

# BOOK OF ABSTRACTS

**JPSI**

**JOURNÉE DES PLATEFORMES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES**  
L'évènement annuel des plateformes & des talents



**Les Plateformes d'Irradiation  
de la Communauté Gamma**

**LE 23 NOVEMBRE 2023 DE 09h00 A 17H00**

Contact  
[spot-valo-pst@irsn.fr](mailto:spot-valo-pst@irsn.fr)  
A l'auditorium de  
Fontenay-Aux-Roses  
Et en distanciel

Un évènement organisé par :



Avec la participation de :





RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**IRSN**

INSTITUT DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# Préambule

L'IRSN s'inscrit dans l'élan nationale de l'Etat de valoriser la recherche française. Ce souhait d'ouverture se concrétise par un ensemble d'actions focalisées sur les moyens scientifiques et techniques de l'IRSN. L'évènement annuel intitulé « Journée des Plateformes Scientifiques de l'IRSN » (JPSI) et organisé par le Service de Valorisation des Plateformes de l'IRSN (SPOT) participe pleinement à la réalisation de cette ambition. Ainsi, chaque année, les JPSI rassemblent autour d'une thématique scientifique les chercheurs de l'IRSN et les différentes communautés du domaine. Quelles soient nationales ou internationales, publiques ou privées, ces communautés sont invitées à échanger et partager sur leurs retours d'expérience, leurs bonnes pratiques, les dernières avancées... mais aussi les besoins de leurs équipes de recherche, les verrous scientifiques ainsi que les perspectives de la thématique à l'honneur.

L'édition 2023 porte sur la thématique de l'irradiation gamma de R&D. Elle sera l'opportunité de vous faire découvrir ou redécouvrir les installations du CEA, IONISOS, ARC NUCLEART et IRSN, acteurs de la Communauté Gamma. Suite au discours de Patrice Giordano (directeur de la Recherche en Sûreté de l'IRSN) qui nous fera le plaisir d'introduire la journée, Yves Hénon (membre du Directoire de l'International Irradiation Association) nous fera l'honneur de sa présence et nous présentera le panorama de l'irradiation gamma. Les JPSI se poursuivront avec les présentations des installations de la communauté et le témoignage de leurs 'clients' (universitaires, industriels, ...).

La journée se poursuivra par un atelier spécial intitulé « Irradiation Gamma : Besoins et Perspectives ». Celui-ci nous plongera dans deux thématiques, d'une part les protocoles de qualification des matériels et des matériaux, et d'autre part les bases de données concernant la tenue aux rayonnements. Cet atelier se veut un lieu d'échanges ouverts et privilégiés entre les intervenants et les participants en présentiel et distanciel de la JPSI.

Nous avons œuvré pour tenter de vous offrir une journée exceptionnelle centrée autour de la thématique de l'irradiation Gamma. Que vous soyez en présentiel ou en distanciel, nous vous invitons à profiter pleinement de ce moment d'échange en dialoguant en direct avec les orateurs ou en posant vos questions via la plateforme TEAMS.

Laurent AUDOUIN

Chef du Service de Valorisation des Plateformes Scientifiques et Techniques  
(Pôle Patrimoine et Territoires)



## Installation IRMA

### *Retour sur les possibilités de programmes de recherche dans l'installation*

H. Houjeij [1] , A. Boukenter [2] , S. Poirier [1] , C. Monsanglant-Louvet [1]

[1] Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), PSN-RES/SCA/LECEV, 91192, Gif sur Yvette, France

[2] Laboratoire Hubert Curien (LabHC), Université de Saint-Etienne, Institut d'Optique Graduate School, 42000 Saint-Etienne, France

L'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) dispose, sur le site de Saclay, d'un moyen d'essai, IRMA, destiné à l'étude des mécanismes d'interaction rayonnement/matière et plus particulièrement la réponse et la dégradation des matériaux, composants et systèmes sous rayonnement gamma. Garantir la non-dégradation de certains matériaux et le fonctionnement fiable de matériels électroniques soumis à des rayonnements ionisants, mais aussi par exemple l'intégrité de colis de déchets radioactifs sur des dizaines d'années, peut-être dans la majorité des cas une mission compliquée, longue et surtout coûteuse.

