Zeitschrift: Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles

Herausgeber: Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles

Band: 125-1 (2002)

Artikel: La laboratoire souterrain de la Vue-des-Alpes : mesure des quantités de radio-isotopes présents dans la matière

Autor: Busto, José / Gonin, Yvan

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-89576

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 29.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

LE LABORATOIRE SOUTERRAIN DE LA VUE-DES-ALPES: MESURE DES QUANTITÉS DE RADIO-ISOTOPES PRÉSENTS DANS LA MATIÈRE

JOSÉ BUSTO & YVAN GONIN

Institut de Physique, Université de Neuchâtel, Rue A.-L. Breguet 1, CH-2000 Neuchâtel, Suisse. E-mail: jose.busto@unine.ch

Mots-clés: isotopes, radioactivité, spectrométrie γ, détecteur au germanium, mesures bas-bruit

Keywords: isotopes, radioactivity, γ-spectrometry, Germanium detector, low-background measurements

Résumé

La mesure de la radioactivité intrinsèque d'un matériau, d'un liquide ou d'un gaz, est indispensable pour certains domaines d'activité, tels les expériences en physique des particules, la médecine d'implantation, l'environnement et les ressources naturelles. Le laboratoire de la Vue-des-Alpes permet d'effectuer ces mesures avec une très grande précision. Cet article décrit ce dernier et les mesures qui y sont effectuées.

Summary

The measure of the intrinsic radioactivity of different materials, liquids or gases, is very important for several activity domains, such as in particle physics experiments, in medical research, in environmental activity and in natural resources. Very precise measurements can be undertaken in the "La Vue-des-Alpes" Underground Laboratory. This paper describes this laboratory and the measurements we are performing there.

Zusammenfassung

In Experimenten der Teilchenphysik, wo es gilt, extrem seltene Ereignisse nachzuweisen, ist es unabdingbar, dass der radioaktive Untergrund so gering wie möglich gehalten wird. Dies bedingt, dass die Materialien, aus welchen der Detektor gebaut wird, sehr sorgfältig ausgewählt werden müssen, d.h. sie müssen eine möglichst geringe radioaktive Verunreinigung aufweisen. Die Messung radioaktiver Verunreinigungen ist aber auch von Belang in so unterschiedlichen Gebieten wie der Implantationsmedizin oder den Umweltwissenschaften. Dieser Artikel zeigt auf, wie im Laboratorium "La Vue-des-Alpes" die präzisesten Messungen dieser Art in der Schweiz vorgenommen werden.

INTRODUCTION

La mesure de la radioactivité intrinsèque des matériaux est très importante, aussi bien en recherche fondamentale que pour certaines applications. Citons par exemple:

• la physique des particules: certaines expériences, cherchant des événements qui sont très rares, comme les neutrinos solaires, la désintégration ββ ou la matière noire, sont extrêmement gênées par la bruit de fond induit par les désintégrations radioactives des matériaux proches ou faisant partie du détecteur (HEUSSER, 1995); ces derniers doivent donc être contrôlés avant le montage;

• la physique médicale: mesures des matériaux que l'on implante dans le corps humain, comme les alliages dentaires et les têtes de fémur artificielles;

• les sciences géologiques: les radioéléments sont utilisés pour la datation ou comme traceurs dans une multitude de sujets, tels que la vulcanologie, l'hydrologie, etc.

Parmi les techniques utilisées, la spectrométrie γ a l'avantage de pouvoir mesurer simultanément plusieurs isotopes différents sans provoquer de changement ou de destruction au niveau chimique. Afin de pouvoir mesurer des taux de radioactivité très faibles, le bruit dû à des événements autres que ceux désirés doit être réduit au maximum. Pour ce faire, le spectromètre doit être blindé de plusieurs manières, décrites dans le chapitre suivant.

1. DESCRIPTION DU LABORATOIRE

Comme nous l'avons mentionné dans l'introduction, le bruit que nous devons éliminer est principalement produit par deux sources distinctes: la première est essentiellement due à la désintégration des chaînes radioactives naturelles de ^{238}U, ^{232}Th et ^{40}K. La seconde provient de l'activité humaine et se compose essentiellement d'isotopes tels que le ^{137}Cs ou le ^{60}Co, la plupart de ces isotopes étant des émetteurs γ. A ces deux sources, il faut ajouter le rayonnement cosmique dont l'origine est principalement due aux protons de haute énergie interagissant avec l'atmosphère terrestre.

