



**Livret des  
démonstrateurs  
présentés au WNE**



# Démonstrateur Tomis

## De quoi s'agit-il ?

Tomographie à haute énergie pour la caractérisation en 3D de colis de déchets nucléaires, version mobile et autonome, en conteneur de camion.

Démonstrateur élaboré dans le cadre du projet d'investissement d'avenir TOMIS (TOMographie In Situ) en réponse aux besoins des exploitants nucléaires et répondant à un enjeu de filière.

## A quoi sert ce dispositif ?

TOMIS offre l'opportunité de caractériser en 3D le contenu de colis de déchets nucléaires avec une résolution millimétrique. Pour être accepté dans un centre d'entreposage ou de stockage, ces contenus doivent en effet être maîtrisés. Pour des milliers de déchets historiques bétonnés, il s'agit de conforter / compléter les informations en regard des exigences actuelles des installations de stockage.

## La techno

A l'image des scanners médicaux, la tomographie est une technique permettant de visualiser en 3D l'intérieur d'un objet. Utiliser un accélérateur linéaire d'électrons pour produire le rayonnement X interrogateur permet d'obtenir un faisceau plus intense et plus pénétrant qu'avec une tube X. Ce faisceau est ainsi en capacité de traverser des

épaisseurs importantes (> à 1m de béton) et de caractériser de manière non destructive tous types de pièces et matériaux (légers ou lourds) contenu dans les colis de déchets.

## Où se situe l'innovation ?

Au sein de l'INB Chicade (Cadarache), le CEA a développé un savoir-faire unique dans le domaine de la tomographie haute énergie. Il est régulièrement sollicité par des industriels pour l'imagerie d'objets volumineux, y compris pour des applications non nucléaires. Le projet TOMIS vise à adapter cette technologie (détecteur linéaire, blindages optimisés, garantie des alignements, etc.) pour en proposer une version mobile et autonome en conteneur de camion. L'acheminement du conteneur TOMIS sur les différents sites de production / stockage de déchets permet de bénéficier de ses performances tout en s'affranchissant de phase de transport lourde, voire non réaliste.

## Etat d'avancement du projet

Après 6 ans de développement, la mise en service de TOMIS aura lieu en décembre 2023. Une installation (INB56 du CEA Cadarache) a d'ores et déjà prévu d'utiliser TOMIS pour des campagnes de mesures industrielles sur des colis historiques de déchets nucléaires. TOMIS, une nouvelle solution technologique clé en main, pourrait intéresser des industriels du nucléaire français et internationaux.



# Démonstrateur DEM&MELT

## De quoi s'agit-il ?

Coupe d'un container de déchets nucléaires (ici, des simulants inactifs) vitrifiés par le procédé DEM&MELT (échelle 1:1).

## A quoi sert ce dispositif ?

Vitrification de déchets de moyenne ou haute activités de différentes natures (liquides, solides, boues). C'est un procédé compact, robuste et versatile permettant de traiter une grande variété de typologie de déchets radioactifs et particulièrement adapté au démantèlement. C'est une solution potentielle pour le conditionnement des déchets les plus actifs de Fukushima.

## La techno

Procédé de conditionnement de déchets radioactifs par vitrification « In-Can » (vitrification directe du déchet dans le container de stockage).

## Où se situe l'innovation ?

Le container de stockage est utilisé comme creuset de fusion. Le procédé permet la production de verres homogènes ou matrices composites avec de très forts taux d'incorporations (jusqu'à 68 % en masse pour un verre homogène, jusqu'à 80 % pour l'encapsulation).

## Etat d'avancement du projet

Pilote industriel échelle 1 développé en partenariat avec Orano, ECMT et l'Andra (TRL 7).



# Démonstrateur

## Sac à dos de décontamination Puma

### De quoi s'agit-il ?

Sac à dos de pulvérisation de mousse pour la décontamination biologique et chimique d'infrastructures.

### Où se situe l'innovation ?

Conçu, développé et breveté par le CEA (3 brevets). Innovation en rupture. A ce jour, TRL 7.

