

## PROJET PHARE

# GAZ RADIOACTIFS : UN MATÉRIAU POREUX POUR LES SUIVRE À LA TRACE

**La détection dans l'environnement de gaz radioactifs émetteurs bêta est coûteuse et peu précise. Une technologie novatrice développée par le LNE-LNHB et l'UCBL pallie ces difficultés et permettra un large déploiement de capteurs pour la surveillance des activités nucléaires.**

L'industrie électronucléaire rejette dans l'atmosphère différents gaz radioactifs tels le tritium, le krypton-85 ou le carbone-14. Leur surveillance nécessite des mesures à des niveaux d'activité extrêmement faibles. En outre, ces éléments sont des émetteurs bêta (électrons), difficiles à détecter. En effet, pour ce faire, les moyens mis en œuvre, fondés sur la scintillation de liquides ou les compteurs à gaz, sont coûteux, peu sensibles et incapables de faire la distinction entre différents radionucléides.

Pour y remédier, les chercheurs du LNE-LNHB, de l'Institut Lumière Matière et du laboratoire de chimie de l'École Normale Supérieure de Lyon et de l'Université Claude Bernard Lyon 1, ont développé une méthode innovante dans le cadre du projet SPARTE du programme européen Horizon 2020. Finalisé en décembre 2024, il a permis le développement d'une technologie de détection novatrice fondée sur un aérogel inorganique scintillant. Assortie de moyens d'étalonnage et de mesures primaires uniques au monde, elle constitue une rupture pour la quantification des gaz radioactifs.

Ces développements trouvent leur source dans un projet préliminaire exploratoire de la Métrologie Française en 2017. Les métrologues ont alors eu l'intuition qu'un matériau scintillant poreux, permettant de maximiser la surface de contact entre un gaz et le matériau actif, pouvait être une solution. « *Les résultats n'étaient pas extraordinaires mais nous avons apporté une preuve de concept qui nous a permis d'obtenir un financement pour un projet européen plus ambitieux* », raconte Benoît Sabot, chercheur au LNE-LNHB.

Dans le cadre du projet SPARTE, plusieurs matériaux ont été testés. Néanmoins, dès le début, forts de travaux réalisés au CEA de longue date sur les matériaux scintillants, les scientifiques fondent leurs plus grands espoirs sur un composé inorganique, à-même de résoudre le problème d'une adsorption irréversible des gaz radioactifs au sein de la matrice poreuse.

De leur côté, les chercheurs lyonnais maîtrisent la synthèse d'aérogels à partir de solution de nanoparticules et façonnent un matériau scintillant poreux constitué de seulement 15% de solide. Les gaz radioactifs s'y diffusent et l'énergie des électrons émis lors des désintégrations se mue alors en photons visibles.

Afin de relier ces photons à l'activité d'un gaz, les métrologues du LNE-LNHB ont réalisé des prouesses. Tout d'abord, ils ont conçu un instrument de mesure portable qui intègre le scintillateur poreux et des photomultiplicateurs. « *Réalisé par fabrication additive,*



## Trois questions à...

**BENOÎT SABOT, CHERCHEUR AU LNE-LNHB**

### Quel est le potentiel de votre nouvelle approche pour la métrologie des gaz radioactifs ?

**B.S. :** Nous avons travaillé sur le tritium et le krypton-85, mais notre technologie peut s'adapter à tous les gaz radioactifs émetteurs bêta : carbone-14, xénon-133 ou argon-37. Dans le cadre du projet RadonNET nous allons travailler sur le radon. Et, avec le projet SCINTIPLUS, nous allons poursuivre les études métrologiques des scintillateurs pour d'autres paramètres que leur rendement.

### Visez-vous la commercialisation de votre détecteur ?

**B.S. :** Nous avons déposé trois brevets sur notre technologie de détection et sommes actuellement en discussion afin d'effectuer un transfert partiel vers l'industrie. Actuellement, nous nous assurons à la fois de la reproductibilité de fabrication et de la consolidation du matériau scintillant, et aussi du développement de prototypes d'appareil de mesure.

### La méthode primaire développée dans le cadre de SPARTE laisse-elle envisager des développements au-delà de la métrologie ?

**B.S. :** En effet, cette méthode permet d'accéder à des propriétés fondamentales des matériaux scintillants. Avec elle, il est possible d'étudier l'ensemble des matériaux qui produisent de la lumière et leurs paramètres de détection. Récemment, avec nos collègues lyonnais, nous avons étudié le potentiel des nanopérovskites comme scintillateurs liquides, ces matériaux étant en plein développement notamment pour les cellules solaires photovoltaïques.

## PROJET PHARE

## « NOS RÉSULTATS MONTRENT QUE NOUS POUVONS POTENTIELLEMENT DÉTECTER TOUT TYPE DE GAZ RADIOACTIFS »

**BENOÎT SABOT,**  
CHERCHEUR AU LNE-LNHB

*« cet instrument a nécessité un long travail d'optimisation afin d'être à la fois parfaitement étanche et performant en détection », précise le physicien.*

En parallèle, l'équipe a développé un banc d'étalonnage pour étalonner leur détecteur avec des gaz radioactifs de concentration connue, étalons donc. Mieux, ils ont imaginé et mis en œuvre une méthode absolue de mesure du rendement du scintillateur couplé au système de détection. Combinant spectroscopie Compton et méthode du Rapport des Coïncidences Triples à Doubles (RCTD), elle permet non seulement d'établir un lien entre la réponse du détecteur et l'activité du gaz radioactif, mais également de caractériser finement les interactions et les transferts d'énergie entre les électrons issus des désintégrations et le matériau scintillant. « Grâce à cette nouvelle méthode primaire, on ne fait plus seulement de la métrologie de l'activité, mais aussi celle du scintillateur », résume Benoît Sabot. Ces développements ont conduit le scientifique et ses collègues à réaliser la première détection en ligne de tritium et de krypton à un niveau d'activité de  $1 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$  dans l'air en 100 s, soit un niveau plus faible que celui accessible à tout instrument du commerce.

En outre, ils sont parvenus également pour la première fois à discriminer les deux radioéléments et les quantifier en mélange. « Le tritium présente un spectre d'énergie de désintégration de basse



**BANC D'ÉTALONNAGE DE DÉTECTEURS DE GAZ RADIOACTIFS AU CEA/LNE-LNHB**

*énergie, à l'inverse du krypton dont les désintégrations sont dans la partie haute du spectre. Ainsi nos résultats montrent que nous pouvons potentiellement détecter tout type de gaz radioactifs », complète le spécialiste.*

S'il est trop tôt pour disposer d'un bilan d'incertitude complet, les mesures réalisées montrent que le détecteur portable développé au LNE-LNHB permet de déterminer des valeurs d'activité avec une incertitude de quelques pourcents. Quant à la méthode primaire, elle permet de caractériser des rendements de scintillation à la précision de quelques pour mille entre 1 keV et 9 keV. La nouvelle approche ouvre la possibilité d'un large déploiement de capteurs pour la surveillance des activités nucléaires civiles, et aussi des applications nucléaires médicales et militaires.



**PROTOTYPE DE SCINTILLATEUR EXPOSÉ À UNE LUMIÈRE UV**

### CHIFFRES CLÉS

Le projet SPARTE est à l'origine de 3 brevets, 4 publications dont 2 dans *Nature Photonics*, 1 publication dans *Advanced Functional Material* et 1 publication dans *Nature Scientific Reports*.

La technologie développée a permis pour la première fois des mesures de l'activité de gaz radioactifs (tritium et krypton-85) de 1 kBq par mètre cube d'air en un temps de 100 s.