Afin de supprimer ces sources de bruit dans le détecteur, il convient de prendre une série de mesures (BUSTO *et al.*, 1992):

• enfouir le détecteur dans un laboratoire souterrain afin de réduire les effets des rayons cosmiques (muons, neutrons, etc);

• construire l'ensemble avec des matériaux très purs au niveau radioactif;

• blinder le détecteur avec du plomb et du cuivre de haute pureté [1];

• éventuellement pressuriser l'ensemble afin d'empêcher le radon d'y pénétrer.

Le laboratoire de la Vue-des-Alpes se trouve dans le tunnel routier du même nom et dépend du groupe de physique corpusculaire de l'Institut de Physique. Il a été créé en 1996 avec le but principal de sélectionner les matériaux utilisés pour les expériences du groupe de recherche y relatif. Ainsi, de très nombreuses mesures ont été effectuées dans le cadre des expériences MUNU (AMSLER *et al.*, 1997) et ββ au St-Gotthard (LUESCHER *et al.*, 1998). Occasionnellement, et vu la précision du détecteur (voir plus loin), des mesures de radiopureté sont réalisées pour d'autres expériences internationales, telles les collaborations OPERA (CERN (CH) - Gran Sasso (I)) (GULER *et al.*, 2000), Palo Verde (USA) (LAWRENCE *et al.*, 1997) et TEXONO (Taiwan) (CHANG *et al.*, 1998). De plus, une étude approfondie de la radioactivité intrinsèque des colles utilisées en physique fondamentale a été récemment publiée (BUSTO *et al.*, 2002).

Les quelques exemples que nous venons de citer ne sont qu'une partie des mesures

[1] Ce cuivre de haute pureté est appelé "cuivre OFHC (Oxygen Free High Conductibility) "

effectuées dans ce laboratoire. Par ailleurs, la liste des applications de la spectrométrie γ de précision dont nous venons de parler est loin d'être exhaustive. Plusieurs projets, dont un concernant la mesure de gaz liquéfiés, très important dans notre domaine de recherche, sont en préparation. D'autres sont en cours d'évaluation et de discussion.

Le laboratoire est surmonté par 230 mètres de roches (600 mètres d'équivalent en eau), ce qui réduit à zéro le flux de neutrons cosmiques et d'un facteur 1000 le flux de muons. Il a une surface utile de 40 m^2 sur laquelle on trouve le cryostat et le spectromètre, ainsi que l'électronique d'acquisition.

Le détecteur est protégé contre l'activité locale par un blindage constitué de 20 cm de plomb et de 15 cm de cuivre OFHC. Tous ces matériaux ont été testés et sont radiochimiquement très purs. Le blindage total se trouve enfin dans une boîte d'aluminium qui est légèrement pressurisée avec de l'azote, afin de prévenir la contamination par le radon de l'air (figure 1).

Le détecteur lui-même est un détecteur semi-conducteur en germanium de 400 cm^3, développé et construit par la maison française Eurisys Mesures en Alsace. Il est refroidi par de l'azote liquide, dont le gaz d'ébullition est utilisé pour pressuriser le tout (figure 2).

L'acquisition est assurée par un PC, via une carte SILENA. Ce que l'on va acquérir est simplement le nombre de coups dans un certain intervalle d'énergie. Le détecteur est calibré avec une source de monazite (un phosphate riche en uranium et en thorium) possédant un grand nombre de raies γ. Par ailleurs, le bruit de fond du détecteur est mesuré périodiquement afin de pouvoir le soustraire par la suite.