### A quoi sert ce dispositif ?

Ce prototype a été développé pour la décontamination d'agents chimiques et biologiques dans le cadre du programme pour la lutte contre le terrorisme NRBC-E. Il s'agit cependant d'une technologie duale qui pourra être utilisée pour la décontamination nucléaire, la désinfection/dépollution des hôpitaux et des élevages par exemple, l'extinction de feux, etc., avec l'utilisation de mousses dédiées à ces applications.

### Etat d'avancement du projet

Puma est un prototype. Son transfert technologique vers un industriel pour sa future industrialisation et sa commercialisation est en cours.

### La techno

Pulvérisateur de mousse autonome type sac à dos (aucun raccordement électrique, de liquide ou de gaz) qui permet de générer de la mousse et de la disperser sur des petites surfaces de façon autonome. Puma permet de se déplacer facilement vers la zone à décontaminer, d'accéder aux espaces difficiles d'accès et de pulvériser la mousse sur une surface d'environ 12 m<sup>2</sup> en 3 minutes et est réutilisable en fonction du besoin. Un appareil respiratoire intégré – en option – permet également de protéger les voies respiratoires de l'intervenant.



# Démonstrateur



This project has received funding from the Euratom research and training programme 2019-2020 under grant agreement No 900012.

## Robot d'inspection et de maintenance (projet européen ACES)

### De quoi s'agit-il ?

Manipulateur mobile robotisé équipé d'un ou plusieurs capteurs, ici pour évaluer la corrosion. Ce dernier servira à la prise de mesures dans les « canalisations en béton à âme tôle » (CBAT) présentes en sortie des centrales nucléaires.

### A quoi sert ce dispositif ?

Ce dispositif automatisé sert à réaliser des mesures préventives de la corrosion dans les CBAT. Cette fonctionnalité est utile à des organismes comme EDF ou Engie pour anticiper le remplacement de tronçons de CBAT corrodés.

### La techno

C'est une petite base mobile équipée d'un bras. La base est composée de 4 roues conventionnelles non directionnelles. Elle assure une navigation autonome dans une canalisation cylindrique. Le bras à 3 degrés de libertés permet le déplacement du capteur de corrosion selon une rotation complète (360°) sur une section de paroi interne de la canalisation. Dans l'exemple présenté, la canalisation est cylindrique, mais le robot mobile a la capacité de se déplacer à l'intérieur d'autres géométries (coude, tronc conique, section en T, par exemples).

### Où se situe l'innovation ?

La robotisation de l'inspection permet de soulager les opérateurs d'une tâche jusqu'ici effectuée manuellement. Elle favorise une détection systématique, davantage anticipée et mieux ciblée.

### Etat d'avancement du projet

Le modèle présenté ici est un prototype fonctionnel, développé dans le cadre du projet européen ACES, qui regroupe les principaux acteurs du domaine. Nous envisageons d'améliorer ce 1er prototype, jusqu'à une industrialisation.

Par ailleurs, deux pistes de développements ultérieurs pourraient être instruites :

- étendre cette approche (bras et porteur robotisés) pour d'autres mesures (CND par ex.).
- automatiser tous types de véhicules, au service de différents domaines (nucléaire, logistique, transport, agricole, etc.).

# Démonstrateur SLAM NuCoMo

## De quoi s'agit-il ?

Capteur à installer sur n'importe quel instrument de mesure portable (dont mesure de radioactivité).

## A quoi sert ce dispositif ?

- Dans toute installation, la localisation précise de chaque point de mesure (par exemple une mesure de radioactivité) est essentielle. Or, elle peut être difficile à réaliser dans des environnements dans lesquels le GPS est inexploitable.
- Le dispositif ici développé permet de localiser précisément et en temps réel l'appareil de mesure (et donc le point de mesure) ; il propose également la reconstruction en 3D et en temps réel de la zone dans laquelle est réalisée la mesure (par exemple une zone de démantèlement).
- Aucune intervention de l'opérateur n'est nécessaire en amont (préparation) ou en aval (post-traitement) pour pouvoir reconstruire la scène.

## La techno

Dispositif fondé sur deux caméras stéréos et une centrale inertielle (IMU), assorties d'un algorithme efficace, à même de reconstruire une scène de type local en démantèlement.

## Où se situe l'innovation ?

- Aucun besoin d'intervention de l'opérateur, malgré les complexités rencontrées dans les environnements des locaux en démantèlement (surfaces réfléchissantes, transparentes).
- Les algorithmes étudiés sont ouverts et le matériel est sur étagère (COTS). Ce type de développement est donc déclinable dans de nombreux domaines.
- Miniaturisation.

