

# ATSR

## RAYONNEMENTS IONISANTS

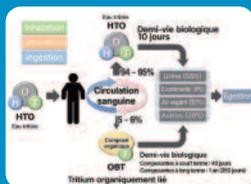
TECHNIQUES de MESURES et de PROTECTION



» REJETS D'EAU  
FUKUSHIMA



» COMPRENDRE  
LE TRITIUM



» LE CAHIER DE  
L'ASSOCIATION



n° 3  
2023

# Votre partenaire de la radioprotection



Contaminamètres et sondes intelligentes • Radiamètres • Contrôle de la contamination



Dosimètres • Systèmes de télédosimétrie opérationnelle • Services et maintenance

SALES-RAD@BERTIN.GROUP  
WWW.BERTIN-TECHNOLOGIES.COM

**RAYONNEMENTS  
IONISANTS**



**TECHNIQUES  
de MESURES et  
de PROTECTION**

52<sup>ème</sup> année - Dépôt légal - Revue n°3/2023

ISSN 0397 . 9210



Revue éditée et publiée par l'

**ATSR**

**Association pour les  
Techniques  
et les Sciences  
de la Radioprotection**

Siret n° 785 205 832 00013 - APE 9499Z

***Rédacteur en chef :***

**Marie-Laure BEISO**

***Rédaction :***

**Marie-Laure BEISO - Yvon ALGOET - Christian BOUDOU - Lionel DE PADUA  
Philippe BRUGUERA - Nabil MENAA - Fabrice MONTREUIL - Serge MILLION**

***Publicité :***

**Fabrice MONTREUIL**

**Téléphones et adresses en pages intérieures**

*Les opinions exprimées dans les articles sont sous la responsabilité de chaque auteur.*

*Réalisation & impression : IMPRIMERIE MOLLET - 04100 Manosque*

# RAYONNEMENTS IONISANTS

# ATSR-Ri

Revue n° 3 / 2023

## Editorial

- L'édito de Marie-Laure Beiso ..... p 3

## Le mot du Président

- Le mot de Fabrice Montreuil, Président de l'ATSR ..... p 4

## Articles

- Les rejets d'eau traité à Fukushima ..... p 7
- Comprendre le tritium ..... p 38

## Publi-reportage

- BERTHOLD ..... p 6
- APVL ..... p 46

## Publi-infos

- MIRION ..... p 11
- NUCENTREPRISES ..... p 12
- IRSN ..... p 17
- D&S ..... p 18
- 3DPLUS ..... p 23
- HTDS ..... p 27
- APVL ..... p 28
- LANDAUER ..... p 30
- DOSICASE ..... p 34
- SDEC ..... p 37
- CERAP ..... p 41
- NUZIA ..... p 45
- Achetez votre espace publicitaire ..... p 48
- BERTIN (2<sup>ème</sup> de couverture)
- BERTHOLD (3<sup>ème</sup> de couverture)
- CARMELEC (4<sup>ème</sup> de couverture)

## Association

- Le cahier de l'association ..... p 49
- Internet ..... p 50
- Les délégués régionaux ..... p 51
- Coordonnées des membres responsables ..... p 52
- Conseil d'administration et membres des commissions ..... p 54
- Abonnements ..... p 55
- Demande d'adhésion ..... p 56

# L'EDITO

**Marie Laure BEISO**, rédacteur en chef



Le tritium est-il énigmatique ?

Saviez-vous que le tritium, lorsqu'il est utilisé pour les montres lumineuses au début du 20<sup>e</sup> siècle, a contribué à façonner l'histoire de l'horlogerie ?

Les cadrans lumineux, grâce à leur revêtement au tritium, beaucoup moins dangereux que le radium, ont permis aux soldats et aux plongeurs de lire l'heure dans l'obscurité des tranchées et des fonds marins. Cependant, cette utilisation a également exposé des artisans horlogers à des niveaux élevés de tritium et leur a demandé de mettre en place des mesures de radioprotection.

La plupart de ces montres utilisent du tritium avec une activité maximale de 25 millicurie mCi de cet élément d'où l'affichage "T25" parfois visible sur ces montres (Des montres à 100 millicuries existent également, affichant un "T100"). Cette activité convertie en becquerels représente 925 MBq (1 Ci = 37 GBq). Ces chiffres peuvent paraître colossaux, mais le tritium étant confiné dans le boîtier de la montre, les rayonnements bêta de faible énergie peu pénétrants sont arrêtés par le verre.

Supposons maintenant que vous décidiez de casser la montre et d'inhalier tout le tritium, ce qui semble compliqué à mettre en œuvre. Et bien, vous seriez exposé à moins de 2  $\mu$ Sv, soit l'équivalent d'une exposition externe pendant deux jours au ski ou deux heures d'avion.

L'exposition interne est un peu plus complexe à appréhender du fait de la faible énergie des rayons bêta, car même un atome aussi simple que le tritium demeure difficile à saisir.

Après une douzaine d'années de stockage d'eau tritiée sur le site du nord-est du Japon de Fukushima Daiichi, la centrale envisage maintenant de la relâcher dans l'océan Pacifique sur une période de trente ans. Cela nous donne l'opportunité de vous présenter les procédés de traitement et de surveillance de l'eau contaminée, de connaître un peu mieux le tritium, et bien sûr, de présenter l'application des principes de radioprotection.

# Le mot du Président

Sorgues le 26 Septembre 2023



*Cher(e)s collègues,*

*L'été touche à sa fin, et j'espère sincèrement qu'il aura été profitable à tous. Les conditions météorologiques, dans le sud en particulier, ont été plutôt rudes avec des températures bien au-delà des normales saisonnières.*

*Ainsi, alors que la chaleur estivale s'abattait sur nous, bien des activités ont été mises en stand-by. Les associations n'ont pas fait exception, y compris l'ATSR et il faut reconnaître que ces derniers mois ont été plutôt calmes.*

*Pour autant la rentrée est bien là et l'ATSR a de nombreux chantiers en perspective.*

*Outre les choix énergétiques sans cesse revus, l'énergie nucléaire et en particulier la radioprotection vont devoir faire face à de profondes réorganisations.*

*La situation internationale, bien que complexe, offre un contexte propice à la réflexion quant aux choix à effectuer en termes d'investissement dans le domaine énergétique, les grandes entreprises françaises du domaine du nucléaire étant particulièrement concernées.*

*La transition énergétique offre l'opportunité de réévaluer et d'adapter de nombreuses installations nucléaires. Des études sont déjà en cours : Des investissements et des réorganisations seront inévitables.*

*En parallèle, les organismes de sûreté (ASN, IRSN) pourraient évoluer et réorganiser leurs missions.*

*Dans ce contexte de redéfinition et d'incertitude, nous relevons le défi d'organiser des rencontres et d'obtenir des partenariats avec les acteurs industriels. Je pense en particulier à l'organisation en septembre 2024 de notre congrès ATSR 2024 qui représente un challenge stimulant. Ce congrès, ou Ateliers, nous prévoyons de le réaliser à proximité du site nucléaire de Pierrelatte et d'y associer comme partenaire l'établissement ORANO. A l'heure où j'écris ces lignes, rien n'est encore figé et nous sommes en attente d'un engagement formel.*

*Malgré tout, les signaux sont plutôt positifs et l'équipe en charge du congrès va pouvoir prochainement établir la feuille de route et un planning. Le congrès 2024 représente un enjeu fort pour l'ATSR, pour lequel nous devons avoir un maximum d'ambition.*

*L'objectif est d'attirer à Pierrelatte le maximum de participants.*

*Concevoir un programme à la fois riche et attrayant est au centre des préoccupations de l'équipe, avec pour objectif premier de satisfaire les attentes et les besoins des professionnels et des spécialistes de la radioprotection.*

*Grâce à l'implication de chacun d'entre nous, nul doute que la réussite sera au bout comme ce fut le cas lors des derniers congrès : Annecy, Cadarache, Marcoule, ...*

*Quant à notre association, la revue ATSR-RI 2 /2023 a été publiée début juillet et est toujours de très bonne facture tout en étant grandement appréciée. Merci à Marie-Laure, Lionel, Christian, Nabil, Philippe, Serge, Yvon et j'en oublie peut-être, pour le travail accompli.*

*Le nouveau site internet (atsr-ri.fr) est désormais totalement opérationnel et il nous appartient de le faire vivre au mieux.*

*Les conseils d'administration se déroulent dans les meilleures conditions, avec des échanges riches et fructueux, les comptes-rendus sont disponibles sur le site.*

*Voilà les nouvelles que je souhaitais partager avec vous pour cette rentrée.*

*Vive la radioprotection et vive l'ATSR !*

*Bien à vous.*

**Fabrice MONTREUIL**  
**Président de l'ATSR**

## Berthold introduit un nouveau contrôleur corps entier : le **BodySCAN**

Fort du succès des contrôleurs mains/pieds **LB 147** & **LB 148** et du contaminamètre surfacique **LB 124 SCINT**, BERTHOLD étoffe son offre en équipements de contrôle de la contamination avec le **BodySCAN**, contrôleur corps entier alpha, bêta et gamma à détecteurs solides.



Une couverture de détection inégalée de 20640 cm<sup>2</sup> (24 détecteurs ZnS de 860 cm<sup>2</sup>)

Zone morte réduite entre les détecteurs

Position optimale de l'opérateur assurée par de multiples capteurs.

Opérateur guidé par des instructions vocales en français et par un large écran tactile couleur.

Mesure gamma et contrôleur petits objets en option

Protocole de contrôle qualité intégré au programme

Mesure du dessus de la chaussure :



Positionnement automatique du détecteur au-dessus de la tête :



# LES REJETS D'EAU TRAITÉE A FUKUSHIMA



Figure 1 - Citernes de stockage centrale nucléaire de Fukushima Daiichi (FDNPS), à Okuma (Japon), - Source AIEA

Pour faire face à des capacités de stockage arrivant à saturation, la Tokyo Electric Power Company (TEPCO) du Japon, l'exploitant de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi (FDNPS), a entamé le 24 août dernier, le rejet contrôlé d'eau des citernes de stockage du site dans l'océan pacifique. Cela représente plus d'un million de m<sup>3</sup> d'eau issu de la centrale nucléaire de Fukushima, ravagée par un tsunami géant en 2011. Cette opération avait été validée par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique, l'AIEA, suite à des tests concluants sur le système de traitement.

## L'ACCIDENT DE LA CENTRALE NUCLEAIRE DE FUKUSHIMA DAIICHI

Le 11 mars 2011, le Japon a été frappé par un séisme majeur d'une magnitude de 9, connu sous le nom de Grand Tremblement de Terre de l'Est du Japon.

Ce séisme a provoqué, à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi (FDNPS), un accident finalement classé au niveau 7 (accident majeur) sur l'Échelle INES (voir l'encadré ci-dessous).

Lorsque le séisme a frappé la côte japonaise, les réacteurs de la FDNPS se sont automatiquement mis à l'arrêt pour contrôler la fission nucléaire.

Les barres d'assemblage combustible contenant de l'uranium ont continué de produire de la chaleur, c'est ce qu'on appelle la chaleur résiduelle correspondant à environ 10 MW, qu'il faut continuer à évacuer avec de l'eau.

Les lignes électriques ont été coupées par le séisme et les groupes électrogènes à moteur diesel ont pris le relai, comme les concepteurs l'avaient prévu. Le séisme en lui-même n'a pas causé d'autres problèmes. Il n'en va pas de même pour le tsunami qui s'en est ensuivi.

Lorsque les vagues ont déferlé, les « murs anti-tsunami » érigés pour protéger la centrale se sont révélés trop petits pour retenir l'eau. Certaines structures ont cédé sous la force des vagues et l'eau de mer a pénétré dans la salle abritant les groupes électrogènes, endommageant les tranches 1, 2 et 3 du site sur les 4 tranches.

Cela a entraîné la perte de la fonction de refroidissement des réacteurs ainsi que des piscines de stockage du combustible usé. Malgré les efforts déployés par les opérateurs de la FDNSP pour maintenir le contrôle, les cœurs des réacteurs des Unités 1, 2 et 3 ont surchauffé. A partir de 2300°C le combustible nucléaire a fondu se mélangeant avec les matériaux de structure du réacteur pour former un magma qu'on appelle le corium. Celui-ci s'est écoulé sur les enceintes en béton, perçant le fond des cuves 1, 2 et 3 où il se trouve toujours. Dans le même temps, la vapeur d'eau présente dans les cuves s'est chargée en hydrogène en réagissant avec les gaines en zirconium du combustible (Figure 2). L'hydrogène provoqua des explosions à l'intérieur des bâtiments des réacteurs des Unités 1, 3 et 4, endommageant les structures et l'équipement, et blessant du personnel.

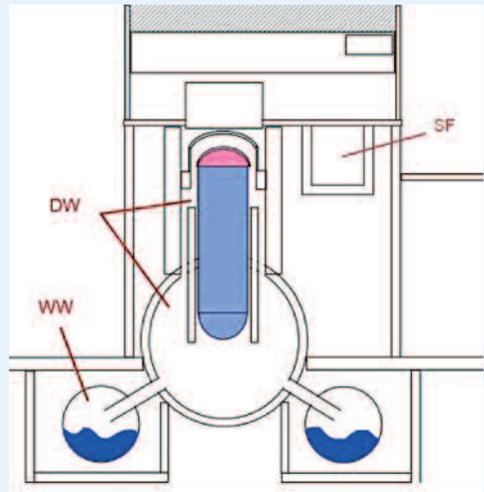
A cela il faut rajouter, l'ébullition et la surpression dans les réservoirs d'eau circulaires qui ont conduit TEPCO, pour éviter l'explosion de l'enceinte de confinement, à relâcher les gaz contenant des radionucléides dans l'atmosphère. Néanmoins, les gaz se mélangeant à l'hydrogène ont fait exploser la charpente de la partie haute du bâtiment sans toutefois endommager l'enceinte de confinement.

En l'absence d'eau douce, TEPCO a décidé d'injecter de l'eau de mer dans la cuve du réacteur. Cette solution, loin d'être idéale car l'eau de mer contient du sel chimique actif, a au moins l'avantage de stabiliser le corium.