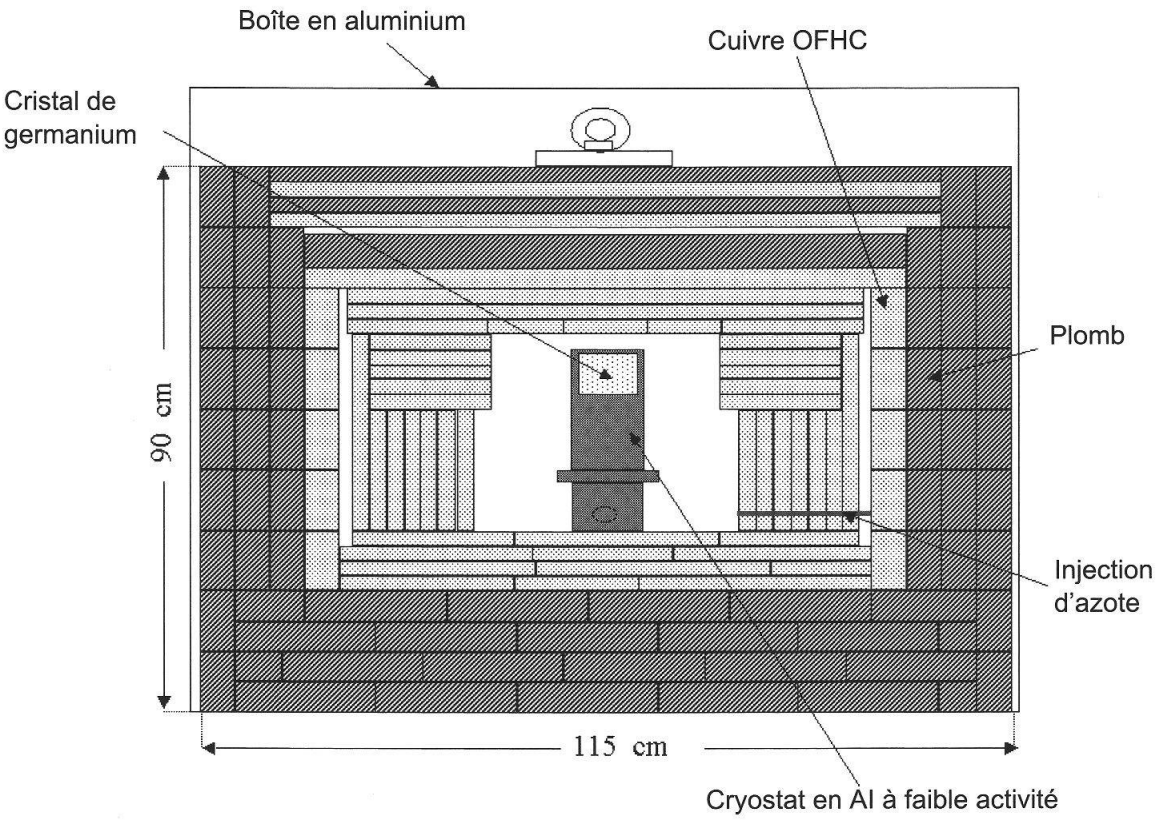

Figure 1: dessin technique du blindage du détecteur. Le tout est pressurisé à l'azote.