IRMA (IRradiation de MATériaux), cellule d'irradiation au  $^{60}\text{Co}$ , exploitée depuis bientôt 55 ans, est une installation d'une capacité maximale de 1850 TBq. L'irradiation est de type panoramique et s'effectue au moyen de quatre sources scellées cylindriques du  $^{60}\text{Co}$  indépendantes. Son important volume interne (24 m<sup>3</sup>) permet des expositions au rayonnement gamma dans des configurations géométriques très variées. Les débits de dose disponibles vont de 5  $\mu\text{Gy/h}$  à 25 kGy/h, permettant d'atteindre sur plusieurs semaines des doses de l'ordre de plusieurs MGy. Plusieurs traversées de cellule avec bouchons et glissières sont disponibles pour le passage de câbles pour du matériel nécessitant une instrumentation extérieure lors des essais. Ces traversées permettent également de mettre en œuvre des systèmes de prélèvement en ligne de gaz produits lors de la dégradation de matériaux soumis au rayonnement gamma (polymères, acier...) reliés à l'extérieur de la cellule à un dispositif d'analyse. Un autre avantage de cette installation est de pouvoir coupler l'irradiation à d'autres contraintes, comme la température, la pression et la vapeur d'eau en mettant en place des dispositifs spécifiques. Ainsi, les conditions d'essais résultantes permettent d'envisager et de mettre en œuvre des expérimentations représentatives de situations relativement extrêmes (accident grave de réacteur, dispositifs de stockage de déchets, etc.).

IRMA et son équipe d'exploitation contribuent à de nombreux programmes de recherche institutionnels et industriels. Ces programmes couvrent aussi bien le volet amont, comme l'étude fondamentale des mécanismes microscopiques à la base de la dégradation des matériaux sous irradiation, que le volet aval portant sur des applications industrielles. Nous présenterons à titre d'exemple les résultats d'un ensemble d'études sur la tenue sous sollicitation radiative de matériaux, composants et systèmes photoniques où l'installation IRMA a joué un rôle primordial. Nous passerons ainsi en revue le développement – de capteurs (température, déformation, niveau de fluide...) à base de fibres optiques pour diverses installations nucléaires, - de solutions de dosimétrie optique pour la physique des hautes énergies, l'industrie du traitement de matières radioactives et le nucléaire médical, - de fonctions photoniques pour l'environnement nucléaire spatial et - de caméras pour le diagnostic en présence de rayonnement ionisant et l'ingénierie du démantèlement nucléaire.



## Installation GAMMATEC

### *Impact du débit de dose gamma sur l'altération des verres nucléaires en condition de stockage géologique*

**M. Taron [1], H. Aréna [1], F. Chupin [1], K. Ressayre [1], M. Tribet [1], S. Peugeot [1], M. Fournier [1]**

[1] CEA, DES, ISEC, DPME, Université de Montpellier, Marcoule, Montpellier, France

L'installation nucléaire de base (INB) GAMMATEC exploitée par la société STERIS à Marcoule est composée de deux irradiateurs : un dit « industriel » et l'autre « expérimental ». Cette présentation porte sur l'irradiateur expérimental pour lequel le CEA possède un accès privilégié pour réaliser ses études de R&D et celles de ses partenaires ou clients. Ces études concernent le comportement des matrices de conditionnement des déchets radioactifs (ciments, bitumes, verres, polymères...) ainsi que l'évolution des matériaux dans le temps pour valider leur utilisation (joints polymères...) ou décrire leur comportement en fin de vie (résines, adsorbants minéraux...). Enfin, une partie des études s'intéresse à la tenue de composants électroniques à des irradiations de faible intensité.

Le CEA possède un grand panel de dispositifs permettant l'irradiation homogène des échantillons, l'analyse en direct des gaz de radiolyse et la chauffe ou le refroidissement des échantillons irradiés. Lors de cette présentation, un focus sera fait sur une utilisation du dispositif thermorégulé en chauffe pour étudier l'altération des verres nucléaires simulés en conditions de stockage géologique.

En France, le verre de borosilicate dit R7T7 est utilisé pour confiner les déchets radioactifs de haute activité restant après retraitement du combustible nucléaire usé. Les colis de verre contenant ces déchets sont destinés à un stockage en couche géologique profonde. Le contact avec l'eau souterraine est la principale source de relâchement des radionucléides contenus dans le verre, qui sont aussi à l'origine de son auto-irradiation.