Figure 2 - Production d'hydrogène à partir du zirconium de la gaine entourant le combustible à base d'uranium

## Les réacteurs à eau bouillante, ou REB, équipent la FDNSP



Coupe schématique d'un REB

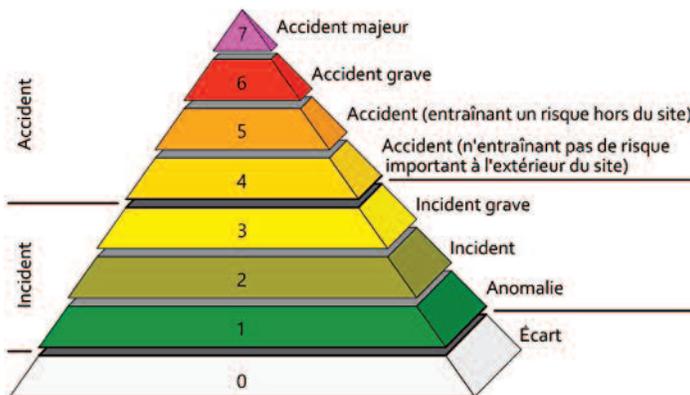
WW = réservoir d'eau circulaire, où l'on condense la vapeur d'eau issue accidentellement du cœur du réacteur. SF = piscine de combustible usé. À signaler, le croquis ne l'indique pas les tuyauteries de communication avec l'atmosphère de l'enceinte de confinement plongent dans l'eau de la réserve de barbotage en fonctionnement normal de façon à obtenir un effet de condensation de la vapeur en cas de montée de pression dans l'enceinte de confinement

Les radionucléides (Iode, césiums, tellures, krypton et Xénon) se sont déposés sur les terres et dans l'océan. Au niveau du réacteur 2, la cuve circulaire a explosé. Des gaz et une eau extrêmement contaminés en radionucléides ont été rejetés directement dans l'atmosphère et l'océan. Les piscines contenant le combustible usé qui n'avaient plus d'eau ont quant à elles été refroidies in extremis par des lances incendie et des hélicoptères apportant de l'eau. Il a fallu attendre juillet 2011 pour fermer les circuits d'eau et éviter les rejets d'eau vers l'extérieur.

Les habitants dans un rayon de 20 km autour du site et dans d'autres zones désignées ont été évacués, et ceux dans un rayon de 20 à 30 km ont reçu l'ordre de se mettre à l'abri avant d'être ultérieurement encouragés à évacuer de manière volontaire. Des restrictions ont été imposées à la distribution et à la consommation de nourriture, ainsi qu'à la consommation d'eau potable.

**L'Échelle internationale des événements nucléaires et radiologiques**, dite échelle **INES** (acronyme de l'anglais International nuclear event scale), porte sur les événements survenant dans des installations et activités où sont utilisées des sources de rayonnements. Elle sert à classer les événements qui provoquent un rejet de matière radioactive dans l'environnement et la radioexposition des travailleurs et de la population. Elle est également employée dans le cas d'événements sans conséquences réelles lorsque les mesures de prévention n'ont pas fonctionné comme prévu. L'échelle est aussi appliquée aux événements comportant la perte ou le vol de sources radioactives et la découverte de sources radioactives non contrôlées dans les déchets métalliques. L'INES ne sert pas à classer les événements résultant de procédures où des personnes sont intentionnellement exposées à des rayonnements dans le cadre d'un traitement médical.

Elle est censée être utilisée pour les applications non militaires et ne concerne que les aspects d'un événement qui sont liés à la sûreté.



Les événements ayant une importance sur la sûreté sont classés sur l'échelle selon sept niveaux : un incident nucléaire est classé de 1 à 3, et un accident nucléaire de niveau 4 à 7, en fonction de la gravité et des conséquences sur les personnes et sur l'environnement. Cette échelle est logarithmique, c'est-à-dire qu'elle a été conçue pour que la gravité d'un événement augmente d'un facteur dix entre deux niveaux, jusqu'au dernier niveau. Les événements n'ayant aucune importance sur la sûreté sont classés en dessous de l'échelle, au niveau zéro.

Le séisme et le tsunami ont entraîné de nombreuses pertes en vies humaines et une dévastation généralisée au Japon. Environ 20 000 personnes ont perdu la vie, et plus de 6 000 ont été blessées. Des dommages considérables ont été infligés aux bâtiments et aux infrastructures, en particulier le long de la côte nord-est du Japon.

## LE CASSE-TETE DES EAUX CONTAMINEES

Avant l'accident, les eaux souterraines provenant de la montagne à l'arrière de la FDNPS étaient pompées à un débit d'environ 850 m<sup>3</sup> par jour à partir de sous-drains (NDLR, un sous-drain est un système de drainage souterrain conçu pour collecter et évacuer l'eau souterraine, généralement à partir de sols saturés en eau ou de zones sujettes à l'accumulation d'eau) situés autour des bâtiments des Unités 1 à 4, dans le but de contrôler le niveau des eaux souterraines et d'éviter des inondations locales.

En raison de l'accident, les sous-drains et les pompes qui empêchaient les eaux souterraines d'entrer dans les bâtiments ont cessé de fonctionner.

Étant donné que les cuves des réacteurs n'étaient plus intactes et les matériaux nucléaires des cœurs n'étaient plus contenus dans les cuves des réacteurs, les eaux souterraines pénétrant dans les bâtiments des réacteurs ont pu se mélanger avec des débris radioactifs, créant ainsi de l'eau contaminée.

De plus, les eaux souterraines entrant dans les bâtiments des réacteurs sont également utilisées pour refroidir les débris de combustible afin de maintenir les réacteurs dans un état stable.

Enfin, en raison de la détérioration des conditions des bâtiments des réacteurs, les eaux de pluie ont également pu pénétrer dans les bâtiments et se mélanger avec les débris de combustible.

Depuis, l'eau contaminée, hautement radioactive, a été collectée par TEPCO et stockée sur place dans des réservoirs spéciaux pour éviter qu'elle n'atteigne l'environnement sous sa forme actuelle.

Cependant, en raison de sa forte radioactivité, le stockage en grande quantité sur place a entraîné une exposition accrue pour les travailleurs sur le site et des difficultés pour TEPCO à atteindre l'objectif de dose limite à la limite du site de 1 mSv par an. Ces défis ont conduit TEPCO à développer le Système Avancé de Traitement des Liquides (ALPS), utilisé pour éliminer la majeure partie de la contamination radioactive de l'eau, réduisant ainsi la dose pour les travailleurs liée à cette eau stockée. Diverses techniques de gestion de l'eau ont été déployées et mises en œuvre, notamment l'installation de systèmes de traitement et de réservoirs supplémentaires, un système de sous-drains et la construction d'un mur de rétention sur la façade océanique (*Figure 3*).

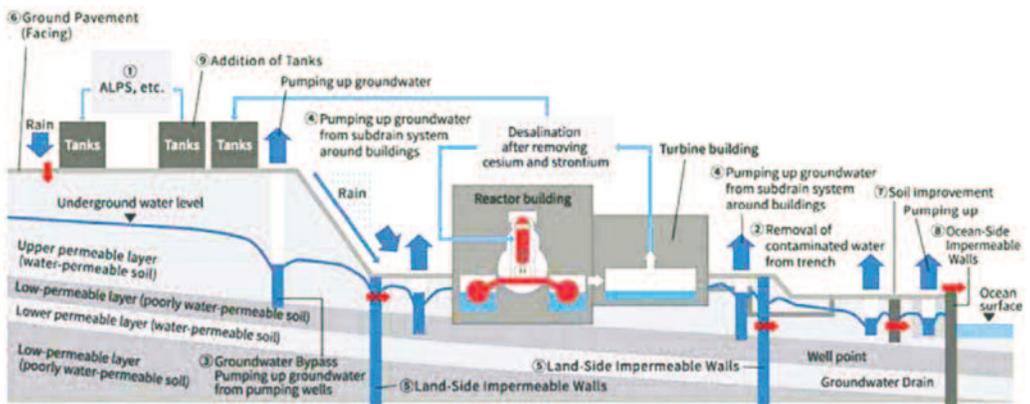


Figure 3 – Vue synthétique de la gestion de l'eau sur le site de Fukushima Daiichi (FDNPS) – Source TEPCO



**MIRION**  
TECHNOLOGIES

## Barboteur **HT ionix**<sup>TM</sup>

Une avancée technologique  
pour le piégeage du tritium



**Prélèvement du tritium sous forme de vapeur d'eau (HTO) ou sous forme de gaz (HT) après oxydation dans un four catalytique.**

- Rendement de piégeage > à 95% (HTO & HT)
- Existe en version 2 flacons (piégeage HTO) et 4 flacons (piégeage HTO & HT)
- Mise en oeuvre et maintenance simple et intuitive

[www.mirion.com](http://www.mirion.com) | En savoir + sur le **HT ionix**





## NUC Entreprises

Pour mettre en relation les professionnels du nucléaire.

### NUC Entreprises c'est quoi ?

NUC Entreprises est un centre de ressources qui permet, sur la base des compétences, des savoir-faire et de l'expérience des entreprises et sociétés intervenants dans le milieu du **NUC**léaire, d'établir des liens entre professionnels.

L'objectif est de mettre en relation les acteurs du nucléaire (Donneurs d'ordre, Entreprises, ...) pour leur permettre de répondre à leurs besoins et de compléter leurs compétences dans le cadre de travaux, réponses à appels d'offres, etc.

NUC Entreprises a été créée début 2022 par des professionnels impliqués dans le milieu associatif et la promotion des savoir-faire dans le milieu nucléaire et plus particulièrement dans le domaine du Démantèlement et de la Radioprotection.

### A qui s'adresse NUC Entreprises ?

#### Aux Entreprises

à la recherche :

- *d'une meilleure visibilité pour faire connaître ses compétences, expériences et savoir-faire dans le domaine Nucléaire.*
- *de partenaires dans le cadre d'un appel d'offre.*

Devenez Partenaire de NUC Entreprises



#### Aux Donneurs d'ordres

à la recherche d'une ou plusieurs entreprises qualifiées pour la réalisation de travaux.

NUC Entreprises vous accompagne simplement et **gratuitement** dans votre recherche parmi nos entreprises partenaires.

Recherche Entreprises ou Partenaires

## Besoin de plus d'infos ? Contactez nous

Si vous avez besoin d'assistance, n'hésitez pas à nous contacter.



Parallèlement les eaux souterraines non contaminées en amont des installations endommagées ont été déviées autour des installations et dirigées vers l'océan. A cela il faut rajouter un mur cryogénique « gelé », constitué d'un réseau de tuyaux souterrains refroidis par une solution à base d'ammoniac, autour des bâtiments des réacteurs et du côté de l'océan a également été construit pour empêcher toute nouvelle infiltration d'eau. Toutes ces mesures ont contribué à réduire la production d'eau contaminée d'environ 540 m<sup>3</sup> par jour à 90 m<sup>3</sup> par jour.

En novembre 2020, le site de la centrale abritait déjà 1 234 000 m<sup>3</sup> d'eau provenant de dix ans des réacteurs endommagés, soit 1 040 réservoirs. Cependant la capacité de stockage du site étant limitée, il fallait trouver un moyen d'évacuer cette eau.

Déjà en 2016, les experts japonais envisageaient différentes options pour évacuer cette eau, dont le rejet en mer (favorisant sa dilution) ou dans l'atmosphère (vapeur). En janvier 2020, un groupe d'experts mandatés par le gouvernement avait préconisé une dilution progressive dans l'océan, plutôt que la solution alternative d'une évaporation dans l'air. Selon les autorités japonaises, l'impact d'un rejet en mer sur les populations et l'environnement serait comparable à celui des installations nucléaires en fonctionnement.

Qu'en est-il aujourd'hui ?

## LE SYSTEME APLS

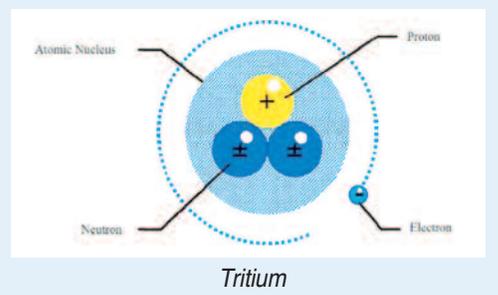
Comme mentionné précédemment, l'eau contaminée stockée sur place est traitée pour éliminer la majeure partie de son contenu radioactif, à l'exception du tritium, qui ne peut pas être éliminé par le système ALPS, ni par aucun autre système à l'échelle industrielle (selon la technologie existante), compte tenu du volume d'eau et des faibles concentrations de tritium impliquées.

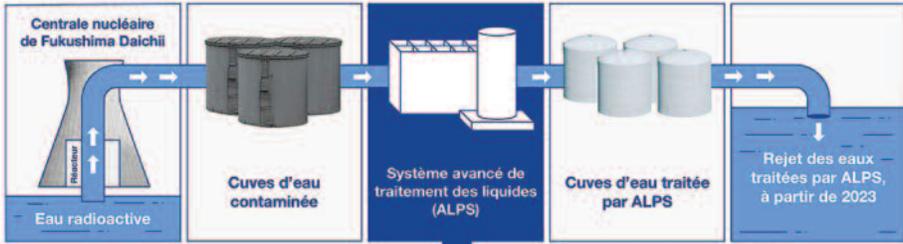
Le rejet de l'eau traitée par ALPS dans la mer est mis en œuvre sous un strict contrôle, en partant du principe de faire tous les efforts possibles pour minimiser les risques, en prenant des mesures telles que la purification et la dilution, conformément au principe ALARA.

Plusieurs étapes sont impliquées dans le processus de traitement, comme le montre la Figure suivante :

L'eau traitée par ALPS contient de l'eau tritiée, c'est-à-dire de l'H<sub>2</sub>O avec un isotope de l'hydrogène dont le noyau contient un proton et deux neutrons, contrairement à l'hydrogène ordinaire <sup>1</sup>H qui n'a qu'un seul proton. Ce noyau triple est ce qui lui donne le nom de "tritium". La plupart du tritium naturellement présent sur Terre est dit « cosmogénique » car il provient des interactions des rayons cosmiques dans la haute atmosphère terrestre. Environ 70 000 TBq soit (0,2 kg) de tritium seraient ainsi annuellement produits (moyenne qui peut cycliquement varier avec l'activité solaire ; quand elle est intense, le vent solaire qu'elle produit atténue le rayonnement cosmique qui frappe la Terre). L'inventaire global du tritium naturel terrestre serait d'environ 1 300 PBq soit 3,5 kg et la dose annuelle de radioactivité absorbée par un humain ayant le tritium d'origine naturelle est d'environ 0,01 µSv.

Tout ce qui contient de l'eau contiendra également du tritium, y compris le corps humain et tout ce que nous mangeons. Le tritium est également une caractéristique commune des effluents des centrales nucléaires, et il existe une longue histoire de manipulation et d'élimination en toute sécurité.