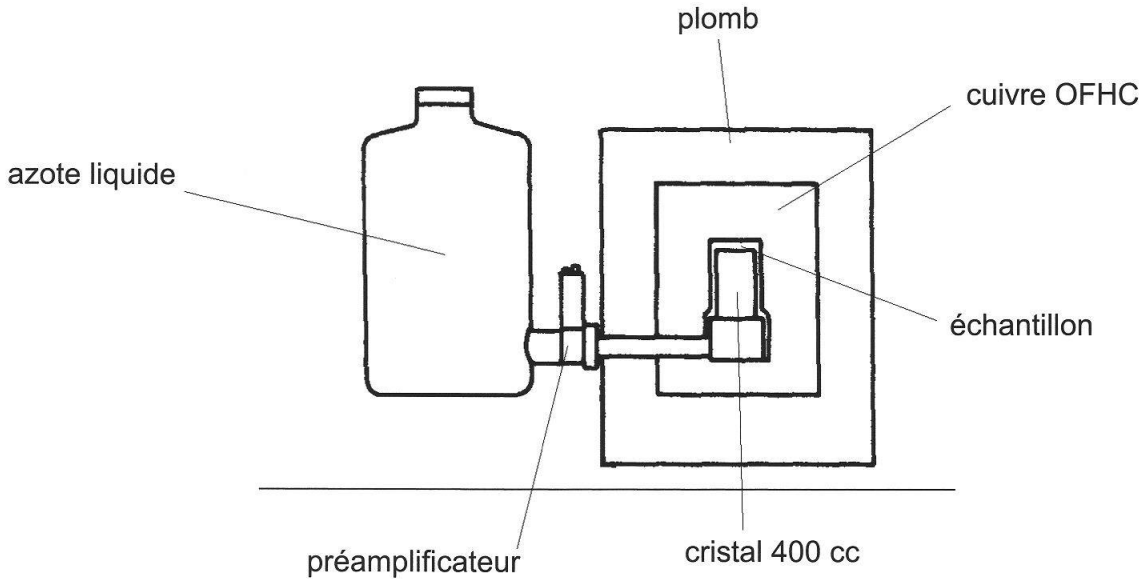

Figure 2: schéma du système complet avec, à gauche, le dewar d'azote liquide destiné à refroidir le cristal de germanium [tiré de (BUSTO *et al.*, 1992)].

Un exemple du bruit de fond est présenté à la figure 3. Il correspond à une acquisition sans échantillon de 672 heures. La gamme d'énergies accessibles court de 60 keV[(2)] à 2.65 MeV.

Les raies observées dans le spectre du bruit de fond proviennent principalement des traces de contamination en uranium, thorium et potassium des matériaux de construction du détecteur. Le pic de 511 keV est dû à l'annihilation entre les électrons et les positrons créés par le rayonnement cosmique. Le taux de comptage intégré entre 60 et 3000 keV est alors de 1 coup toutes les 300 secondes.

Avec un tel bruit de fond, la sensibilité de notre détecteur est environ de 10^{-10} g/g[(3)] (0.1 ppb) en U et Th et 10^{-21} g/g en ^{60}Co. Ces performances font du Laboratoire de la Vue-des-Alpes l'un des meilleurs au monde dans la spectrométrie γ de précision.

2. MESURES EFFECTUÉES AU LABORATOIRE DE LA VUE-DES-ALPES

Comme mentionné dans le chapitre précédent, nous avons effectué de nombreuses mesures pour la physique fondamentale, en particulier, récemment, sur différentes colles utilisées dans certaines expériences. La figure 4 montre la mesure d'une colle à deux composants, fabriquée par 3M, appelée "Scotch-Weld 2216" (BUSTO *et al.*, 2002). La "très grande" activité de cette colle, aisément observable dans son spectre γ, la rend inutilisable dans une expérience à très faible taux de comptage.

Parallèlement aux mesures effectuées pour la physique des particules, le Laboratoire est également utilisé pour la métrologie de précision dans le domaine de la géologie et de l'hydrogéologie. Ainsi, nous collaborons avec l'Institut Forel à Genève et l'Institut d'Hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel. Avec ce dernier, nous sommes en train d'étudier la possibilité d'utiliser l'isotope ^{85}Kr, produit dans le processus de fission nucléaire, en tant que traceur des eaux souterraines. La figure 5 montre un spectre de krypton naturel: l'isotope ^{85}Kr est directement observable par la présence de la ligne très intense à 514 keV.

Une autre application intéressante a été de mesurer la qualité de l'eau dans la Grotte de Môtiers. La figure 6 montre le spectre obtenu. Les principales lignes observées sont associées au ^{214}Bi, ^{214}Pb et ^{208}Th appartenant aux chaînes radioactives naturelles de l'U et du Th.

[2] 1 MeV = 10^3 keV = 10^6 eV; 1 eV = $1.602 \cdot 10^{-19}$ J

[3] g/g: unité qui désigne le nombre de grammes de l'isotope radioactif relativement à la masse en grammes du matériau mesuré