## Etat d'avancement du projet

- Il s'agit du premier prototype d'une technologie a priori très attendue par les intervenants du nucléaire, notamment ceux de la radioprotection et/ou du démantèlement.
- Discussions en cours avec plusieurs partenaires industriels.



# Démonstrateur

## Tresseuse et gaines innovantes

### De quoi s'agit-il ?

#### La tresseuse

Sert à fabriquer des tubes ou tiges en matériau composite à renfort fibre céramique (carbure de silicium - SiC). Cet outil est notamment utilisé pour tresser le squelette fibreux de gaines de combustible dans des matériaux innovants afin d'améliorer, par exemple, leur robustesse en conditions accidentelles dans le cas des réacteurs à eau légère.

#### Les gaines innovantes

Segments de gaines de combustible pour les réacteurs nucléaires, innovantes par leur architecture et leur composition. Elles sont obtenues par tressage de fibres céramiques (carbure de silicium - SiC) puis infiltrées d'une matrice également en carbure de silicium pour former le composite SiCf/SiC.

### A quoi sert ce dispositif ?

Les recherches menées sur les gaines tressées en matériau composite visent à renforcer la robustesse des gaines de combustibles en conditions accidentelles (accident tolérant fuel - ATF) et améliorer ainsi la sûreté des réacteurs nucléaires par des marges additionnelles (température et délai d'intervention). Fortes températures, irradiations, contraintes mécaniques, environnements corrosifs : les composants des centrales nucléaires sont soumis à des conditions extrêmes. Pour garantir la sûreté, la durée de fonctionnement et les performances des

réacteurs nucléaires, il est important de mener des recherches dans le domaine des matériaux innovants.

### La techno

Pour fabriquer ces gaines innovantes, la première étape consiste en la mise en forme du renfort fibreux par tressage sous sa forme tubulaire. Il s'agit ensuite de consolider la préforme fibreuse par l'infiltration en voie gazeuse d'une matrice à environ 1000°C. Pour garantir l'étanchéité de l'objet en toute circonstance, une âme métallique peut être associée à la gaine (le concept CEA de gaine sandwich).

### Où se situe l'innovation ?

Cette technologie est déjà utilisée dans diverses industries (spatiale, l'aéronautique et la défense), mais elle est totalement innovante pour une application nucléaire. Développé à l'origine pour les réacteurs de génération IV, le CEA mène depuis plusieurs années sur ces matériaux en rupture une R&D pour les réacteurs du parc actuel.

### Etat d'avancement du projet

On estime à un niveau TRL 3 à 4 le degré de maturité de ces concepts de crayons de combustibles, développés avec le support de l'institut tripartite avec Framatome & EDF. Les résultats d'irradiation en réacteurs expérimentaux permettront de progresser sur la connaissance du comportement de tels objets dont le déploiement n'est pas encore envisagé à court terme.

# Démonstrateur

## Gaines revêtue de chrome

### De quoi s'agit-il ?

De segments de gaines de combustible pour les réacteurs nucléaires en alliage de zirconium, revêtue d'une fine couche de chrome.

### A quoi sert ce dispositif ?

Les gaines de combustible utilisées dans le parc nucléaire actuel sont faites en alliage de zirconium, qui a entre autres la propriété d'être résistant à la corrosion en fonctionnement normal dans le réacteur. Ces gaines ont été renforcées par un revêtement de chrome, qui vise à améliorer leur résistance à l'oxydation en conditions hypothétiques extrêmes accidentelles jusqu'à haute température. Elles permettent ainsi et entre autres de limiter la production d'hydrogène gazeux qui peut entraîner un risque d'explosion, notamment lors de situation accidentelles (avec une perte de réfrigérant dans le circuit primaire), et de limiter ainsi les dégâts occasionnés.

### La techno

Ces gaines en alliage de zirconium revêtue de chrome permettent de diviser par 10 à 20 la vitesse d'oxydation en condition accidentelle (et ceci jusqu'à 1300°C !).