L'objectif des études de R&D est de prédire le comportement à long terme des verres nucléaires pour contribuer à la démonstration de sûreté du stockage. La stabilité physique et chimique du verre à l'échelle des temps géologiques doit donc être étudiée, ce qui nécessite d'évaluer la réponse du verre aux radiations émises par les déchets nucléaires ainsi que son comportement lorsqu'il est soumis à l'altération par l'eau.

Parmi les déchets radioactifs contenus dans le verre, les produits de fission conduisent à des désintégrations bêta et à des transitions gamma, tandis que les actinides mineurs génèrent des désintégrations alpha. Plusieurs méthodes permettent d'étudier les effets des irradiations sur l'altération du verre. Des expériences d'altération sont généralement menées sur des échantillons pré-irradiés avec des ions ou des électrons pour simuler les dommages créés par les différentes désintégrations et transitions. Néanmoins, il est aussi important d'étudier les effets des irradiations sur la solution d'altération et l'impact éventuel de sa radiolyse sur les cinétiques d'altération. Pour cela, des expériences sont menées dans l'installation Gammatec (STERIS, Marcoule), couplant altération sous eau et débit de dose gamma. Des conteneurs unitaires en titane contenant du verre et de l'eau sont placés dans une enceinte thermorégulée à 90°C, à proximité d'une source  $^{60}\text{Co}$  qui génère un débit de dose gamma de 1200 Gy/h environ. A échéances régulières, des conteneurs sont prélevés et des analyses de solution et de solide permettent d'évaluer les effets du débit de dose gamma sur les cinétiques d'altération.

Cette présentation portera sur la méthodologie d'étude et le système expérimental mis en œuvre, et sera complétée par une illustration de quelques résultats en cours d'acquisition obtenus sur un verre non radioactif simulant chimiquement le verre nucléaire mis en œuvre en France.



## Installation EPICUR

### *Les MOFs (Metal – Organic Frameworks) : des matériaux innovants et résistants pour l'industrie nucléaire*

O. Leroy [1], Prof. C. Volkringer [2]

[1] IRSN/PSN-RES/SEREX/L2EC - Bat 328 – Cadarache B.P. 3 – 13115 Saint Paul lez Durance

[2] Centrale Lille, Unité de Catalyse et Chimie du Solide UMR 8181, 59650 Villeneuve d'Ascq (France)

[christophe.volkringer@centraelelille.fr](mailto:christophe.volkringer@centraelelille.fr)

L'installation EPICUR (Etudes Physico-chimique de l'Iode Confiné soUs Rayonnement)) est constituée d'un irradiateur panoramique contenant 6 sources  $^{60}\text{Co}$  (944 TBq en avril 2023) et d'une boucle expérimentale contenant un réservoir d'irradiation et un système de filtration sélectif des espèces iodées.

Les conditions d'irradiation Gamma dans le réservoir d'irradiation (plusieurs kGy/h) simule l'enceinte du réacteur. La température du réservoir peut être contrôlée entre 20 à 140 °C, la pression est comprise entre 1,2 et 4,5 bars rel. et différents gaz de balayage à taux d'humidité contrôlé peuvent y être injectés. Le système de filtration sélective (May-pack) est utilisé pour les mesures quantitatives en ligne de l'iode 131 (par spectrométrie gamma). Le système permet de différencier les espèces libérées telles que les aérosols d'iode, l'iode moléculaire et l'iode organique. L'installation permet également de tester la réactivité sous irradiation de différents matériaux tels que câbles électriques, ciments, matériaux poreux.

Depuis leur découverte à la fin des années 90, les structures métallo-organiques poreuses également appelées Metal-Organic Frameworks (MOFs) ont été étudiées pour de nombreuses applications potentielles dans divers domaines comme la catalyse, le stockage de gaz, l'optique ou la médecine...

Il y a quelques années, la technologie de l'énergie nucléaire restait encore l'une des dernières industries importantes sans lien avec le domaine des MOFs et ne profitant pas de leur chimie originale et de leur grande porosité.

Grace à une collaboration entre l'Unité de Catalyse et de Chimie du Solide (UCCS, Villeneuve d'Ascq) et l'IRSN, nous développons différentes approches impliquant les MOFs afin de combler cette lacune. Cette communication sera consacrée à deux aspects de la chimie des MOF liés au domaine nucléaire.