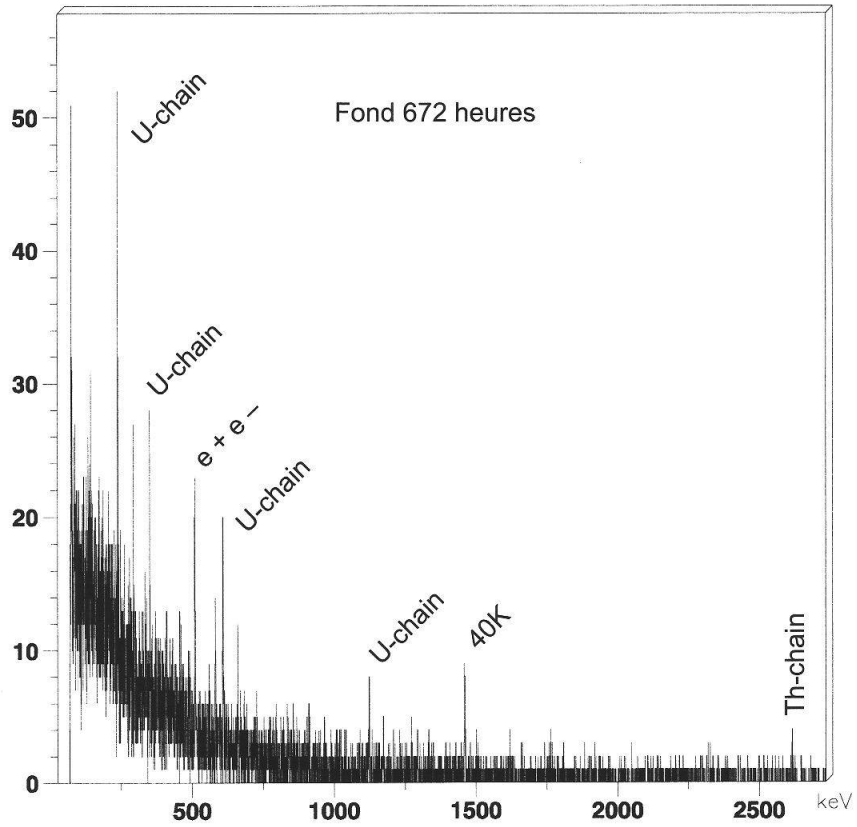

Figure 3: spectre du bruit de fond obtenu après 672 heures.

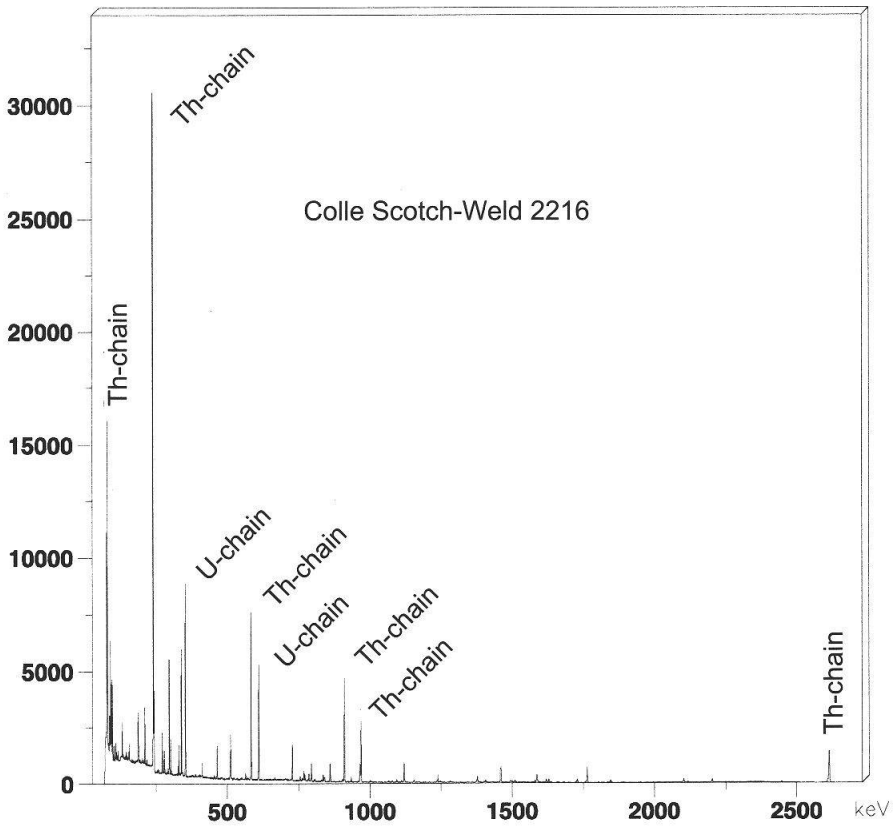

Figure 4: spectre de la "Scotch-Weld 2216", la colle la plus active que nous ayons mesurée.