Processus de traitement

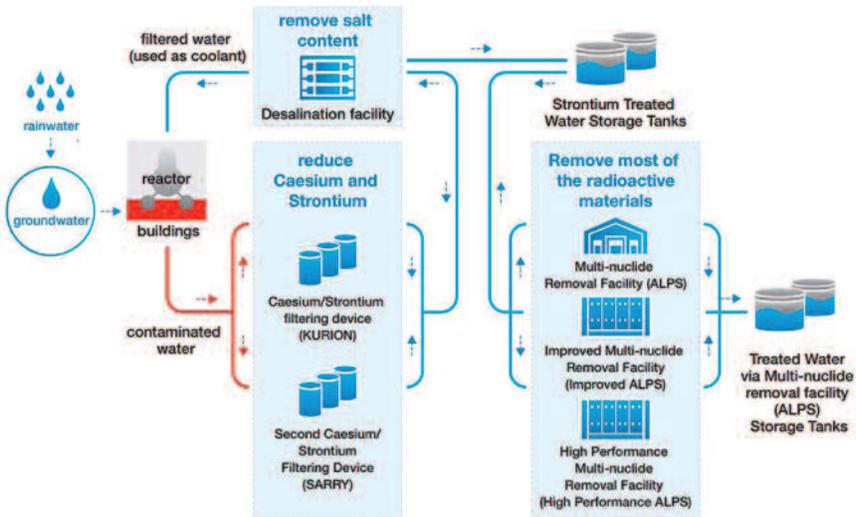


Figure 4 - Processus de traitement de l'eau contaminée

Avant d'être traitée par le système ALPS, l'eau contaminée voit son césium et son strontium éliminés périodiquement par le biais des systèmes KURION et SARRY.

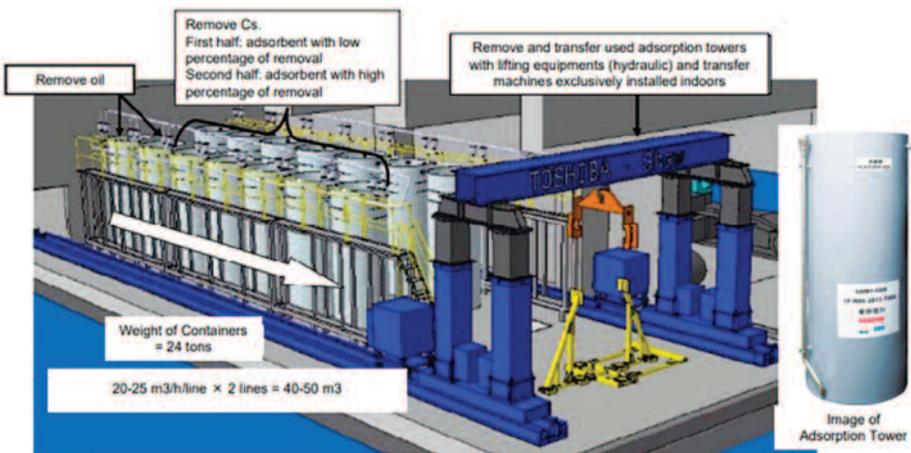


Figure 5 - Présentation simplifiée du système SARRY (Simplified Active water Retrieve and Recovery system) - Source TEPCO

Le césium et le strontium représentent la majeure partie de la radioactivité de l'eau contaminée. Ensuite, lorsque l'eau n'est plus destinée à être utilisée pour le refroidissement des débris de combustible, elle est envoyée pour un traitement par ALPS, où 62 radionucléides supplémentaires sont éliminés :

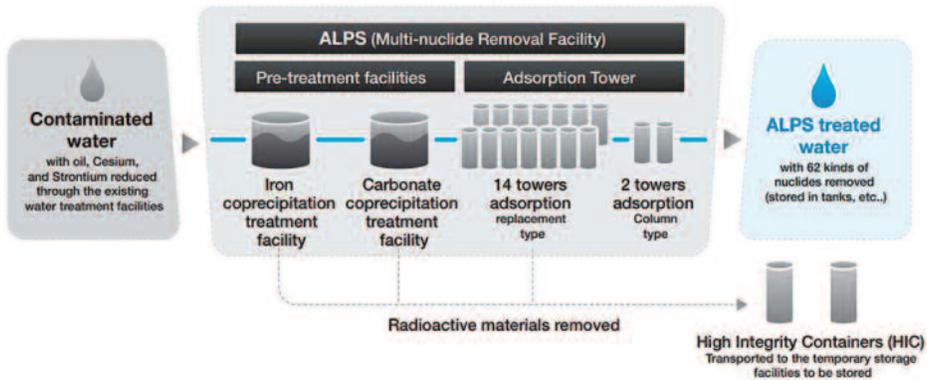


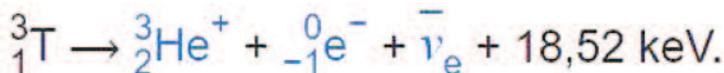
Figure 6 - Détail du processus de traitement ALPS pour enlever les radionucléotides

Il est important de noter que le processus de traitement par ALPS ne supprime pas l'ensemble du matériau radioactif. De petites quantités de différents radionucléides subsistent dans l'eau (bien qu'elles soient largement inférieures aux limites réglementaires) même après traitement, et le tritium n'est en aucun cas éliminé par le système ALPS.

Le système ALPS est fondamentalement un système de pompage et de filtration qui utilise une série de réactions chimiques pour éliminer les radionucléides de l'eau contaminée. Les matériaux radioactifs retirés de l'eau sont capturés dans des filtres qui sont stockés sur place dans des conteneurs spéciaux appelés Conteneurs à Haute Intégrité (HIC). Après avoir suivi le processus de traitement par ALPS, l'eau est appelée "eau traitée" ou "eau traitée par ALPS" et est ensuite stockée dans de grands réservoirs sur place (d'une capacité d'environ 1 000 m<sup>3</sup> chacun). Ces réservoirs sont tous identifiés de manière unique par des codes alphanumériques, tels que K4B.

## LE TRITIUM

Le tritium (noté <sup>3</sup>H ou <sup>3</sup>T) est un émetteur bêta de faible énergie ayant une période de décroissance radioactive de 12,3 ans. Il est classé dans le groupe des radionucléides ayant une faible radiotoxicité. C'est un radionucléide d'origine naturelle et artificielle. Il se transforme en hélium-3 par une désintégration β<sup>-</sup> suivant la réaction nucléaire :



L'électron émis emporte en moyenne une énergie cinétique de 5,7 keV, et une énergie maximale de l'ordre 18,6 keV, le reste est emporté par un antineutrino électronique (pratiquement indétectable). L'énergie particulièrement faible de l'électron rend le tritium difficile à détecter autrement que par scintigraphie. Pour ce faire, on associe l'eau tritiée à un liquide scintillant qui émettra des photons (particule formant la lumière) sous l'effet du rayonnement radioactif du tritium. Ces photons seront détectés et dénombrés, ce qui permet de calculer l'activité radioactive de l'échantillon de départ, qui sera exprimée en Bq.L<sup>-1</sup> ou Bq.kg<sup>-1</sup>.

Si on considère ce rayonnement  $\beta$  de très faible énergie et peu pénétrant (environ 6 mm dans l'air sec), il est entièrement absorbé par des feuilles de plastique, de verre et de métal, il ne peut pas traverser la couche morte de la peau. Il n'y a pas non plus d'exposition des cellules cibles de la peau car celles-ci sont situées à environ 70  $\mu\text{m}$  de profondeur alors que le rayonnement du tritium ne parcourt que 6  $\mu\text{m}$  dans l'eau (Comte, 2005).

Cette très faible énergie du rayonnement  $\beta$  fait en sorte que sa concentration d'activité par unité de masse est inférieure à celle des autres radionucléides. Par exemple, pour produire une dose de 1 gray (Gy), il faudrait environ 1 000 fois plus de désintégrations du tritium qu'avec le rayonnement alpha du polonium-210.

Néanmoins, les particules  $\beta$  du tritium ont suffisamment d'énergie pour ioniser des atomes et des molécules et l'eau tritiée, de part sa nature aqueuse, pénètre facilement dans la peau (voir l'article suivant de cette revue).

Le tritium est produit par la réaction de fission nucléaire, toutes les centrales nucléaires et installations de retraitement de combustible nucléaire du monde en rejettent, même en fonctionnement normal.

Peu d'études épidémiologiques se sont intéressées aux risques sanitaires associés au tritium. La plupart de ces études ont porté sur des travailleurs du nucléaire, et quelques-unes ont porté sur des populations voisines de sites nucléaires ou se sont intéressées aux effets potentiels liés aux retombées de tritium après les essais de bombes nucléaires des années 1950 et 60. L'ensemble des données épidémiologiques disponibles ne permet pas de montrer une relation entre l'exposition au tritium et un risque accru de cancer.

La réglementation française a défini un seuil de 100 Bq/L de tritium, au-delà duquel une investigation d'identification et quantification des radionucléides artificiels doit être entreprise afin de rechercher et supprimer les causes de la contamination.

Par ailleurs, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) recommande, sur la base des connaissances scientifiques relatives aux effets du tritium sur l'homme et l'environnement, une valeur guide de concentration dans l'eau à ne pas dépasser de 10 000 Bq/L.

Selon les prévisions de TEPCO, concernant les concentrations en tritium dans l'océan Pacifique, basées sur le modèle de dispersion marine, montrent que les concentrations estimées en tritium dans l'eau de mer dépassant 1 Bq/L sont limitées à une zone allant jusqu'à 3 km autour de FDNPS.

Les concentrations moyennes estimées en tritium dans zone de 10 km x 10 km autour du rejet (*figure 10*), pour toutes les couches d'eau, sont de 0,056 Bq/L et pour la couche de surface, de 0,12 Bq/L. Pour les expositions dues à l'occupation de la plage et à l'inhalation de l'eau de mer pulvérisée, on estime la concentration sous-jacente de tritium dans l'eau à 0,88 Bq/L.

La concentration simulée en tritium à la limite est de l'aire de simulation, est comprise entre 0,0001 et 0,0003 Bq/L. En comparaison, la concentration moyenne tritium dans l'océan Pacifique Nord entre les latitudes 30° N et 45° N est d'environ 0,04 Bq/L, et les concentrations de fond dans la mer autour de la FDNPS se situent dans la plage de 0,1 à 1,0 Bq/L. Cela signifie que la concentration de tritium dans la mer due aux rejets d'eau traitée par ALPS à la limite des eaux territoriales japonaises sera déjà inférieure à la concentration de fond en tritium dans le Pacifique Nord entre les latitudes 30° N et 45° N.

## **INSTALLATIONS POUR LE REJET DE L'EAU TRAITÉE PAR ALPS**

Un schéma des installations pour le rejet de l'eau traitée par ALPS dans la mer (Figure 7) montre que ces installations se composent de quatre composants principaux :



**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**IRSN** [DOSIMÉTRIE]

INSTITUT DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# LA RÉFÉRENCE POUR LE SUIVI DES TRAVAILLEURS EXPOSÉS

FAITES CONFIANCE  
À L'EXCELLENCE  
FRANÇAISE





**Safety SHOP** Equipements et matériels RP



**Toute la radioprotection**

**D&S** Ingénierie de la Radioprotection



**AOMARIS** Radioprotection opérationnelle



**KAIROS Formations** Formation Radioprotection



**FILDEM** Assistance Assainissement et Démantèlement



**NOS CERTIFICATIONS**



Groupe D&S, 573 avenue de l'Hermitage 30200 Bagnols sur Cèze  
04 66 39 80 73 / contact@ds-groupe.fr

- **L'installation de mesure et de confirmation (measurement and confirmation)** : L'eau à rejeter est reçue par cette installation et est homogénéisée par des agitateurs. Elle est ensuite échantillonnée par TEPCO et envoyée aux laboratoires d'analyse sur place.  
Les échantillons d'eau sont analysés pour une large gamme de radionucléides et TEPCO vérifie si l'eau traitée par ALPS contenue dans les réservoirs est prête pour le rejet (c'est-à-dire si la petite quantité de matériau radioactif restante dans l'eau, à l'exception du tritium, respecte les limites réglementaires nationales).
- **L'installation de transfert (sea water transfer pump)** : Une fois vérifiée par l'analyse, l'eau est transférée par des pompes et des tuyaux depuis l'installation de mesure et de confirmation jusqu'à l'installation de dilution. Les pompes, les tuyaux, les vannes et les autres dispositifs d'ingénierie associés à cette étape sont considérés comme faisant partie de l'installation de transfert.
- **L'installation de dilution** : Plus en aval, l'eau traitée par ALPS est mélangée avec de l'eau de mer dans une grande section de tuyauterie appelée collecteur. Le collecteur d'eau de mer reçoit de l'eau de mer de trois lignes de tuyauterie, chacune étant connectée à une pompe d'eau de mer.
- **L'installation de rejet** : Elle se compose de l'arbre vertical de rejet, du tunnel de rejet et de la sortie de rejet. Le rejet de l'eau traitée par ALPS se fait à travers un tunnel qui passe sous le fond marin à environ un kilomètre au large de la côte.



Le point de rejet identifié par TEPCO est situé dans une zone interdite à la pêche commerciale. Les paramètres opérationnels choisis pour le rejet comprennent une limite annuelle de 22 TBq de tritium et une limite de concentration de 1 500 Bq/L de tritium dans les rejets.

L'approche actuelle adoptée consiste à effectuer une série de rejets contrôlés d'eau traitée par ALPS dans la mer (des "rejets groupés") sur une période d'environ 30 ans. Pour mettre en œuvre cette approche, TEPCO a proposé des modifications dans son Plan de Mise en Œuvre (c'est-à-dire son autorisation réglementaire pour mener des activités de démantèlement), notamment la réalisation d'une évaluation de la sécurité et le développement d'une Étude d'Impact sur l'Environnement Révisée (REIA). Les détails de l'approche de rejet proposée ont été l'objet d'un examen réglementaire par l'ARN (Autorité de Régulation Nucléaire).

## L'APPLICATION DU PRINCIPE DE JUSTIFICATION

Dix principes fondamentaux de sûreté sont énumérés dans la Partie 3 du GSG (General Safety Guide de l'IAEA sur la radioprotection professionnelle) Radioprotection et sûreté des sources de rayonnements. Les trois principes généraux de radioprotection, qui ont trait à la justification, à l'optimisation de la protection et à l'application de limites de dose, sont exprimés dans les Principes de sûreté 4, 5, 6 et 10 ci-après.).

### Principe 1 : Responsabilité en matière de sûreté

La responsabilité en matière de sûreté doit incomber avant tout à la personne ou à l'organisme responsable des installations et activités entraînant des risques radiologiques.

### Principe 2 : Rôle du gouvernement

Un cadre juridique et gouvernemental efficace pour la sûreté, y compris un organisme de réglementation indépendant, doit être établi et maintenu.

**Principe 3 : Capacité de direction et de gestion pour la sûreté**

Une capacité de direction et de gestion efficace de la sûreté doit être mise en place et maintenue dans les organismes qui s'occupent des risques radiologiques et les installations et activités qui entraînent de tels risques.

**Principe 4 : Justification des installations et activités**

Les installations et activités qui entraînent des risques radiologiques doivent être globalement utiles.

**Principe 5 : Optimisation de la protection**

La protection doit être optimisée de façon à apporter le plus haut niveau de sûreté que l'on puisse raisonnablement atteindre.

**Principe 6 : Limitation des risques pour les personnes**

Les mesures de contrôle des risques radiologiques doivent protéger contre tout risque de dommage inacceptable.

**Principe 7 : Protection des générations actuelle et futures**

Les générations et l'environnement actuels et futurs doivent être protégés contre les risques radiologiques.