Tout d'abord nous produisons des MOFs prototypiques (MIL-n, UiO-66, ZIF-8...) pour la capture de molécules radioactives générées lors d'un accident nucléaire, comme les dérivés de l'iode ( $\text{I}_2$ ,  $\text{CH}_3\text{I}$ ), les actinides (U, Th) ou les molécules volatiles (oxydes de ruthénium). Dans chaque cas, les composés de type MOF présentent des capacités de sorption très élevées (supérieures à celles des zéolites ou charbons actifs), modulées par la taille des pores et la fonctionnalisation de la charpente.

Afin de connaître la solidité de ces matériaux en situation accidentelles, nous étudions également leur résistance en conditions radiatives (irradiation aux rayons gamma). Pour cette étude, le résultat le plus impressionnant était la stabilité des MOF à base de zirconium ou d'aluminium pour une dose d'irradiation d'au moins 2 MGy, comparable à au moins 8 jours dans des conditions de forte radioactivité survenant lors d'un accident nucléaire.





## Installation ARC-Nucléart

### *Irradiation à façon pour l'industrie : Essais sur des systèmes hydrauliques*

L. Cortella [1], A. Heinrich [2]

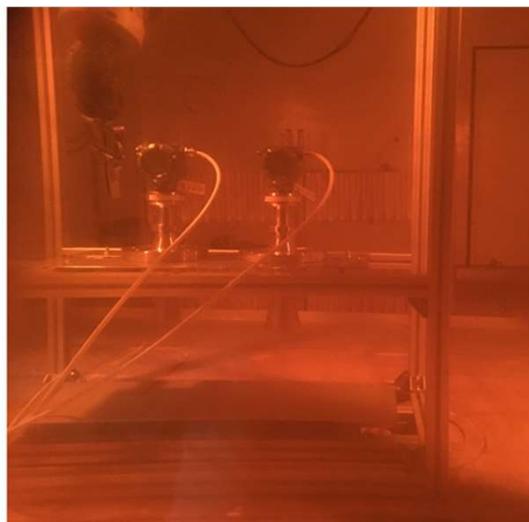
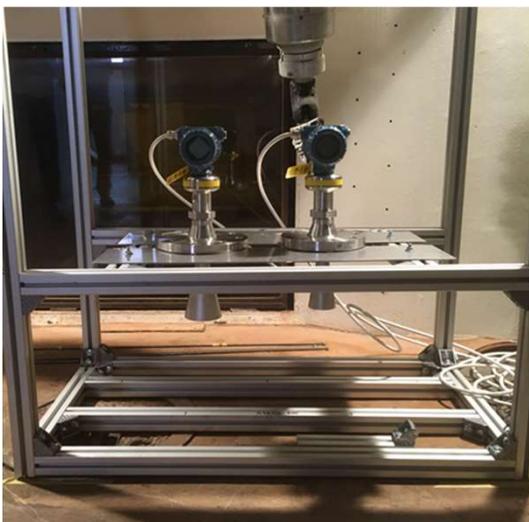
[1] ARC-Nucléart, CEA Grenoble, 17 av. des Martyrs, 38059 Grenoble Cedex 9

[2] CERG SAS, 7 Rue Lavoisier 38800 Le Pont de Claix

ARC-Nucléart est un groupement d'intérêt public principalement dédié à la conservation et la restauration du patrimoine culturel dont la spécificité est de posséder un irradiateur Gamma au  $^{60}\text{Co}$  de type piscine, dont l'activité varie typiquement entre 1200 et 2400 TBq.

En dehors des irradiations pour le patrimoine, cet irradiateur est largement utilisé pour des irradiations dites « à façon », dans des domaines de recherche et développement très divers. Il peut s'agir de traitements utilisant les effets biologiques des rayonnements comme les techniques de l'insecte stérile pour le contrôle de parasites dans les cultures, ou l'assainissement ou la stérilisation d'échantillons par exemple de biomasse présentant un risque infectieux pour les chercheurs du domaine, ou de médias contenant des micropolluants pour des expériences en sciences environnementales. L'irradiation est aussi utilisée dans des procédés matériaux, par exemple pour tester des résines photoréticulables pour la fabrication additive, ou pour dégrader des matériaux puis les séparer en vue de leur recyclage, ou encore pour synthétiser des nanoparticules par réduction de sels de métaux. Mais c'est bien la tenue de matériels, de systèmes ou de composants soumis dans leurs utilisations à des doses conséquentes aux rayonnements ionisants, que ce soit pour le spatial, le médical, et bien entendu le nucléaire qui constitue le gros de la demande de nos clients et partenaires.