### Où se situe l'innovation ?

Un procédé de « Dépôt physique en phase vapeur » a été développé et optimisé pour obtenir des revêtements de chrome ayant les propriétés protectrices recherchées. Deux brevets CEA ont été déposés sur le concept en 2012 et 2014. Les travaux menés au CEA sur le sujet depuis plus de 10 ans, en collaboration avec ses partenaires industriels (Framatome et EDF), constituent dorénavant une référence internationale.

### Etat d'avancement du projet

Une collaboration est en cours avec Framatome et EDF en vue d'un déploiement industriel à moyen terme. Des premiers crayons combustible avec ce type de gaine sont notamment en cours d'irradiation dans un réacteur d'EDF et, aux US, Framatome a déjà livré un tout premier premier assemblage combustible entier à un de leur client, avec ce type de design « innovant ». L'étape envisagée à moyen terme par Framatome est donc la livraison de « recharge de combustible » complète.



# Démonstrateur

## Pastilles de combustible en fabrication additive

### De quoi s'agit-il ?

- Pastilles céramiques simulant le combustible nucléaire (l'oxyde d'uranium, UO<sub>2</sub>) réalisées en alumine (oxyde d'aluminium) et élaborées par un procédé de fabrication additive. Elles constituent des prototypes pour l'élaboration de pastilles combustibles innovantes plus complexes.
- Les pastilles combustible nucléaire sont habituellement réalisées par pressage de poudre d'oxyde d'uranium.

### A quoi sert ce dispositif ?

- Par cette technologie d'impression, on peut changer à volonté, les formes et les matériaux et réaliser, par exemple, des réseaux métalliques dans la céramique UO<sub>2</sub>. On obtient alors un matériau composite que l'on appelle Cermet pour céramique-métal.
- L'intérêt est d'améliorer les propriétés thermiques, mécaniques, chimiques ou neutroniques de futurs combustibles et de tester à terme de futurs concepts.

### La techno

La fabrication additive permet de créer des objets tridimensionnels à partir d'un modèle numérique. Les pastilles sont réalisées couche par couche à partir de l'extrusion d'une pâte. Une fois imprimées, les pièces sont traitées thermiquement pour être consolidées et obtenir un matériau dense.

### Où se situe l'innovation ?

Les technologies de fabrication additive n'ont pour l'instant encore jamais été mises au point pour la réalisation de prototypes combustibles. C'est le chaînon manquant d'une conception entièrement numérique, du dessin à la modélisation des propriétés.

### Etat d'avancement du projet

Ce projet est développé en collaboration avec EDF et Framatome. Il a nécessité la construction et la mise au point d'une machine d'impression prototype encore en cours d'optimisation actuellement. La transposition de cette technologie au matériau UO<sub>2</sub> est prévue dans les prochaines années pour la réalisation de prototypes combustible Cermet (UO<sub>2</sub>-Métal).

# Démonstrateur

## Joint d'étanchéité instrumenté par une fibre optique

### De quoi s'agit-il ?

Joint d'étanchéité intégrant un capteur à fibre optique dans sa partie élastique. Ce capteur permettra de mesurer en temps réel les déformations et les variations de contrainte à chaque point de la section du joint, avec une résolution submillimétrique. Ces variations sont directement liées à la qualité et à l'étanchéité du joint.

### A quoi sert ce dispositif ?

Un joint instrumenté vise à réaliser un SHM (Structural Health Monitoring), c'est-à-dire une surveillance en temps réel de l'état du système. Il permettra une meilleure anticipation des dysfonctionnements et des accidents liés à l'étanchéité, garantissant ainsi une meilleure installation et un meilleur serrage des joints. Il réduira également les vérifications et les changements périodiques et systématiques des joints, particulièrement dans des environnements sensibles tels que les centrales nucléaires.

### Où se situe l'innovation ?

Aucun produit similaire n'est actuellement disponible sur le marché. Ces joints représentent une innovation majeure dans le domaine de l'étanchéité des installations sensibles, car ils offrent la capacité d'améliorer considérablement la fiabilité et la sécurité des systèmes d'étanchéité. De plus, ils contribueront à réduire considérablement les coûts d'exploitation en diminuant la fréquence des maintenances périodiques.

### Etat d'avancement du projet

Les premiers prototypes ont déjà été développés et seront soumis à des tests en collaboration avec notre partenaire, le groupe Technetics France, à la fin du mois d'août 2023.