**Principe 8 : Prévention des accidents**

Tout doit être concrètement mis en œuvre pour prévenir les accidents nucléaires ou radiologiques et en atténuer les conséquences.

**Principe 9 : Préparation et conduite des interventions d'urgence**

Des dispositions doivent être prises pour la préparation et la conduite des interventions d'urgence en cas d'incidents nucléaires ou radiologiques.

**Principe 10 : Mesures de protection visant à réduire les risques** radiologiques existants ou non réglementés.

\*\*\*

La justification est l'un principe fondamental de la radioprotection. Elle considère que les activités générant des risques liés aux rayonnements ionisants doivent produire un bénéfice, c'est-à-dire que toute décision modifiant la situation d'exposition à la radiation doit apporter plus de bien que de mal.

Pour les situations d'exposition planifiées, la partie 3 du GSG prévoit la justification des pratiques.

**Préconisation 10**

Le gouvernement ou l'organisme de réglementation, le cas échéant, doit veiller à ce que des dispositions soient prises pour la justification de tout type de pratique et pour la révision de la justification, si nécessaire, et doit veiller à ce que seules les pratiques justifiées soient autorisées.

Cette préconisation est importante car elle interdit l'utilisation des rayonnements ionisants par exemple pour :

- Des usages frivoles, artistiques, publicitaires
- L'augmentation de l'activité dans des denrées alimentaires, des aliments pour animaux, des boissons, des cosmétiques ou d'autres marchandises ou produits quels qu'ils soient, destinés à être incorporés par ingestion, inhalation ou à travers la peau à l'organisme d'une personne ou à lui être appliqués.

Quant au paragraphe 2.11, du GSG-8 sur la *Radioprotection du public et de l'environnement*, il préconise que dans les situations d'exposition planifiées, la justification consiste à déterminer si une pratique est globalement bénéfique, c'est-à-dire si les avantages attendus pour les individus et la société résultant de l'introduction ou de la poursuite de la pratique l'emportent sur les dommages (y compris le préjudice lié à la radiation) résultant de la pratique.

Les avantages s'appliquent aux individus et à la société dans son ensemble, et incluent des avantages pour l'environnement. Le préjudice lié à la radiation ne peut être qu'une petite partie du préjudice total. La justification dépasse donc largement le domaine de la radioprotection et implique également la prise en compte de facteurs économiques, sociaux et environnementaux.

## **OPTIMISATION DE LA RADIOPROTECTION**

Un principe fondamental des normes internationales de sécurité est que la radioprotection doit offrir le plus haut niveau de sécurité qui peut raisonnablement être atteint, en tenant compte des facteurs économiques, sociaux et autres pertinents. Ainsi, les mesures de sécurité appliquées au rejet de l'eau traitée par ALPS doivent être optimisées tout au long de la durée de vie de l'activité.

Divers facteurs influençant l'optimisation de la radioprotection comprennent :

- Le nombre de personnes (travailleurs et le public) qui peuvent être exposées aux radiations,
- La probabilité qu'elles soient exposées,
- L'ampleur et la répartition des doses de radiation reçues,
- Les risques liés à l'exposition résultant d'événements prévisibles, et
- Les facteurs économiques, sociaux et environnementaux.

La Politique de base établie par le gouvernement japonais sur la gestion de l'eau traitée par ALPS indique d'appliquer le principe ALARA, aux rejets.

ALARA, qui signifie « aussi bas que raisonnablement possible », fait référence au concept de faire tout effort raisonnable pour maintenir les expositions aux radiations ionisantes aussi basses que possible compte tenu des considérations sociétales, économiques et autres pertinentes.

De plus, les normes internationales de sécurité pertinentes exigent l'établissement de contraintes de dose dans le cadre du processus d'optimisation de la protection pour toute situation d'exposition planifiée.

Une contrainte de dose doit être exprimée en termes de dose efficace annuelle et est établie pour chaque source - chaque opération ou activité planifiée, y compris le rejet autorisé de la radioactivité - qui peut contribuer à l'exposition du public.

Les contraintes de dose servent de conditions limites lors de la définition des options pour protéger les personnes et l'environnement des effets nocifs des radiations ionisantes. En tant que telles, les contraintes de dose sont le point de départ de l'optimisation de la protection et de la sécurité.

Après que des expositions se sont produites, la contrainte de dose peut être utilisée comme référence pour évaluer la pertinence de la stratégie de protection et de sécurité mise en œuvre (appelée stratégie de protection) et pour ajuster la stratégie si nécessaire.

## LIMITATION DES DOSES EN UTILISANT LES CONTRAINTES DE DOSE

L'estimation des risques pour l'homme après une exposition aux rayonnements ionisants est fondée sur la détermination d'une dose d'exposition.

Pour le rejet de l'eau traitée par ALPS, l'établissement d'une restriction prospective, liée au débit et à la dose individuelle attribuable au rejet, fournit un niveau de protection de base pour les individus les plus exposés en raison du rejet, et sert de limite supérieure à la dose dans l'optimisation de la protection pour le rejet.

Un individu qui reçoit une dose représentative des doses reçues pour les individus les plus exposés de la population est désigné sous le terme : personne représentative. Cette personne est généralement une construction hypothétique, et non un membre réel de la population. Il faut se référer au GSG-10 *Prospective Radiological Environmental Impact Assessment for Facilities and Activities* pour approfondir le sujet. Cette publication présente en détail le cadre général et les méthodes d'évaluation prospective des impacts radiologiques sur l'environnement.

Cette contrainte de dose a été établie en suivant le paragraphe 5.16 du GSG-9 *Regulatory Control of Discharges to the Environment* donnant des orientations spécifiques sur l'application des principes de radioprotection et des objectifs de sûreté associés au contrôle des rejets radioactifs provenant d'installations et d'activités, et sur le processus d'autorisation des rejets. Celui-ci prévoit, que dans des termes pratiques, les contraintes de dose doivent être choisies dans la plage de 0,1 à moins de 1 mSv par an.

L'Autorité de réglementation nucléaire (ARN) du Japon a choisi une contrainte de dose inférieure à cette plage de 0,05 mSv par an pour la personne représentative en ce qui concerne le rejet de l'eau traitée par ALPS.

Cette contrainte de dose a ensuite été utilisée dans le processus d'optimisation de la radioprotection, dont l'objectif est que toutes les expositions soient maintenues à des niveaux aussi bas que raisonnablement possible. La contrainte de dose choisie s'applique à l'exposition du public attribuable au rejet de l'eau traitée par ALPS. Elle sert de condition limite pour définir la gamme d'options dans le but d'optimiser la protection.

Cependant ces contraintes de dose ne sont pas des limites de dose (voir le **principe fondamental de sécurité n° 6** : limitation du risque pour les personnes) dans les normes internationales de sécurité. En conséquence dépasser une contrainte de dose ne signifie pas une non-conformité aux exigences réglementaires, mais cela pourrait entraîner des actions de suivi.

TEPCO a réalisé une évaluation de l'impact environnemental radiologique (REIA) pour estimer la dose à la personne représentative résultant des rejets d'eau traitée par ALPS et pour évaluer la conformité à la contrainte de dose de 0,05 mSv par an. L'ARN utilise un deuxième critère de dose en provenance de la Loi sur la réglementation des réacteurs (1 mSv par an pour une situation extrême hypothétique concernant les activités nucléaires sur le site). En conséquence, l'AIEA a conseillé que l'ensemble du site soit pris en compte lors de l'optimisation de la protection pour le rejet de l'eau traitée par ALPS.

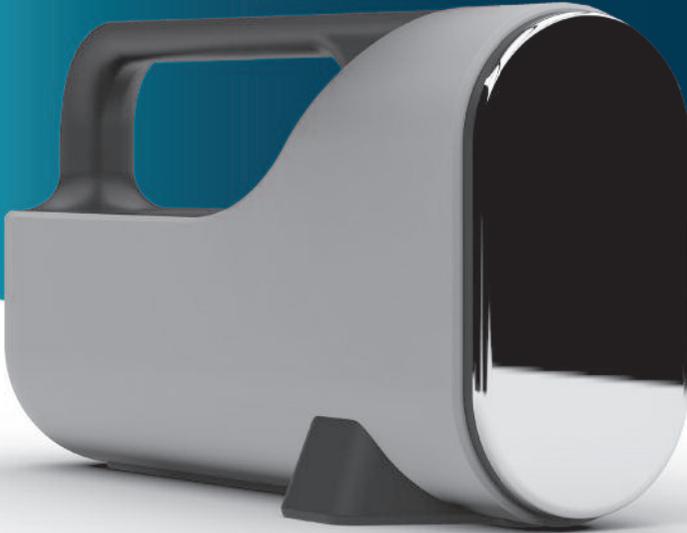
---

### Dose

*Plusieurs termes différents existent en relation avec la mesure et la notification de la "dose de radiation". La dose est définie comme "une mesure de l'énergie déposée par les radiations dans une cible".*

# SPID-X

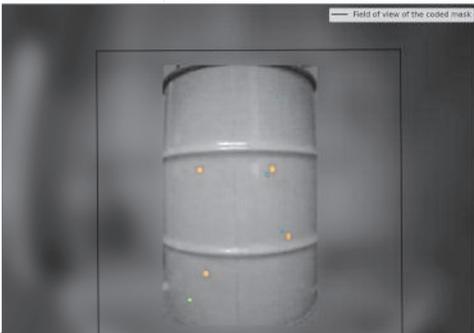
## Nouveau spectro-imageur gamma large bande



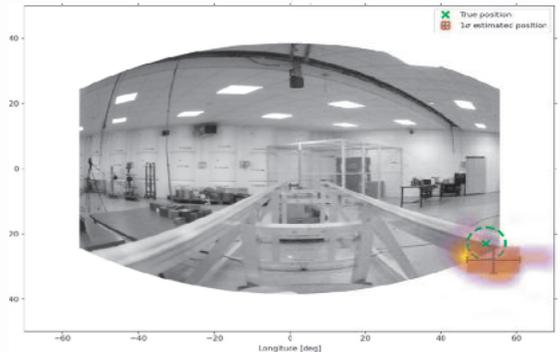
Une solution innovante, fruit d'un travail commun entre le CEA et 3D PLUS, pour offrir une caractérisation radiologique gamma simple, précise et efficace.

### Principales caractéristiques

- Identification des sources gamma avec indice de confiance
- Dosimétrie
- Localisation des sources gamma
- Fonctionnement de 10 keV à 1500 keV



Localisation de sources Am-241 (orange) et Eu-152 (vert) en fût de déchets radioactifs.  
Résolution spatiale = 1°



Localisation de Cs-137



Ce concept est utilisé lorsqu'on examine comment les radiations ionisantes affectent les personnes. Il existe de nombreux concepts de dose différents qu'il est important de comprendre, tels que :

- **La dose absorbée** est la quantité de base en dosimétrie. Il s'agit de l'énergie totale déposée par les radiations ionisantes dans un volume donné de tissu, divisée par la masse de ce tissu. L'unité de dose absorbée est le joule par kilogramme et porte le nom de Gray (Gy).
- **La dose efficace** est la dose absorbée multipliée par un facteur de pondération des radiations ( $w_R$ ) pour le type de radiation et un facteur de pondération des tissus ( $w_T$ ) qui reflète les sensibilités relatives des organes et des tissus. L'unité de dose efficace est le Sievert (Sv).
- **La dose efficace engagée** est la somme de la dose efficace due à l'exposition externe et de la dose efficace due à l'absorption de radionucléides (c'est-à-dire à l'exposition interne par ingestion et inhalation).

Aux fins du calcul de la dose due à l'absorption de radionucléides dans le corps, on suppose qu'un adulte a 20 ans au moment de l'absorption et que la dose calculée est la dose de radiation au corps sur une période de 50 ans (c'est-à-dire une dose engagée jusqu'à l'âge de 70 ans). On suppose que les enfants ont 10 ans et les nourrissons 1 an au moment de l'absorption ; la dose de radiation engagée au corps étant calculée pour 60 ans et 69 ans, respectivement (c'est-à-dire jusqu'à l'âge de 70 ans).

La dose efficace engagée est la dose calculée dans la REIA.

---

La REIA fournit une estimation de la dose efficace engagée pour la personne représentative (adulte, enfant et nourrisson), allant de 2 à 40.  $10^{-6}$  mSv/an. Les résultats sont bien inférieurs à la contrainte de dose de 0,05 mSv par an. De plus, les résultats sont nettement en dessous du seuil accepté de 0,01 mSv en dessous duquel il n'est généralement pas recommandé de procéder à une optimisation. Ces résultats sont largement dus aux limites fixées par le gouvernement japonais pour le rejet de l'eau traitée par ALPS, tant en termes de concentration de tritium que de limite annuelle de rejet de tritium. Cet impact est aussi minimisé par une concentration maximale autorisée de tritium (1 500 Bq/L) pour le rejet et une limite annuelle totale de rejet de tritium (22 TBq par an).

La décision de rejeter ou non l'eau tritiée dans l'océan pacifique relève de la responsabilité du gouvernement japonais. Néanmoins, celui-ci a demandé à l'AIEA de passer en revue l'application des normes internationales de sécurité pertinentes pour le rejet de l'eau traitée par ALPS dans la mer. Cet examen a abouti à un rapport.

## RAPPORT DE L'AIEA

Le 4 juillet dernier, L'AIEA a publié un rapport complet sur l'examen de la sûreté de l'eau traitée par l'ALPS à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi.

L'AIEA a conclu que la démarche adoptée par le Japon et ses activités de rejet de l'eau traitée par l'ALPS sont conformes aux normes internationales de sûreté pertinentes. Les rejets contrôlés et progressifs de l'eau décontaminée dans la mer, tels qu'ils sont actuellement planifiés et évalués par la TEPCO, auraient un impact radiologique négligeable sur la population et l'environnement.

## LE PROGRAMME DE SURVEILLANCE

En parallèle des rejets, la TEPCO transmet à l'AIEA des données provenant de différents points de contrôle du processus et l'AIEA les diffuse sur son site Internet en quasi temps réel. Les données fournies portent notamment sur les débits d'eau, les données de contrôle radiologique et la concentration de tritium après dilution.

La Figure 7 montre un exemple à partir d'un graphe qui simplifie le process. On peut y voir différentes cuves, tuyaux et des points de contrôle.