Dans le domaine du nucléaire, ARC-Nucléart a ainsi une coopération de longue date avec le Centre d'Etudes et de Recherche de Grenoble (CERG), leader dans le domaine des essais dans la mécanique des fluides. Les tests réalisés dans l'irradiateur grenoblois permettent de qualifier la tenue au rayonnement des équipements constituant les réseaux fluides des installations nucléaires. Sont généralement étudiés le vieillissement en fonctionnement dans un environnement ionisant normal, puis le comportement en conditions accidentelles. Après ces essais se situant le plus souvent en bout de chaîne de qualification, les contrôles de fonctionnalité des objets irradiés dans les conditions spécifiées sont réalisés (caractéristiques mécaniques, électriques, isolation, étanchéité, qualité des signaux...). Des exemples seront proposés lors de la présentation.



*Image: Installation pour irradiation en cellule de matériel d'instrumentation pour le réacteur Jules Horowitz.*



## Installations LABRA

### Moyens d'irradiation du LABRA - Exemple d'essais de composants électroniques

I. Aubineau-Lanièce I. [1], F. Guihou [2], P. Le Tutour [1]

[1] Commissariat à l'Energie Atomique et aux énergies alternatives, CEA Saclay, 91191, Gif-sur-Yvette

[2] Commissariat à l'Energie Atomique et aux énergies alternatives, CEA DAM, 91680, Bruyères-le-Châtel

Depuis plus de 50 ans, le LABoratoire des Rayonnements Appliqués (DES/DRMP/SPC/LABRA) réalise des prestations d'irradiation à façon, d'une part, pour le CEA dans le cadre de ses propres études de R&D, et d'autre part, pour les industriels des secteurs de l'électronucléaire, de la défense, de l'électronique, du spatial et de la santé. Plus particulièrement, de par ses activités, le LABRA :

- réalise des prestations de qualification nucléaire pour la filière du nucléaire par l'apport d'une expertise sur le comportement et le vieillissement des matériaux, en conditions normales et accidentelles d'irradiation, dans la perspective de prolonger la vie du parc actuel et futur de réacteurs français ;
- radiostérilise des dispositifs médicaux pour le compte de leurs fournisseurs selon les prescriptions des normes ISO 13485 et ISO 11137.

Pour mener à bien ses missions, le LABRA dispose de divers moyens d'irradiation, électrons (accélérateur d'électrons de type Van De Graaf) et Gamma (irradiateurs au  $^{60}\text{Co}$ ). Le LABRA est ainsi équipé de trois irradiateurs Gamma baptisés respectivement POSEIDON, CALINE et PAGURE. L'ensemble de ces irradiateurs permet de couvrir une large gamme de débits de dose et de répondre à différents besoins en termes de taille/poids de matériels et matériaux à tester.

Après une brève présentation des irradiateurs POSEIDON et CALINE et de leurs applications, l'exposé se focalisera plus particulièrement sur l'irradiateur PAGURE, l'idée étant alors d'illustrer son utilisation dans un domaine d'étude mené par le CEA/DAM, à savoir le développement et la qualification de composants électroniques.

En effet, pour ses systèmes embarqués, le CEA – DAM doit garantir le bon fonctionnement de l'électronique en environnement radiatif tout au long de sa vie opérationnelle. Le système embarqué comporte des circuits intégrés durcis (CID) spécifiques, de conception interne, mis en œuvre dans un système électronique qui utilise des composants du commerce, aussi appelés COTS pour « Commercial Off-The-Shelf ». Le niveau de durcissement radiatif de ces COTS est inconnu *a priori* et difficilement accessible par analyse.

La première partie de cette illustration portera sur la démarche durcissement s'appuyant sur la simulation électrique du système qui prend en compte les effets radiatifs : tests et modélisations sont indissociables. Cette démarche consiste à caractériser expérimentalement les composants élémentaires en environnement radiatif et à développer des modèles reproduisant les dérives électriques observées. L'utilisation des modèles développés dans la simulation du système électronique permet de rendre compte des effets de l'environnement radiatif sur son fonctionnement et ainsi permet d'évaluer les marges de fonctionnement. Des expériences complémentaires mettant en œuvre le système permettent de valider les résultats de simulation.