# Démonstrateur

## Objets fabriqués par la technologie d'assemblage « Compression isostatique à chaud » (CIC)

### De quoi s'agit-il ?

Diverses pièces (composants de tuyauteries), composées de matériaux hétérogènes et parfois incompatibles, réalisées par « Compression isostatique à chaud » (CIC), et disposant de très bonnes propriétés thermomécaniques.

### La techno

- Fabrication par Compression isostatique à chaud (CIC).
- Assemblage de matériaux métalliques.

### Où se situe l'innovation ?

Capacité du CEA à réaliser des objets par Compression isostatique à chaud (CIC) depuis la conception jusqu'aux caractérisations finales.

### Etat d'avancement du projet

Pièces de démonstration.



# Démonstrateur

## Rouet de pompe pour le nucléaire(CIC)

### De quoi s'agit-il ?

- Rouet de pompe pour le nucléaire (pièce inhérente au fonctionnement de toute pompe).
- Démonstration de la capacité de fabrication d'une pièce par Compression isostatique à chaud (CIC).

### La techno

Fabrication par Compression isostatique à chaud (CIC).

### Où se situe l'innovation ?

Capacité du CEA à réaliser des objets à partir de poudres (ici titane) par Compression isostatique à chaud (CIC) depuis la conception jusqu'aux caractérisations finales. Procédé appliqué ici pour des composants utilisés par l'industrie du nucléaire.

### Etat d'avancement du projet

- Prototype abouti.
- Ensemble de la chaîne réalisée au CEA : simulation thermomécanique, conception et fabrication de l'objet, caractérisations mécaniques.
- Transfert possible à des partenaires industriels.
- Discussions en cours avec plusieurs partenaires industriels.

# Démonstrateur

## Échangeur titane pour les générateurs de vapeur

### De quoi s'agit-il ?

- Echangeur thermique (composant essentiel pour les réacteurs nucléaires) compact en titane, développé pour le maritime (sous-marins).
- Démonstration de la capacité de fabrication d'une pièce par Compression isostatique à chaud (CIC).

### La techno

Fabrication par Compression isostatique à chaud (CIC).

### Où se situe l'innovation ?

- Compacité.
- Fabrication par Compression isostatique à chaud (CIC) depuis la conception jusqu'aux caractérisations finales. Savoir-faire unique du CEA pour réaliser ce type d'objets sans déformation de l'assemblage.
- Excellente tenue thermomécanique.

### Etat d'avancement du projet

Pièce de démonstration.

# Démonstrateur

## Pièce avec revêtement interne anticorrosion

### De quoi s'agit-il ?

- Manchon en acier revêtu d'un alliage 625 (inconel) pour limiter, voire supprimer la corrosion, pour le domaine de l'énergie. Excellente tenue thermomécanique en opération.
- Démonstration de la capacité de fabrication d'une pièce par Compression isostatique à chaud (CIC).

### La techno

- Fabrication par Compression isostatique à chaud (CIC).
- Ajout d'un revêtement anti-corrosion : développement d'un procédé spécifique (secret) permettant d'assembler des matériaux non-compatibles.

### Où se situe l'innovation ?

- Capacité du CEA à réaliser des objets revêtus par CIC depuis la conception jusqu'aux caractérisations finales.
- Réalisation d'une protection par dépôt métallique, avec une forte adhérence.

### Etat d'avancement du projet

Pièce de démonstration.

# Démonstrateur MRV5 T-Vision

## De quoi s'agit-il ?

Tenue ventilée immersive, couplée aux technologies de simulation interactive (simulateur XDE, collisions, interférences, etc.) et de capture de mouvement du CEA LIST. Ce type de tenue est destiné à toutes les opérations mécaniques en environnement nécessitant une protection du personnel contre les particules radioactives (Méthode Alara visant à réduire l'exposition des travailleurs).