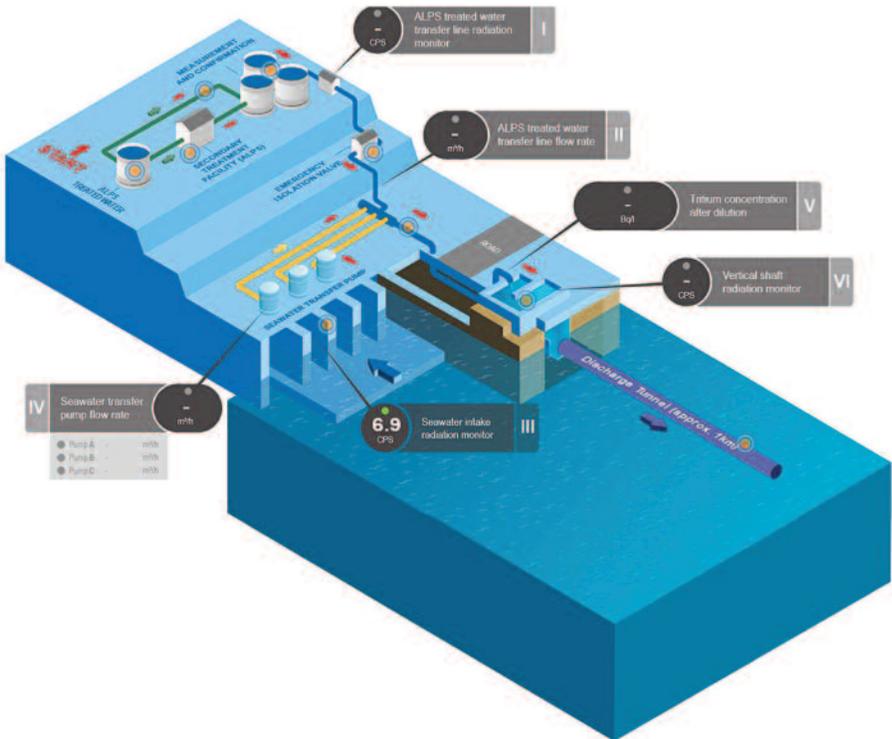


Figure 7 - Schéma des installations pour le rejet de l'eau traitée par ALPS dans la mer. Les points I à VI sont des points de contrôle.

**Vert** - une valeur numérique et un point vert indiquent que cet aspect du système de décharge fonctionne actuellement et que les données rapportées par TEPCO à l'AIEA sont conformes aux niveaux attendus.

**Gris** - un point gris indique que cet aspect du système de décharge ne fonctionne pas actuellement. Cela ne signifie pas un problème, mais plutôt qu'un aspect du système n'est pas actuellement "en ligne". Cela peut être dû à une maintenance de routine ou à des considérations opérationnelles (par exemple, seulement une des trois pompes est réellement en cours d'utilisation).

**Rouge** - une valeur numérique et un point rouge indiquent que les données rapportées par TEPCO à l'AIEA sont à un niveau anormal, ce qui a nécessité une action de la part de TEPCO.

L'AIEA surveillera l'état et le fonctionnement de l'équipement installé dans le cadre de sa présence continue sur le site.

- I Au niveau des pompes de transfert, on mesure l'efficacité du traitement de l'eau par l'ALPS grâce à l'activité (coup par seconde ou Bq). Quand il est vert, il indiquera que le niveau de radiation n'est pas à un niveau non attendu. S'il est rouge, il indiquera le niveau est anormalement élevé. Dans cet exemple, il est gris, ce qui signifie qu'il n'est pas opérationnel pour l'instant.
- II Il s'agit de la ligne de transfert de l'eau. Le schéma montre le débit d'eau en m<sup>3</sup>/h lorsqu'il est en fonctionnement de l'eau tritiée qui sera plus en aval diluée.
- III A ce point, on mesure l'activité à l'admission de l'eau de mer au niveau des pompes.
- IV On mesure le débit en m<sup>3</sup>/h de l'eau de mer pompée pour la dilution.
- V Ici on peut mesurer le tritium après dilution. Pour rester au vert, l'activité doit rester inférieure à 1500 Bq/L.
- VI Un détecteur de rayonnement à puits vertical, conçu pour être utilisé dans des puits ou des forages verticaux afin de surveiller les niveaux de rayonnement dans des environnements souterrains, tels que les mines, les tunnels, mesure l'activité de l'eau qui va être relâchée dans un tunnel qui passe sous le fond marin, à environ un kilomètre au large de la côte de FDNPS. L'installation de libération comprend un puits vertical de décharge, un tunnel de décharge et une sortie de décharge (Figure 8), et elle est conçue pour transférer l'eau qui s'écoule au-dessus du mur de séparation (barrage qui sépare le réservoir en amont du réservoir en aval) dans le puits vertical de décharge vers la sortie, en utilisant la différence de hauteur entre l'eau dans le puits vertical de décharge (réservoir en aval) et la surface de la mer. Le tunnel de décharge traverse un substrat rocheux stable pour minimiser le risque de fuite et améliorer la résistance aux séismes. De plus, la sortie de décharge est située dans une zone où la pêche commerciale n'est pas régulièrement pratiquée (Figure 9).

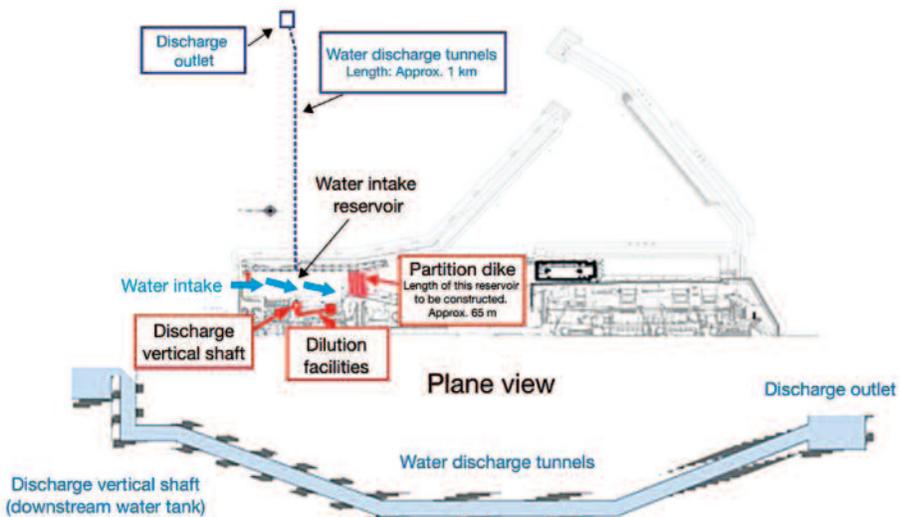


Figure 8

En plus d'assurer la surveillance en direct, l'AIEA a ouvert un bureau permanent et poursuivra son examen de la sûreté pendant la phase de rejet par une présence continue sur le site afin de garantir que les normes de sécurité sont respectées.

(Suite de l'article page 31)



D'OÙ VIENT LE  
RAYONNEMENT ?

**HTDS**  
Hi-Tech Detection Systems

INSTRUMENTATION  
**NUCLÉAIRE**  
& RADIOPROTECTION

■ **Contrôles  
et mesures radiologiques**

Spéctromètres gamma et alpha /  
Dosimètres / Radiamètres /  
DéTECTEURS de neutrons ...



■ **Décontamination de sites**

Spectromètres gamma mobiles /  
Caméras gamma / Logiciels adaptés /  
Contaminamètres...



■ **Sûreté nucléaire**

Portiques, véhicules et balises  
de radioprotection



Des solutions de contrôle et un service sur mesure  
Conseil / Installation / Formation / Maintenance

Maîtrisez **vos**re nucléaire !

Suivez  
nous !



HTDS : 3 rue du Saule Trapu - 91 300 Massy - Tel : +33 1 64 86 28 28  
Fax : +33 1 69 07 69 54 - Mail : info@htds.fr - Site : www.htds.fr



## 29 ANS D'EXPERTISE

AU SERVICE DE LA DÉTECTION ET DE LA MESURE DE LA RADIOACTIVITÉ

### Préleveurs d'aérosols fixes et mobiles

- **FHT 59 Si** (balise fixe) et **FHT 58 L** (balise mobile) mesurent l'activité volumique  $\alpha$  /  $\beta$  des aérosols dans l'air.
- **DF-ABM-40L-AC** est un préleveur d'aérosols avec un débit de prélèvement de 40 LPM maximum pour l'analyse à postériori de la contamination atmosphérique en intérieur ou extérieur.



Dosimètres

Radiamètres

Contaminamètres

Spectromètres

Balises de surveillance

Préleveurs aérosols

Portiques de détection

Systèmes de surveillance

Formations

Vérifications périodiques

Maintenance

...



Balise aérosols  
FHT 59 Si



Balise aérosols  
FHT 58 L



Préleveur aérosols  
DF-ABM-40L-AC



**TOUS** nos dosimètres\*  
conçus et produits en France  
répondent à  
**TOUTES** les normes\*\*  
et sont **TOUS** testés  
par des laboratoires  
**INDÉPENDANTS**\*\*\*

\* Prestations de service de dosimétrie poitrine, poignet, cristallin, doigt et ambiance avec dosimètres IPLUS, NEUTRAK, MONOBAGUE et VISION hors dosimètres de criticité

\*\* EN 62387:2016 – Systèmes dosimétriques intégrés passifs pour la surveillance de l'individu et de l'environnement des rayonnements photoniques et bêta – Instrumentation pour la radioprotection  
ISO 21909-1:2015 – Dosimètres individuels passifs pour les neutrons – Exigences de fonctionnement et d'essai

\*\*\* Caractérisations des dosimètres réalisées par deux laboratoires indépendants de référence : le Laboratoire National Henri Becquerel (LNHB) – CEA et le National Physical Laboratory (NPL) au Royaume-Uni

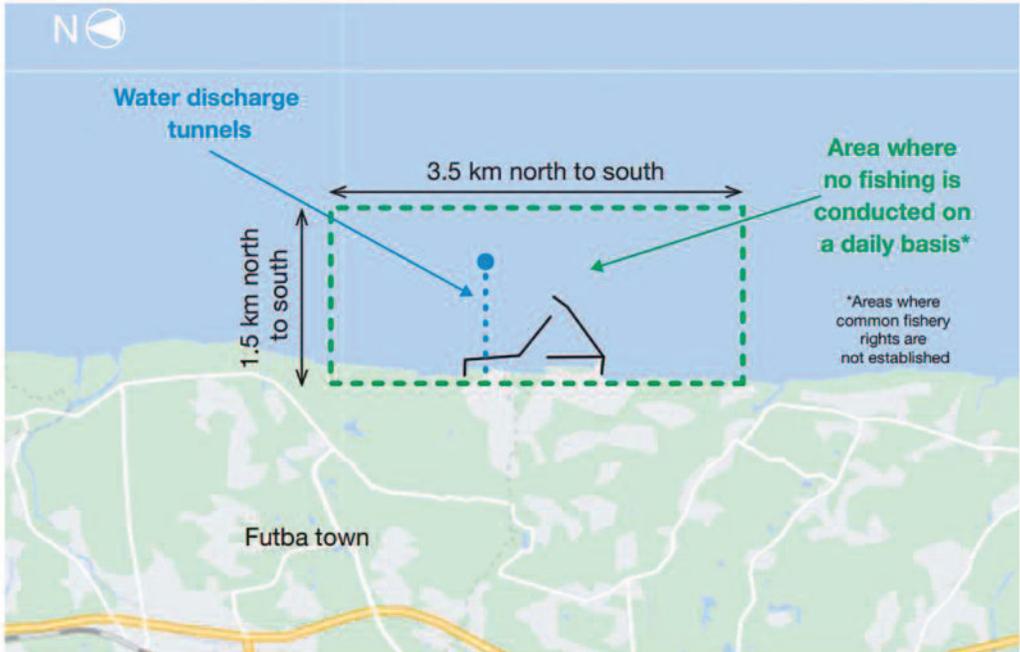


Figure 9

Le système de rejet est également conçu pour permettre un arrêt manuel basé sur la considération de phénomènes naturels par l'opérateur. Par exemple, un opérateur interrompra manuellement le processus en cas d'avis de tsunami, de vigilance aux vents dangereux ou d'avertissement de marée haute.

## LE RÔLE DE L'AIEA

Les experts observeront les activités sur le site liées au rejet de l'eau traitée par l'ALPS, notamment le prélèvement d'échantillonnage et les mesures, les contacts avec la TEPCO et des fonctionnaires de l'Autorité de réglementation nucléaire (ARN) du Japon. En outre, l'AIEA organisera périodiquement des missions d'examen pour observer les activités sur le site et demander aux autorités japonaises des mises à jour et des données supplémentaires.

Les activités de corroboration indépendantes de l'AIEA se poursuivront également pendant toute la durée du rejet, qui devrait s'étendre sur des décennies et mobiliser les laboratoires de l'AIEA ainsi que des laboratoires tiers. Au fil du temps, l'AIEA présentera les résultats de cette corroboration indépendante de contrôle radiologique des sources et de l'environnement, ainsi que les résultats de sa corroboration des capacités des services japonais de contrôle radiologique individuel pour la radioprotection professionnelle. Les résultats sont publiés sur le site web afin que les parties intéressées puissent accéder plus facilement aux données pertinentes.

« Mises bout à bout, ces activités permettront de dresser un tableau complet des activités menées à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi en rapport avec les rejets de l'eau traitée par l'ALPS et de déterminer si ces activités sont conformes aux normes internationales de sûreté pertinentes », a déclaré Gustavo Caruso, directeur et coordonnateur de l'examen de la sûreté du Système avancé de traitement des liquides (ALPS) à l'AIEA et chef de l'équipe spéciale. « Les données fournies par la TEPCO, et publiées autant par la TEPCO que par l'AIEA, ne sont qu'un élément de l'approche globale de surveillance et de l'examen continu de la sûreté mise en œuvre par l'AIEA. »

## EVALUATION DE L'EXPOSITION DE LA PERSONNE REPRESENTATIVE

Pour estimer les doses d'exposition de la personne représentative, TEPCO a utilisé un modèle de dispersion marine lui permettant de calculer les concentrations d'activité dans l'eau de mer dans une zone de 10 km x 10 km autour du point de rejet (*figure 10*). Il a été pris en compte que les individus pourraient pêcher une petite proportion de leur consommation de poissons et de fruits de mer sur les plages locales. Le calcul a indiqué que la dose pour un adulte pourrait augmenter d'environ 20 % si 10 % de leur consommation poissons et de fruits de mer provenait de la pêche locale.

Nous avons vu précédemment que la dose efficace individuelle pour la personne représentative est la somme de la dose efficace engagée due aux prises de radionucléides (c'est-à-dire à l'exposition interne par ingestion et inhalation) et de la dose efficace due à l'exposition externe.

Pour l'exposition interne, les calculs utilisent les coefficients de dose des prises de radionucléides, qui fournissent la dose efficace engagée par unité d'incorporation e(g), exprimée en sieverts par becquerel (Sv/Bq). Celles-ci sont fournies dans le tableau III. A de la Partie 3 du GSR.

La dose efficace engagée (calculée pour la personne représentative) est la dose annuelle la plus élevée qui pourrait être attendue sur la période des rejets. Celle-ci est comparée à la contrainte de dose de 0,05 mSv par an.