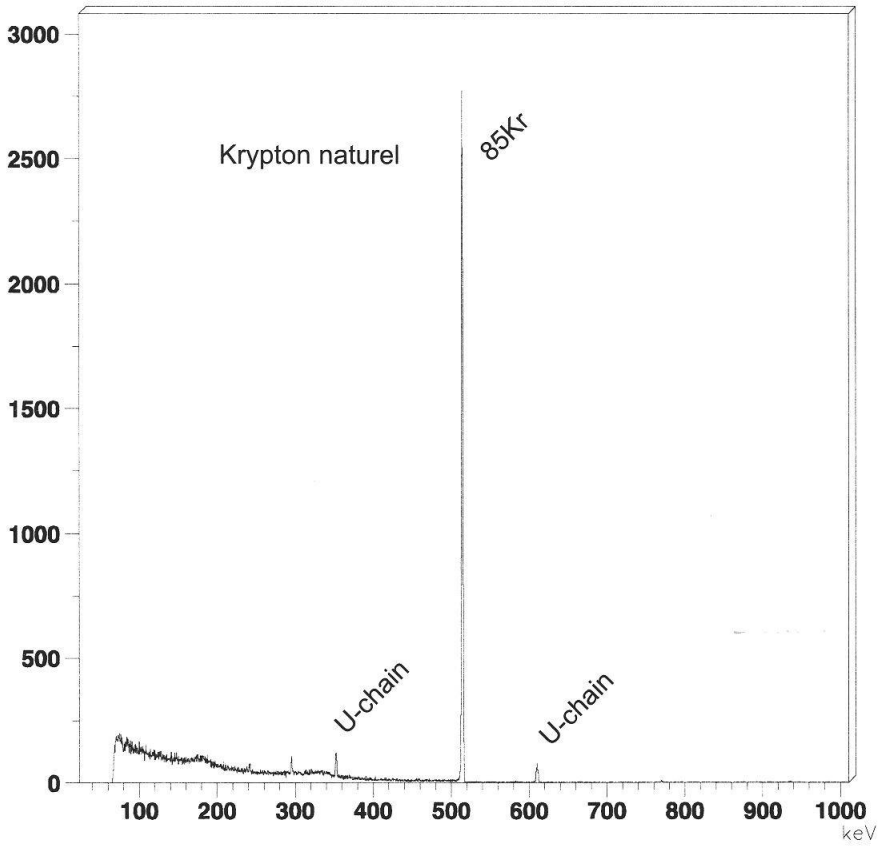

Figure 5: ^{85}Kr dans de l'eau permettant de connaître son origine. Seule l'eau de surface peut contenir un tel isotope.

