de fenêtre ne bouche pas l'horizon de ces chercheurs qui « voyagent » de Bordeaux à Tchernobyl, d'Annecy à Mururoa, de l'Océan à la Méditerranée. Quand les archéologues fouilleront la grotte de Modane, ils s'interrogeront sûrement sur ces rites étranges qui mêlent carapaces de crabes, circuits imprimés, bouteilles de vin, ou os de porcs. Sacrée montagne !

David Larousserie

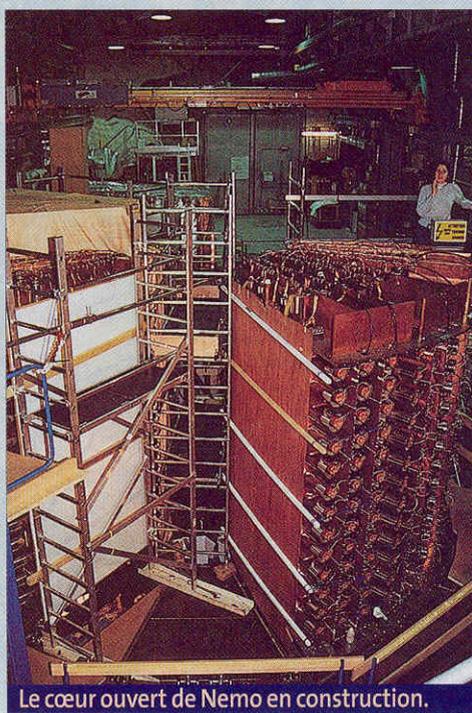
## SUR LA PISTE DE LA MASSE MANQUANTE

La radiométrie n'occupe qu'une partie du tunnel. L'essentiel est consacré à la « pesée » de l'Univers au travers de trois expériences dont a bénéficié la technique de datation du vin. En retour, la plupart des pièces, y compris les soudures, de ces trois instruments sont testées dans les détecteurs en germanium pour vérifier l'absence de traces de radioactivité indésirable.

Nemo 3, la plus grosse expérience, cherche une réaction de désintégration interdite. Une émission double bêta, sans neutrino. Si le résultat est positif, la masse du neutrino sera enfin connue. La source est en molybdène.

TGV, la plus modeste, recherche aussi cette anomalie radioactive mais avec du calcium.

Edelweiss, la plus avancée, traque une nouvelle espèce de particules, les Wimps, ou mauviettes, qui seraient de bonnes candidates à la masse manquante de l'Univers (voir *Sciences et Avenir* n° 640, juin 2000). Les premiers résultats indiquent que, si les Wimps existent, ils tapent moins d'une fois par jour un détecteur de 10 kg... □



Le cœur ouvert de Nemo en construction.