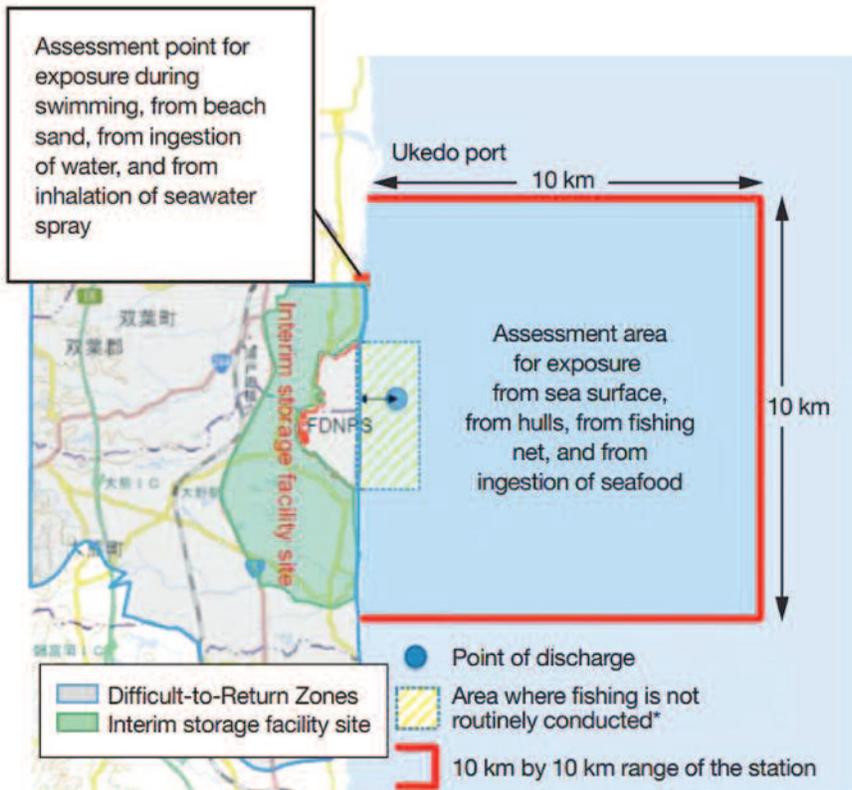


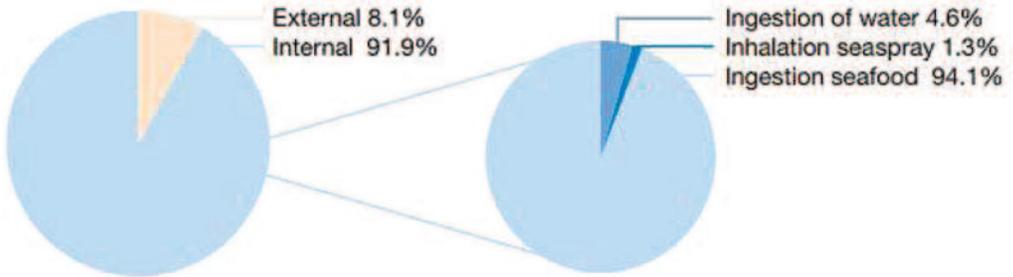
Figure 10 – Localisation de la personne représentative au moment des opérations de rejet 10 km x 10 km autour du point de rejet

Ces concentrations d'activité dans l'eau de mer ont servi de base pour tous les calculs de doses pour la personne représentative.

Les résultats présentent les doses efficaces engagées calculées en fonction de l'âge et des principales voies d'exposition, en se basant sur la source pour le groupe de réservoirs d'eau traitée par ALPS dans la zone K4 du site nucléaire. La Figure 11 montre que la contribution de l'exposition interne représente environ 90 % de la dose totale pour tous les groupes d'âge et que l'ingestion de produits de la mer contribue entre 92 % et 99 % de la dose interne. Les résultats pour les autres groupes de réservoirs considérés sont très similaires (figure 12).

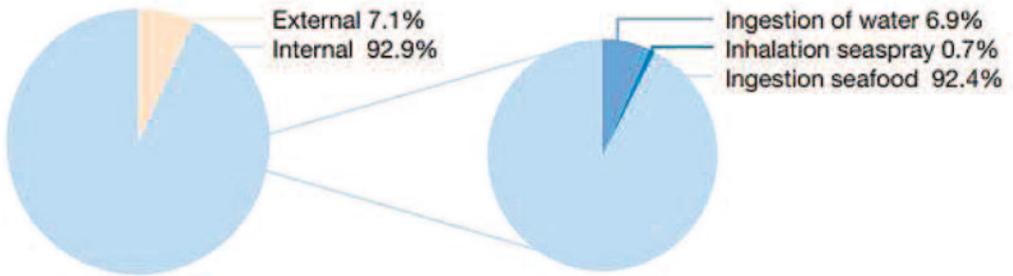
**ADULT**

Total dose = 0.008 µSv



**CHILD**

Total dose = 0.009 µSv



**INFANT**

Total dose = 0.008 µSv

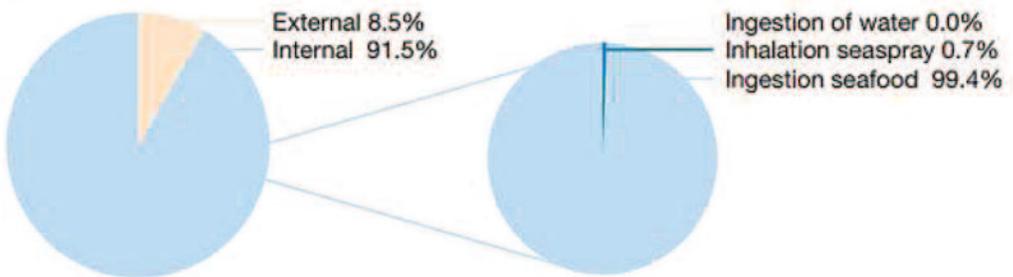
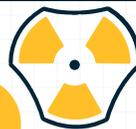
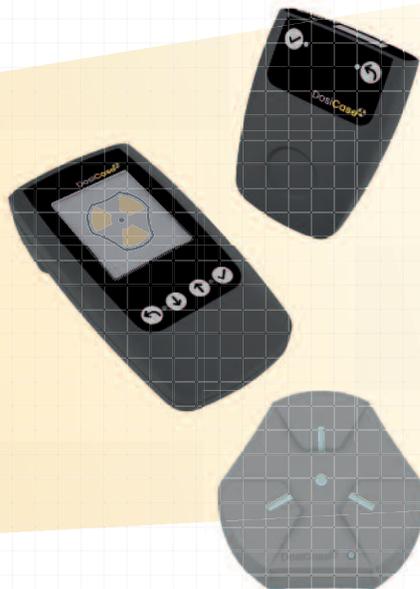


Figure 11 - Contribution des voies d'exposition à la dose efficace engagée pour les consommateurs importants de produits de la mer en fonction du groupe d'âge (groupe de réservoirs d'eau traitée K4 d'ALPS)

# DosiCase



POUR LA FORMATION DES PERSONNELS SOUMIS AUX RISQUES D'IRRADIATION ET POUR LA PRÉPARATION D'INTERVENTIONS DOSANTES



L'environnement de simulation **DosiCase®** est équipé de Dosimètres individuels, de Sources d'émission de rayonnement et de Radiamètres.

Notre simulateur permet d'éviter la manipulation de sources radioactives réelles par les apprenants et les formateurs.

La solution **DosiCase®** offre l'opportunité de réaliser une grande diversité de scénarii grâce à l'application dédiée.



## nucleo SIM



Navigation intuitive et rapidité de démarrage



Système de gestion des simulations et des favoris



Interface repensée pour un débriefing dynamique



Inventaire et mise à jour des équipements à distance

NOUS SERONS PRÉSENTS AU  
WORLD NUCLEAR EXHIBITION

Stand C029, Pavillon France.



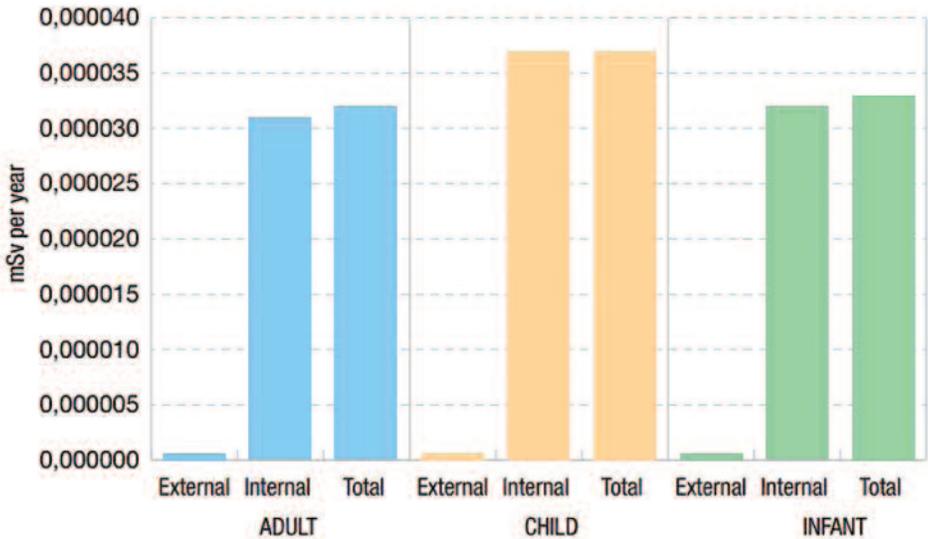


Figure 12- Dose efficace engagée en fonction de l'âge et de la voie d'exposition (groupe de réservoirs d'eau traitée K4 d'ALPS).

## POURRA-T-ON CONTINUER A MANGER DES SUSHIS ?

En France, il y a peu de chances que la population soit concernée par les rejets de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi. En effet, le poisson que nous consommons est essentiellement du poisson d'élevage ou s'il est pêché, provient rarement de l'océan pacifique. Pour les pêcheurs japonais redoutant un préjudice pour leur image, il en va autrement.

TEPCO a suivi une méthodologie d'évaluation de l'impact sur la flore et la faune fournie dans les normes internationales de sécurité, en accord avec l'approche de la CIPR pour la protection des différents écosystèmes dans l'environnement. Conformément à cette approche, trois espèces sont utilisées comme références pour la protection de l'environnement marin. L'approche conceptuelle est que si les critères pour ces trois espèces de référence ne sont pas dépassés, alors toutes les espèces peuvent être considérées comme également bien protégées, au niveau de leurs populations (en particulier pour les situations d'exposition planifiée). Les trois espèces de référence près de la centrale sont les suivantes :

- Les poissons plats (les limandes habitent largement la zone marine autour de la FDNPS).
- Les crabes (les crabes *Ovalipes punctatus* et *Portunus trituberculatus* habitent largement la zone marine autour de la FDNPS).
- Les algues brunes (les sargasses et les algues *Eisenia bicyclis* habitent largement la zone marine autour de la FDNPS).

Les valeurs suivantes ont été trouvées :

Radiological Impact Assessment on animals and plants in the sea	International Safety Standards	Assessment results
Flatfish	1-10 mGy/day	$0.7 \times 10^{-6}$ mGy/day
Crab	10-100 mGy/day	$0.7 \times 10^{-6}$ mGy/day
Brown seaweed	1-10 mGy/day	$0.8 \times 10^{-6}$ mGy/day

Ces valeurs sont largement inférieures au Niveau de Référence de Considération Dérivée (DCRL) fourni à titre d'exemple dans les normes internationales de sécurité et établi par la CIPR.

## PAYS VOISINS

Dès le début du travail pour évaluer la sécurité de la libération d'eau, l'AIEA a collaboré activement avec la République de Corée (ROK) et d'autres pays pour les tenir informés des activités importantes à cet égard.

Ainsi, l'AIEA s'est engagée à informer régulièrement la ROK de la libération d'eau traitée dans l'océan, conformément à un accord qui souligne l'importance de la transparence pour répondre aux préoccupations du public dans le pays. Pour atteindre cet objectif, les deux parties ont convenu de mettre en place le Mécanisme d'Information Fukushima AIEA-ROK (IKFIM) quelques jours avant que le Japon ne commence à rejeter l'eau traitée et diluée, fournissant un cadre pour transmettre les informations.

Pour ce faire, les deux parties prévoient de tenir une visioconférence à intervalles réguliers. Des experts sud-coréens seront aussi autorisés à se rendre au bureau de l'AIEA, en cas de détection de signes anormaux dans le déroulement du projet japonais.

Cependant, pour la Chine, ces rejets restent inquiétants. Tokyo accuse Pékin de « susciter inutilement l'inquiétude de la population » en fournissant des informations dépourvues de tout fondement scientifique et a appelé le Japon à abandonner son projet, le qualifiant de très égocentrique et irresponsable. La Chine lui reproche de traiter l'océan Pacifique comme un « égout ». En réaction, Pékin a pris des mesures de rétorsion dès juillet dernier, en interdisant les importations de produits alimentaires en provenance de dix préfectures japonaises, y compris Fukushima, et en effectuant des contrôles de radiation sur les produits alimentaires en provenance du reste du pays.

Selon Antoine Bondaz, spécialiste de la Chine l'objectif est simple: convaincre la population chinoise et une partie de l'opinion publique étrangère qui est inquiète et n'a pas accès à des sources d'informations fiables. De façon à forcer Tokyo à revenir à une attitude plus neutre à son égard et à cesser de se rapprocher des États-Unis.

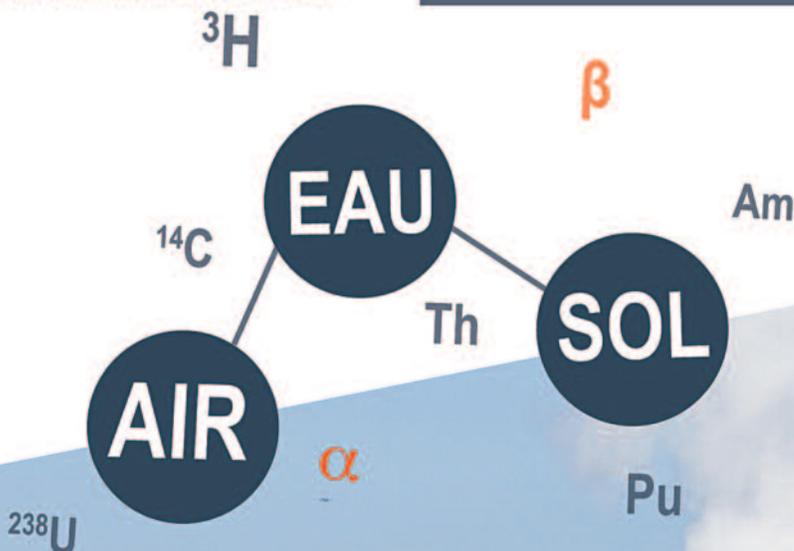
Bien heureusement les lecteurs de RAYONNEMENTS IONISANTS peuvent prendre la mesure de ces déclarations.