## A quoi sert ce dispositif ?

- Reproduire fidèlement en environnement virtuel le comportement des opérateurs en situation exposée aux risques de contamination.
- Dans le cadre de ce projet, des opérations d'assemblage/désassemblage de composants de type brides ou encore de découpe de tuyauteries ont été testées. La manipulation d'outillages ou l'intégration de cobots industriels peut aussi être envisagée.
- L'ensemble du système (tenue augmentée et moyens de simulation en réalité virtuelle et augmentée) permet aux équipes IRFM d'étudier, très tôt et en virtuel, les différents scénarios d'intervention : ça a la double vocation d'aider aux études de conception, et à la formation des intervenants, par exemple pour des études de conception, mais également à des fins de formation du personnel, par exemple pour entraîner les opérateurs à réaliser des tâches dans un environnement hostile nécessitant une protection du personnel en tenue étanche ventilée.

## La techno

Tenue étanche ventilée Matisec de type MRV5 modifiée afin de permettre une utilisation en réalité virtuelle (seul le corps est ventilé, pas les voies respiratoires ni le visage). La tenue est augmentée de capteurs à l'intérieur et à l'extérieur (centrales inertielle, capteurs optiques, capteurs de posture, gants instrumentés, caméras de profondeur scannant l'enveloppe externe de la tenue). La fusion de l'ensemble des capteurs et la simulation physique interactive (dont l'avatar biomécanique de l'intervenant) sont réalisées par la plateforme XDE (CEA LIST), et cela permet, lorsque l'opérateur «joue» un scénario, d'analyser les postures et de vérifier les collisions avec l'environnement. L'opérateur peut également manipuler des objets réels connectés dans le cadre de simulations en réalité mixte.

## Où se situe l'innovation ?

Porter une tenue réelle rapproche l'opérateur de ses conditions réelles d'intervention donc cela va renforcer la validité des études de scénarios ; par ailleurs l'aspect innovant réside dans l'ensemble de la technologie, et notamment l'*alliance de la tenue avec les capteurs internes/externes*. En effet, 1) une tenue réelle, 2) la fusion de différentes mesures (capteurs) internes et externes, et 3) la simulation multi-physique réaliste interactive en réalité virtuelle/étendue permettent conjointement une étude beaucoup plus fine/complète des interventions humaines en milieu hostile.

## Etat d'avancement du projet

Prototype codéveloppé avec la société Matisec et déjà utilisé au CEA notamment par les équipes RV à l'IRFM, pour l'étude avancée des scénarios d'intervention. Commercialisation en principe prévue au deuxième semestre 2023. Indépendamment, la suite logicielle basée sur le moteur de simulation XDE du LIST, est commercialisée par la société LS-Group.

# Démonstrateur

## **GNTracker : Système industriel de mesure Gamma, neutron thermique et neutron rapide**

### **De quoi s'agit-il ?**

Système de mesure portable (< 3kg) développé par le CEA et intégrant plusieurs briques d'expertises technologiques. Cette sonde, en cours de transfert industriel comprend :

- La tête de détection : un scintillateur plastique triple discrimination (neutron rapide, neutron thermique et gamma) couplé à un PMT.
- Une électronique et des algorithmes de traitement de données permettant la discrimination des signaux et l'obtention de débits de dose neutron.
- L'intégration de l'ensemble des briques technologiques dans le système final.

### **A quoi sert ce dispositif ?**

Ce dispositif permet d'obtenir un débit de dose neutron, une information sur les neutrons rapides et thermiques et une information sur l'ambiance gamma. Du fait de sa faible masse, il représente un avantage non négligeable pour les mesures sur le terrain.

### **La techno**

La technologie est basée sur le développement d'un nouveau matériau plastique scintillant et l'optimisation de ses propriétés photophysiques et chimiques pour permettre la triple discrimination entre neutron rapide, thermique et gamma.

### **Où se situe l'innovation ?**

Sur le matériau et l'algorithme de traitement de données permettant la mesure de débit d'équivalent de dose ambiant neutron.

### **Etat d'avancement du projet**

En cours de transfert industriel vers Nuvia.

# Démonstrateur

## Nano RCTD

### De quoi s'agit-il ?

Petit appareil transportable de prélèvement de mesure d'activité volumique de radionucléides en solution. L'ensemble est pilotable à distance et automatisé, pour une mesure complète 5 minutes max.