La deuxième partie de cette illustration portera sur les différents environnements radiatifs qu'observeront les COTS ainsi qu'à leur mise en œuvre lors de leur caractérisation. Les COTS sont testés aux effets de dose ionisante et aux effets non ionisants (effets de déplacement atomique). Suivant l'effet observé, les COTS peuvent être alimentés et mesurés en ligne ou non alimentés avec une mesure post irradiation. Les effets observés sont permanents et dépendent des conditions de fonctionnement des composants. Les moyens utilisés pour tester l'électronique aux effets non ionisants sont les accélérateurs Nénuphar et Van de Graaff 4 MV exploités au centre DAM Île-de-France.



## Installation DAGNEUX

### L'irradiateur Gamma de IONISOS Dagneux : l'expertise industrielle

S. Rouif [1] ; R. Sharp [2] ; E. Prades [3]

[1] Ionisos SAS ; [2] RADTEST Ltd ; [3] PETERCEM

L'irradiateur Gamma de Dagneux, aussi identifié en tant que l'INB n°68, a été établi en 1956. Localisé dans la région lyonnaise, cet équipement a été géré par la société Conservatome jusqu'en 1993, date à laquelle la gestion a été transférée à Ionisos, à la suite de la fusion entre Conservatome et Amphytrion.

Il possède une **source plane de  $^{60}\text{Co}$  de puissance autorisée jusqu'à 2 millions de Curies**. Il sert au quotidien à débactériser et stériliser des dispositifs médicaux et plus généralement des produits de santé, y compris des produits et des emballages pharmaceutiques. L'irradiateur Gamma opère en conformité avec des normes de qualités strictes, bénéficiant des certifications ISO 13485 et ISO 11137, et est également accrédité en tant qu' « établissement pharmaceutique ».

Le système d'irradiation fonctionne en mode continu, grâce à deux convoyeurs à balancelles, communément appelées « totes » dans le vocabulaire technique de l'irradiation industrielle :

- un convoyeur principal pour les traitements de routine ;
- un convoyeur secondaire pour les doses faibles, dédié aux audits de dose et aux essais.

A l'intérieur de sa casemate, des emplacements spécifiques n'interférant pas avec les deux convoyeurs sont réservés pour le positionnement de produits nécessitant un traitement en position statique, par opposition au traitement dynamique effectué par les convoyeurs. Ces traitements statiques permettent des irradiations à des débits de dose assez stables avec une variation maximale identifiée de  $\pm 0.3$  kGy/h pour le débit de dose maximal possible de 1,3 kGy/h, en position statique.

Le système dosimétrique utilisé est l'alanine, qui présente une précision de 4 % sur la gamme calibrée, entre 0.5 kGy et 110 kGy. Pour les doses plus élevées (plusieurs centaines de kGy, quelques MGy), le service essais réalise un suivi continu sur un point de contrôle, où le dosimètre est régulièrement renouvelé et associé à une cartographie initiale de la dose. Cette démarche s'appuie sur notre expertise dans les qualifications de performances, utilisées pour les traitements de routine.

Les spécifications relatives aux modes et aux espaces d'irradiations, tels que les débits de dose, les volumes disponibles et les services complémentaires seront ultérieurement présentées.

Cette présentation inclura des retours d'expérience de deux entreprises opérant dans les **secteurs du nucléaire et de la physique des hautes énergies** : les sociétés RADTEST et PETERCEM. Elles présenteront leurs activités, leurs besoins spécifiques en matière d'irradiation, ainsi que les services qu'elles ont obtenus auprès de l'irradiateur industriel de Ionisos Dagneux.

**RADTEST** propose des services de tests avec tous types de rayonnements ionisants pour les environnements spatial, nucléaire, physique des hautes énergies et industriel.

**PETERCEM** conçoit et fabrique des détecteurs de position électromécaniques pour environnements sévères.



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**IRSN**

INSTITUT DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

**Le service de valorisation des plateformes scientifiques et techniques de l'IRSN (SPOT) vous remercie de l'intérêt que vous portez à cet évènement !**

**Des questions, des besoins des projets... ?**

**CONTACTEZ NOUS :**

**[spot-valo-pst@irsn.fr](mailto:spot-valo-pst@irsn.fr)**