Etat du site de Fukushima Daiichi sur la commune d'Okuma avant l'accident. De gauche à droite les unités 4, 3, 2 et 1 au fond 5 et 6 – Source <https://www.kuna.net.kw/>

Sources : AIEA - Le Parisien - Wikipedia - IRSN





# ÉCHANTILLONNAGE ET DÉTECTION DES RADIONUCLÉIDES



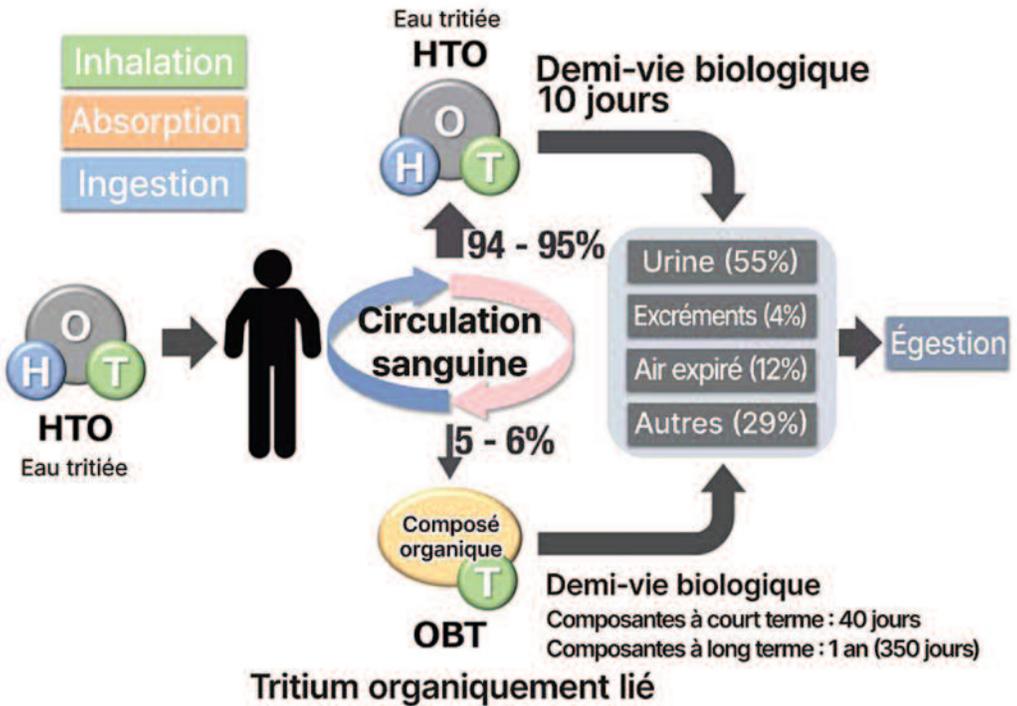


Figure 1- Vue d'ensemble de la demi-vie biologique du tritium - Source : <https://fukushima-updates.reconstruction.go>

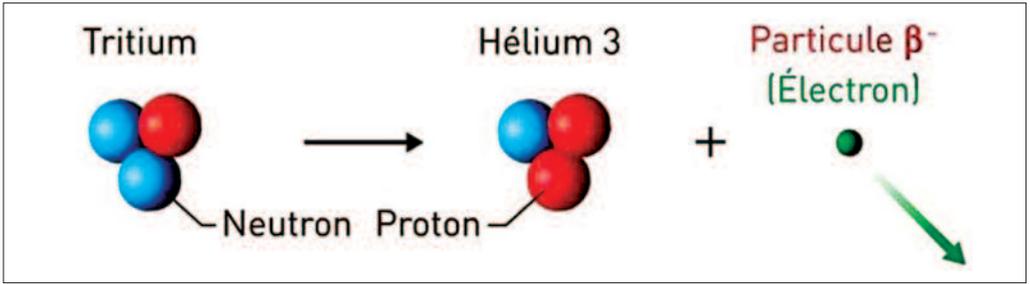
L'hydrogène est un des éléments majeurs à la surface de la Terre. Il est présent partout. C'est un élément essentiel à la vie, qu'il soit sous forme d'eau ou de molécules organiques.

Le tritium est un radionucléide d'origine naturelle (inventaire permanent de 3,5 kg à l'échelle planétaire, avec une production naturelle mondiale d'environ 200 g par an) mais aussi largement produit par les activités humaines depuis la seconde moitié du 20ème siècle. En particulier, de grandes quantités de tritium ont été relâchées dans l'atmosphère durant la période des essais aériens d'armes nucléaires, entre 1945 et 1980. Le tritium émis lors des explosions nucléaires est à l'heure actuelle principalement localisé dans les océans, la quantité ayant fortement diminué du fait de la décroissance radioactive. L'industrie nucléaire (réacteurs de puissance, réacteurs expérimentaux, usines de traitement de combustibles irradiés) continue, de manière localisée, à rejeter du tritium dans l'environnement.

## PROPRIETES

Le tritium (T ou  $^3\text{H}$ ) est l'isotope radioactif de masse 3 de l'hydrogène. C'est le seul isotope naturel radioactif de l'hydrogène. Il est actuellement parmi les principaux radionucléides émis dans l'environnement par les industries nucléaires.

Sa demi-vie est de 4500 jours  $\pm$  8 jours (soit 12 ans et 4 mois) et le tritium émet en se désintégrant un rayonnement  $\beta^-$  de faible énergie (Emoyenne= 5,7 keV et Emax = 18,6 keV) et un atome d' $^3\text{He}$ , isotope stable de l'hélium :



Son activité massique est de 358 TBq.g<sup>-1</sup>.

Le tritium émet exclusivement un rayonnement β<sup>-</sup>, et donc n'émet pas de rayonnement gamma. Il est important de le souligner car les énergies de ses électrons (β<sup>-</sup>) sont représentées par un spectre d'énergie continu montré dans la figure 2. Ce spectre va de zéro à 18,6 KeV.

Alors que les photons gamma sont caractérisés par des raies d'énergie propres aux nucléides, le tritium, s'il est mélangé à d'autres nucléides émetteurs β, devient extrêmement difficile à caractériser.

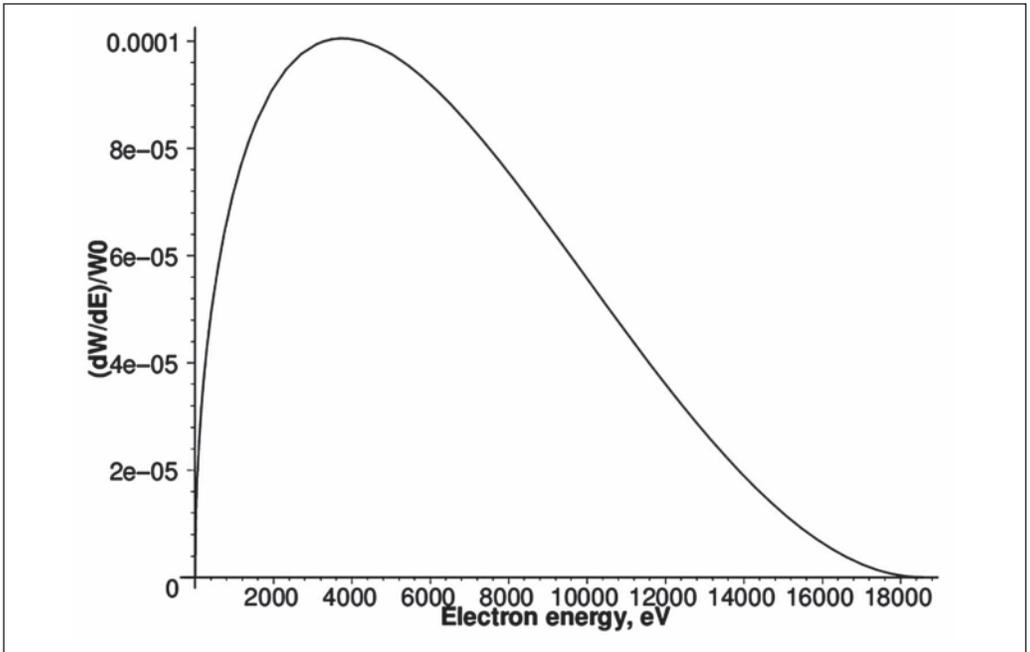


Figure 2 - Energie cinétique des rayons bêta du tritium

Enfin, de tous les émetteurs bêta purs, le tritium est celui qui possède la plus faible énergie maximale. Par exemple, cette énergie pour le carbone-14 est de 156 keV, 546 keV pour le strontium-90 et de 714 keV pour le chlore-36

## EXPOSITION INTERNE

Compte tenu de la nature et de la faiblesse de son rayonnement, le tritium conduit uniquement à une exposition interne. Celle-ci intervient essentiellement après ingestion d'eau tritiée ou de molécules organiques tritiées ou encore par inhalation et par absorption cutanée, surtout pour les travailleurs du nucléaire.

Le tritium a les mêmes propriétés chimiques que les isotopes stables de l'hydrogène. Il peut donc intégrer toute molécule. Avec une différence de masse importante (facteur 3), mais un rayon atomique voisin : rayon de Van der Waals = 1,09 nm , la question de la discrimination isotopique du tritium par rapport aux autres isotopes de l'hydrogène est une question d'actualité, qui anime la communauté scientifique.

Cependant ses propriétés physiques peuvent être différentes :

	H <sub>2</sub> O	D <sub>2</sub> O	HTO	T <sub>2</sub> O
Densité maximale (g cm <sup>-3</sup> )	1,000	1,106		1,215 (1)
Masse molaire (g mol <sup>-1</sup> )	18,0153	20,0275 (2)	20,0235	22,0315
Température de fusion (°C)	0,00	3,81	4,48	4,48
Température d'ébullition (°C)	100,00	101,42	101,51	101,52 (1)
Point triple (°C)	0,01	3,82	2,25	4,49 (1)
pH à 25°C	7,00	7,41		

(1) (Belovodski *et al.*, 1985) - (2) (CRC, 2008)

## DEMI-VIE BIOLOGIQUE DE L'EAU TRITIÉE

La "demi-vie biologique" de l'eau tritiée (*Figure 1*) est le temps nécessaire pour que la moitié de la quantité initiale de tritium soit éliminée ou désintégrée à l'intérieur de notre organisme. Cela signifie que si nous avons ingéré de l'eau tritiée, une partie de cette substance radioactive sera progressivement éliminée de notre corps.

Cette demi-vie biologique est d'abord fonction de la demi-vie biologique de l'eau.

On estime ainsi que la demi-vie biologique de l'HTO dans le corps humain peut être décrite par la somme d'au moins 2 composantes. Selon la CIPR, la première composante chez l'adulte a une période de 10 jours, comme l'eau.

Elle concerne l'eau tritiée restant sous la forme d'eau libre (c'est-à-dire liée à d'autres substances ou molécules), soit 97 % de l'eau tritiée absorbée.

La deuxième a une période de 40 jours. Elle est relative à l'eau tritiée ayant conduit à la synthèse de matière organique tritiée (donc 3 %) dont l'anabolisme conduit de nouveau à de l'eau tritiée.

Une troisième composante est évoquée par certains auteurs et correspondrait à 1 % de l'eau tritiée absorbée qui serait intégrée dans des molécules organiques à vie plus longue et dont la demi-vie biologique pourrait être de 280-550 jours.

La CIPR a d'ailleurs publié en 2007 un document pour discussion (ICRP, 2007) dans lequel étaient repris un modèle proposé par Taylor (2003). Dans ce modèle, après l'ingestion d'eau tritiée, 99 % du tritium a une demi-vie de 10 jours, 0,98 % a une demi-vie de 40 jours et la troisième composante correspondrait à 0,02 % du tritium ingéré et aurait une demi-vie de 350 jours.

## LES EFFETS BIOLOGIQUES

Les effets biologiques du Tritium à l'échelle moléculaire ne se distinguent pas des effets communément admis pour les radiations ionisantes.

Mais il existe un débat sur son Efficacité Biologique Relative (EBR).

L'EBR compare la dose du rayonnement standard (ou de référence) à la dose produite par le rayonnement considéré (de test) pour produire un même effet biologique spécifique.

Historiquement, le rayonnement standard a été défini pour les rayons X de 250 kV, mais actuellement il est recommandé d'utiliser les rayons  $\gamma$  de cobalt-60. L'EBR est défini par le rapport (> 1 par définition) suivant :

**SÉCURITÉ et  
RADIOPROTECTION**

**MESURES NUCLÉAIRES**  
in situ ou en laboratoire

**MAINTENANCE et  
LOCATION** de matériels  
de radioprotection

**CONTRÔLE  
VENTILATION**



— L'innovation au cœur de notre ADN —

ARREX, robot de cartographie radiologique

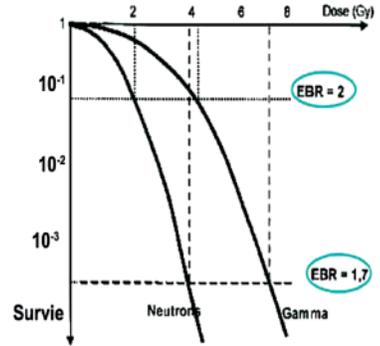
ATRON Metrology, accélérateur d'électrons et cible amovible en X  
pour la vérification d'étalonnage des radiamètres

Spectre réaliste | Débit de dose ajustable | Large gamme en énergie | Immobilisation réduite du matériel

$$\text{EBR} = \frac{\text{Dose du rayonnement de référence pour produire un effet biologique}}{\text{Dose du rayonnement considéré pour produire le même effet biologique}}$$

L'EBR d'un rayonnement dépend du type de rayonnement (donc du TLE, c'est-à-dire du transfert linéique d'énergie), du type de cellule ou de tissu, de l'effet biologique étudié, de la dose, du débit de la dose et du fractionnement de la dose.

Ci-contre, nous vous présentons un exemple de valeurs d'EBR avec deux niveaux de survie différents (deux effets différents). L'EBR est toujours défini par rapport à un effet biologique donné et il n'est pas donc le même pour une qualité de rayonnement donné pour tous les effets.



La question sur l'EBR du tritium provient du fait que celui-ci présente quelques spécificités dont voici les grandes lignes.

Le parcours des électrons est très court (inférieur au diamètre de la cellule et même du noyau cellulaire) et la densité d'ionisation élevée (TLE élevé, Figure 3, Figure 4). En conséquence, lorsque les molécules tritiées se trouvent dans le noyau cellulaire, elles sont susceptibles de provoquer des dommages « en grappe » au niveau de l'ADN (Figure 5), rendant possible une altération irrémédiable de l'ADN.