### A quoi sert ce dispositif ?

- Permet d'assurer la traçabilité d'une solution radioactive in-situ et operando. Est tout particulièrement dédié aux radiopharmaceutiques de courte période pour lequel il n'existe pas de solution de mesure (ils disparaissent avant d'arriver en laboratoire...).
- Ce type de mesure est classiquement réalisé en laboratoire. Ici, le dispositif permet d'assurer la traçabilité métrologique de radiopharmaceutiques sur leur site de production, avec un double intérêt : répondre à la réglementation et optimiser les procédures de production ou de marquage en ligne.
- Pour info, Radiopharmaceutique : Molécule contenant un isotope radioactif à vie courte. Injectée au patient, elle permet d'établir des diagnostics ou de soigner par radiothérapie.

### La techno

- Dispositif composé d'un micro-capillaire en quartz permettant de prélever 1  $\mu$ L de solution radioactive dans une fiole (par exemple un flacon pénicilline).
- Volume de cette microgoutte mesuré à l'aide d'une caméra grossissante x70 et d'un traitement logiciel adapté.
- Radioactivité de l'échantillon mesurée à l'aide d'un appareil complexe de référence (ne nécessitant pas d'étalonnage) basé sur le principe de la scintillation.
- L'ensemble est pilotable à distance et automatisé, pour une mesure complète 5 minutes max.

### Où se situe l'innovation ?

D'un point de vue technique, l'ensemble est une première et n'existe pas ailleurs.

### Etat d'avancement du projet

- Démonstrateur, à fort potentiel.
- Preuve expérimentale réalisée à l'hôpital d'Orsay sur des radiopharmaceutiques produits au CEA/SHFJ (Service hospitalier Frédéric Joliot).
- Recherche de partenaires industriels en vue d'une industrialisation.

# Démonstrateur

## Simulateur de contaminamètre

### De quoi s'agit-il ?

Le simulateur de contaminamètre est un dispositif numérique pouvant remplacer un contaminamètre réel pour des usages pédagogiques. Il permet l'amélioration des apprentissages pour la gestion opérationnelle d'incident de contamination lors d'intervention en zone contaminante.

### A quoi sert ce dispositif ?

Dans le cadre de ses activités, l'INSTN délivre des formations visant au développement des compétences de savoir-faire et de savoir-être lors d'expositions aux rayonnements ionisants par irradiation mais également par contamination.

Pour faciliter l'acquisition des compétences nécessaires aux actions de terrain de ses apprenants, l'INSTN s'appuie depuis plusieurs années sur des outils de simulation réalistes permettant leur mise en situation, sans risque réel d'irradiation et de contamination. Déjà doté du système DosiCase® développé en 2016 par la société Ob'dO pour simuler une irradiation, l'INSTN a souhaité compléter ses équipements de simulation numérique DosiCase® par un dispositif permettant de reproduire une situation de contamination.

Ce dispositif simulant un contaminamètre permettra au formateur de reproduire de manière précise la découverte fortuite d'une contamination par l'apprenant sur sa tenue afin de le mettre en condition quasi-réelle et d'observer sa gestion du stress ou des gestes mis en place.

### La techno

Le dispositif de simulation de contaminamètre est composé de :

- Un boîtier principal avec une face avant incluant un écran, des boutons et deux connecteurs, le tout intégré dans un facteur de forme d'un MIP10, contaminamètre de marque Canberra largement utilisé au CEA.
- Une sonde alpha simulée.
- Une sonde beta simulée.
- Une application sur tablette iPad dans une version spécialement développée comme une option du logiciel NucleoSim®. L'application sert à paramétrer, contrôler et afficher les résultats de la simulation.
- Des tags programmables permettant la simulation de la contamination alpha et/ou beta.

Selon le type de sonde branchée, le contaminamètre affiche la valeur de la contamination alpha ou beta en fonction de la distance de mesure et du temps de comptage (pour le mode échelle de comptage).

### Etat d'avancement du projet

Le dispositif présenté est un démonstrateur opérationnel de simulation numérique de contamination, co-développé par l'INSTN et la société Ob'dO (bureau d'études spécialisé dans le développement de systèmes d'objets connectés, ingénierie électronique, logiciel embarqué et applicatif situé à Colombelles, France) dans le cadre du projet FERMI (AAP France Relance 2021 – « Renforcement des compétences de la filière nucléaire »). Il a été livré à l'INSTN en juin 2023 pour une période de 6 mois de tests techniques et d'expérimentations pédagogiques afin de valider son fonctionnement en situation.