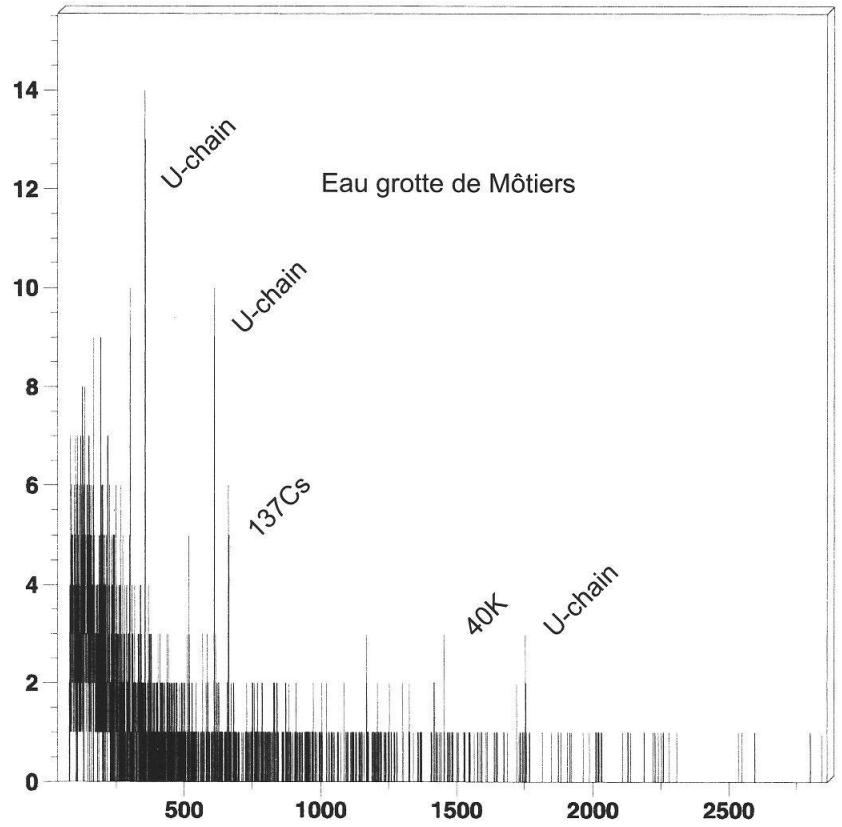

Figure 6: mesure de la qualité de l'eau recueillie dans la Grotte de Môtiers.

Nos expériences de faible radioactivité nous ont conduit à la mesure de l'une des eaux les plus pures du point de vue radiologique, produite par la société μEM à Marin (NE). La teneur en uranium de cette eau est inférieure à $9 \cdot 10^{-11}$ g/g (0.09 ppb) d'uranium.

Ainsi que nous l'avons mentionné précédemment, la radiométrologie de précision est utilisée pour d'autres desseins. Un cas particulièrement intéressant est celui de la datation du vin. En collaboration avec le Département d'œnologie de l'Université de la Rioja, en Espagne, nous avons réalisé des mesures sur des vins de différents millésimes. Le but était de mettre en évidence la présence de ^{137}Cs, produit lors des explosions nucléaires dans l'atmosphère, bannies depuis les années septante. A titre d'exemple, la figure 7 montre deux spectres correspondant à deux vins de Rioja de 1964 et de 1981 respectivement. La présence de ^{137}Cs, signalée par le pic à 661 keV, est visible dans l'échantillon de 1964 (maximum d'activité d'essais de bombes nucléaires dans l'atmosphère). Dans l'échantillon de 1981, ce pic est inexistant, comme on pourrait s'y attendre après l'arrêt des essais atmosphériques.

CONCLUSIONS

Le Laboratoire de la Vue-des-Alpes a été présenté. Des mesures de grande précision en spectrométrie γ peuvent y être effectuées, tant pour la recherche fondamentale que pour des applications diverses. Concernant le premier domaine, il s'agit essentiellement de mesurer des matériaux destinés à la construction de détecteurs pour la recherche des événements rares. Pour ce qui concerne les différentes applications, on peut citer l'étude de différentes eaux, en particulier la mesure des traceurs qui permet d'en connaître l'origine; la datation des vins et les mesures de radioactivité intrinsèque de divers matériaux, la liste n'étant de loin pas exhaustive.

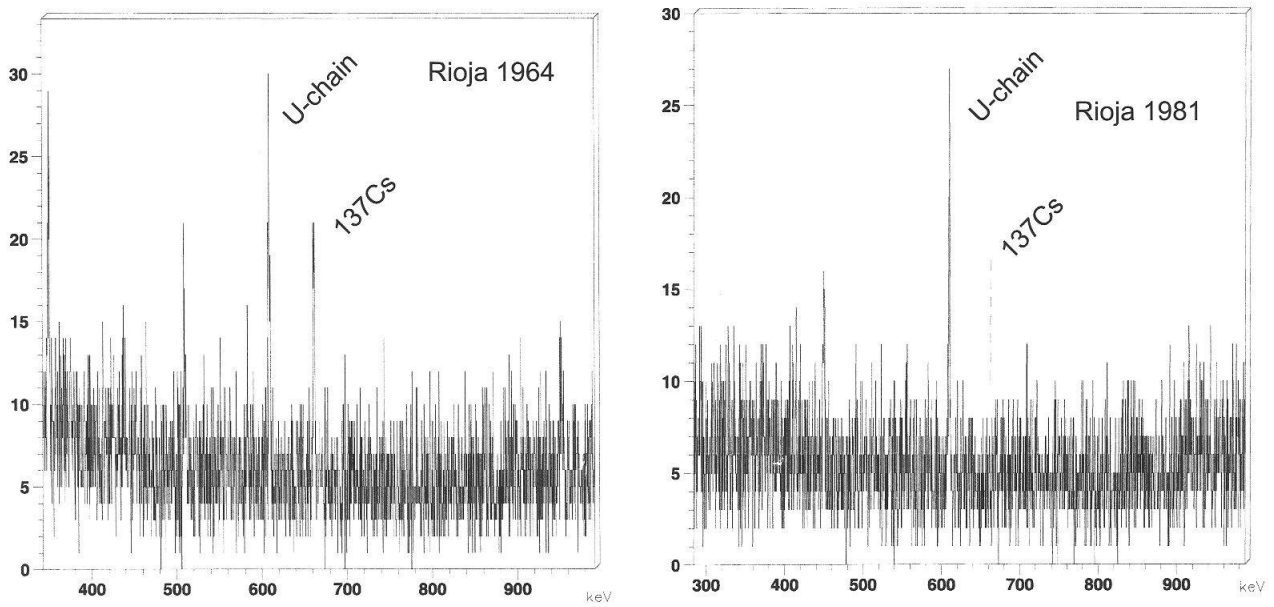

Figure 7: spectres obtenus des vins de Rioja 1964 et 1981: le spectre du ^{137}Cs est clairement visible pour celui de 1964 (à gauche), alors qu'il n'existe pas pour celui de 1981 (à droite).

BIBLIOGRAPHIE

AMSLER, C.; AVENIER, M.; BAGIEU, G.; BARNOUX, C.; BECKER, H.-W.; BRISSOT, R.; BROGGINI, C.; BUSTO, J.; CAVAIGNAC, J.-F.; FARINE, J.; FILIPPI, D.; GERVASIO, G.; GIARRITTA, P.; GRGIC, G.; GUERRE CHALEY, B.; JOERGENS, V.; KOANG, D.H.; LEBRUN, D.; LUESCHER, R.; MATTIOLI, F.; NEGRELLO, M.; OULD-SAADA, F.; PAIC, A.; PIOVAN, O.; PUGLIERIN, G.; SCHENKER, D.; STUTZ, A.; TADSEN, A.; TREICHEL, M.; VUILLEUMIER, J.-L. & VUILLEUMIER, J.-M. 1997. The MUNU experiment, general description. *Nucl. Inst. & Meth. A* 396 : 115.

BUSTO, J.; DASSIE, D.; HUBERT, F.; HUBERT, PH.; ISAAC, M.C.; IZAC, C.; JULLIAN, S.; LECCIA, F. & MENNRATH, P. 1992. Ultra low radioactivity measurements in the Fréjus underground laboratory. *Nuclear Physics B (Proc. Suppl.)* 28A : 425.

BUSTO J.; GONIN, Y.; HUBERT, F.; HUBERT, PH. & VUILLEUMIER J.-M. 2002. Radioactivity measurements of a large number of adhesives. *Nucl. Inst. & Meth. A* 492 : 35.

CHANG, C.Y.; LEE, S.C. & WONG, H.T. 1998. The starting up of a neutrino project in Taiwan. *Nuclear Physics B (Proc. Suppl.)* 66 : 419.

GULER *et al.* 2000. Experiment proposal. OPERA : an appearance experiment to search for $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ oscillations in the CNGS beam. *CERN/SPSC* 2000-028.

HEUSSER, G. 1995. Low-radioactivity background techniques. *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.* 45 : 543.

LAWRENCE, D.; RITCHIE, B.; BOEHM, F.; COOK, B.; HANSON, J.; HENRIKSON, H.; LOU, K.; MASCARENHAS, N.; MICHAEL, D.; NOVIKOV, V.M.; PIEPKE, A.; VOGEL, P.; YANG, S.; PITTALWALA, S.; WILFERD, R.; YOUNG, S.; GRATTA; G.; MILLER, L.; TRACY, D.; WANG, Y.F.; BUSENITZ, J. & VITAL, A. 1997. The Palo Verde Neutrino Oscillation Experiment. *Stanford-HEP*-97-01.

LUESCHER, R.; FARINE, J.; BOEHM, F.; BUSTO, J.; GABATHULER, K.; GERVASIO, G.; HENRIKSON, H.E.; JOERGENS, V.; LOU, K.; PAIC, A.; SCHENKER, D.; TADSEN, A.; TREICHEL, M.; VUILLEUMIER, J.-L.; VUILLEUMIER, J.-M. & WONG, H. 1998. Search for $\beta\beta$ decay in ^{136}Xe : new results from the Gotthard experiment. *Phys. Lett. B* 434 : 407.