	Radiation incidente	Radiation absorbée	Radiation transmise
Charge	Charge +1		Le TLE augmente avec la charge de la particule incidente.
	Charge +2		
Vitesse	Électron rapide		Le TLE augmente si la vitesse de la particule diminue.
	Électron lent		
Masse	Électron		Le TLE augmente avec la masse de la particule incidente.
	Proton		

● Neutron   ● Proton   ○ Électron   ☆ Ionisation

Figure 3- TLE et caractéristiques de la particule incidente. Dans le cas des particules chargées, le transfert linéique d'énergie (TLE) varie considérablement selon les caractéristiques de la particule incidente : il est directement proportionnel à sa masse et au carré de sa charge, et inversement proportionnel au carré de sa vitesse. Ici, on met en relation le TLE avec la charge, la vitesse et la masse - Extrait de Radioprotection en radiodiagnostic – 3e édition, page 69

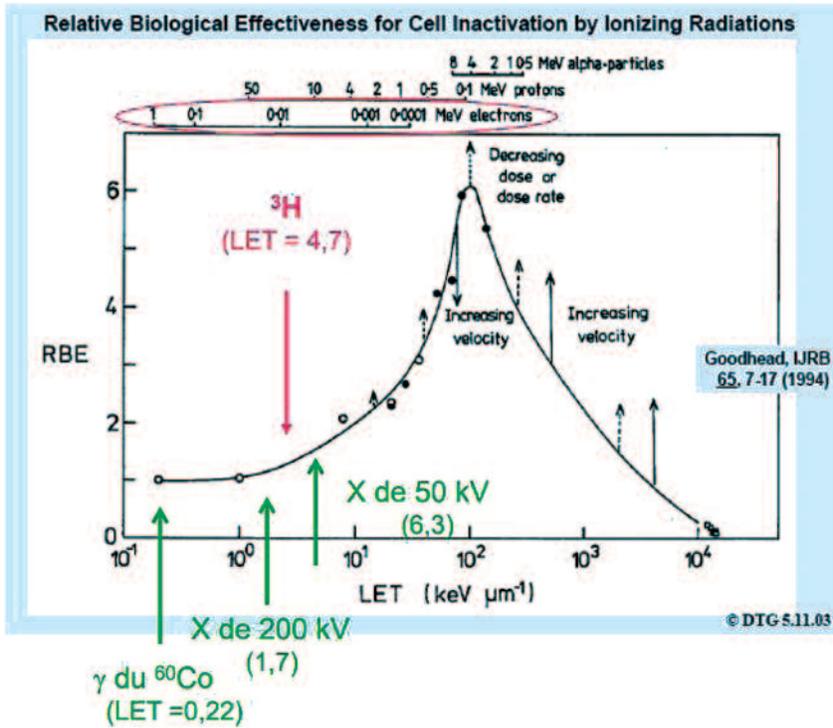


Figure 4 – EBR relative à différents types de rayonnements ionisants – Source IRSN

Le pouvoir d'arrêt électrons (TLE) augmente à mesure que leur énergie diminue. Les électrons de faible énergie comme c'est le cas pour le tritium, ont des densités d'ionisation supérieures aux électrons de plus forte énergie et aux électrons mis en mouvement par l'interaction des photons X ou  $\gamma$  avec la matière (Figure 4).

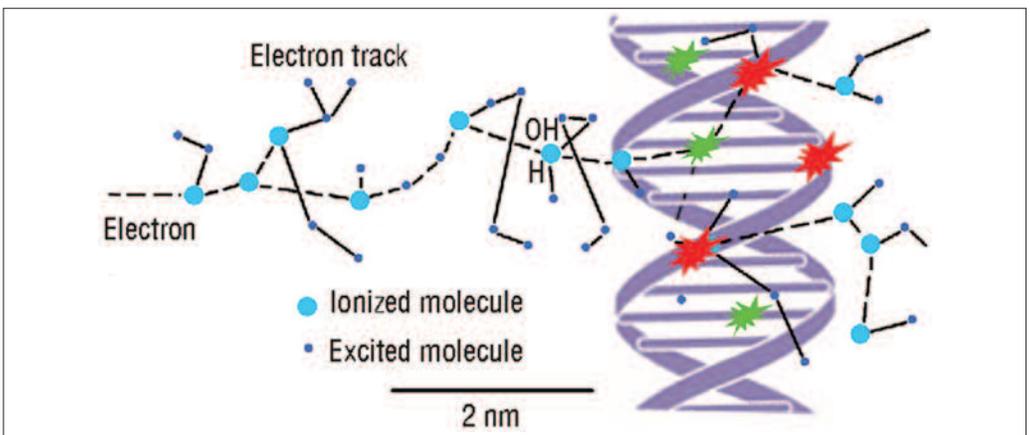


Figure 5 – Parcours d'un électron dans la cellule. Ici, on voit les dommages en grappe (plusieurs impacts dans une zone restreinte) sur l'ADN causés par un électron – Source : Nuclear medicine review. Central & Eastern Europe 2012

Deux autres phénomènes contribuent aussi à renforcer localement les effets du tritium : sa transmutation in situ en hélium, et l'enrichissement en eau tritiée de l'eau d'hydratation de l'ADN.

L'ensemble de ces effets physico-chimiques conduit à des lésions, qui peuvent conduire à leur tour à l'apparition de mutations dans l'ADN. Si la distribution de la dose est relativement homogène quand le tritium est sous forme d'eau tritiée, elle est par contre hétérogène lorsque celui-ci est incorporé dans l'ADN ou les histones (protéines de soutien de l'ADN).

## LA QUESTION DU FACTEUR DE PONDERATION $w_R$

Pour rappel, le facteur de pondération pour les rayonnements ( $w_R$ ) est utilisé en radioprotection pour tenir compte de l'effet du type de rayonnement dans le cadre de l'induction d'effets stochastiques à long terme tels que le cancer ou les effets héréditaires.

### Extrait des recommandations 2007 du CIPR (document 103) :

Type de rayonnement	Facteur de pondération pour les rayonnements, $w_R$
Photons	1
Électrons <sup>a</sup> et muons	1
Protons et pions chargés	2
Particules alpha, fragments de fission, ions lourds	20
Neutrons	Une fonction continue de l'énergie des neutrons

Toutes les valeurs concernant les rayonnements incidents sur le corps ou, pour des sources de rayonnement interne, émis à partir du(des) radionucléide(s) incorporé(s).

Pour le tritium, émetteur  $\beta^-$ , le  $w_R$  est de 1.

En 2008, le Groupe d'experts de l'Article 31 du Traité Euratom a recommandé de la réévaluer ; « Sur la base des données scientifiques actuelles, un relèvement de 1 à 2 de la valeur du facteur de pondération lié au rayonnement ( $w_R$ ) du tritium devrait être envisagé ».

L'Autorité française de sûreté nucléaire (ASN) a constitué en 2008 deux groupes de réflexion, mandatés pour analyser les risques posés par le tritium en termes de santé environnementale. Après 2 ans de travail, ces groupes ont produit avec l'ASN en 2010 un « Livre blanc sur le tritium » concluant que les risques liés au tritium ont dans le passé été probablement sous-estimés.

Le groupe de travail, présidé par M. Smeesters, préconise de multiplier par deux le facteur de pondération du tritium pour les rayonnements ( $w_R$ ) (2 au lieu de 1) pour le calcul du risque individuel.

Cet avis n'est cependant pas partagé par l'ACRO et l'ANCCLI qui plaident au contraire, par application du principe de précaution, pour un facteur de pondération de 5.

L'IRSN considère que l'EBR du tritium pour les effets stochastiques, à partir duquel le facteur de pondération  $w_R$  est proposé, est plus proche de 2 que de 1, et que la valeur 2 devrait être prise en considération.

### Sources :

Wikipedia - IRSN - CIPR

*Le tritium de l'Ecosystème à l'Homme - Etude des mécanismes et des constantes qui régissent les équilibres et différentes voies de transfert - Pierre Le Gof*

*Livre blanc du tritium ASN*

*Le tritium. Actualité d'aujourd'hui et de demain - De GAZAL Suzanne, AMIRAD Jean-Claude*



**NUVIA**  
PREVENTION

Conception, fabrication et vente de matériel de mesure nucléaire et de radioprotection à travers la marque **NuviaTECH Instruments**

Etudes et expertises en mesure nucléaire

Maintenance et location d'équipements de radioprotection et de mesure

Radioprotection opérationnelle et conseil

---

Présente son produit phare :

## **La gamma caméra NuVISION**





ZOOM SUR

## FH 40 G : l'appareil polyvalent de référence

Le radiamètre FH 40 G est compatible avec une très large gamme de sondes externes pour réaliser toutes les mesures d'irradiation et de contamination.

### Gamme de radiamètres FH 40 G



Lecteur code-barres



Télémetre

Les radiamètres **FH 40 G** sont conçus pour la mesure de l'équivalent de dose et du débit d'équivalent de dose  $H^*(10)$ , des rayonnements gamma et X. Simple d'utilisation, performant et polyvalent, ils sont utilisés par de nombreux acteurs de la radioprotection. Une large gamme de sondes externes connectables en fait des appareils polyvalents de référence.

- **FH 40 GL-10** : dispose d'un compteur proportionnel interne pour réaliser les mesures du débit d'équivalent de dose  $H^*(10)$  des rayonnements gamma et X, de 30 keV à 4,4 MeV. Une version **avec connecteur écouteur** est également disponible permettant le fonctionnement simultané des sondes et de l'écouteur.
- **FH 40 GL-10-Ω** : permet de connecter sur la sortie sonde un dispositif d'alarme déportée.
- **FH 40 G-X** : est utilisé uniquement comme afficheur pour toutes les sondes externes du système FH 40 G.

### LES PLUS

- Robustesse et facilité d'utilisation
- Grand écran rétroéclairé
- Compteur proportionnel interne
- Mesure du débit d'équivalent de dose dès 10 nSv/h
- Gamme d'énergie de 30 keV à 4,4 MeV
- Enregistrement de 1 000 points de mesures horodatés

# MESURE IRRADIATION / CONTAMINATION

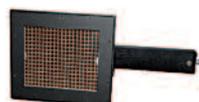
## Sondes externes connectables



Sonde de contamination  
FHZ 732 GM (15 cm<sup>2</sup>)



Sonde de contamination  
FHZ 382 (100 cm<sup>2</sup>)



Sonde de contamination  
FHZ 742 (125 cm<sup>2</sup>)



Télésonde  
FH 40 TG-10



Sonde immergeable  
FHZ 312 A



Sondes haut flux  
FHZ 612-10 et FHZ 612 Si-10



Sonde à scintillation  
FHZ 512



Sonde à scintillation  
FHZ 502



Sonde bas flux  
NBR FHZ 672 E-10



Sonde neutron  
FHT 752



Sonde neutron  
FHT 762 Wendi 2

## MULTIPLES APPLICATIONS



INDUSTRIE



MÉDICAL



ENVIRONNEMENT



SÉCURITÉ

# Achetez votre espace publicitaire sur les médias de l'ATSR

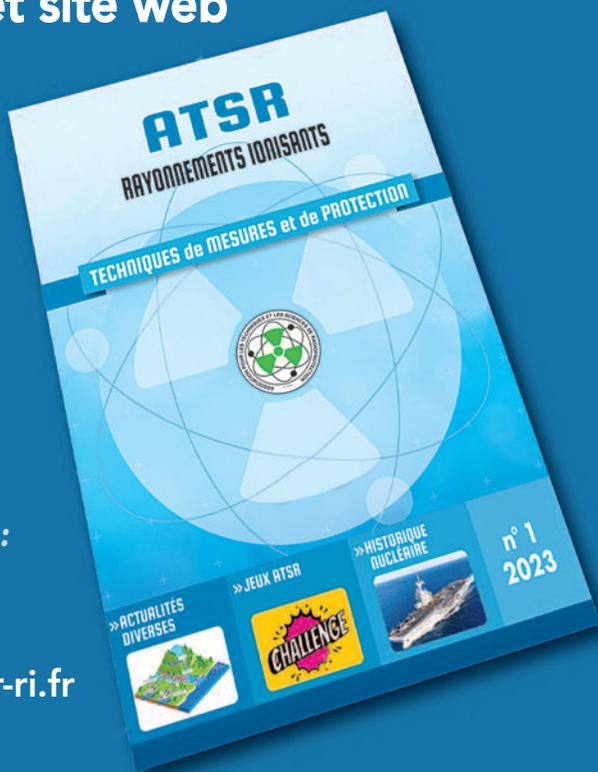
## Revue et site web

*Si vous êtes intéressé,  
vous pouvez compléter  
et renvoyer le coupon  
ci-dessous à :*

**Fabrice Montreuil**  
47 impasse Cessac  
84700 Sorgues  
France

*Ou prendre contact directement :*

**Fabrice Montreuil**  
Tél : 06 31 72 35 10  
Mail : [fabrice.montreuil@atsr-ri.fr](mailto:fabrice.montreuil@atsr-ri.fr)



NOM : ..... Téléphone : .....

Prénom : ..... Télécopie .....

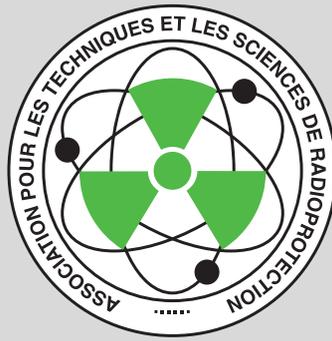
Société : ..... Email : .....

Fonction : .....

Adresse : .....

- Je suis intéressé pour recevoir votre dossier d'insertion publicitaire, les renseignements techniques, les délais et connaître vos tarifs pour la revue RAYONNEMENTS IONISANTS et le site web de l'ATSR en 2022.

# ATSR-Ri



## Le Cahier de l'Association

# Le site de l'ATSR fait peau neuve

## N'hésitez pas à le consulter

# www.atsr-ri.fr



# Délégués régionaux

Correspondants de la revue



# COORDONNÉES DES MEMBRES RESPONSABLES

Prénom / Nom	Fonction
Yvon ALGOET	Délégué régional Grand Est
Marie-Laure BEISO	Responsable publication
Christian BOUDOU	Délégué régional Nouvelle-Aquitaine
Philippe BRUGUERA	Membre du CA
Lionel DE PADUA	Responsable commission publication
Richard DUGNE	Délégué régional Occitanie
Gilles HOFMANN	Délégué régional Provence / Alpes / Côte-d'Azur
Jérôme LAINÉ	Trésorier général - Délégué régional Ile-de-France
Jean-Luc LE BORGNE	Secrétaire général adjoint Délégué régional Bretagne-Pays de Loire
Nabil MENAA	Délégué régional international
Serge MILLION	Délégué régional Bourgogne - Franche-Comté Responsable commission enseignement
Jean-Jacques MONTEIL	Délégué régional Hauts-de-France
Fabrice MONTREUIL	Président
Renaud MOURET	Membre du CA
Pierre PANDRAUD	Membre du CA
Jean-Paul PIFERRER	Vice-Président
Bruno ROSTELLO	Vice-Président - Président d'Honneur
Michel SELVA	Délégué régional Auvergne / Rhône-Alpes
Valérie TROMEL	Trésorière générale adjointe
Sandra VILLAGE	Secrétaire générale Responsable commission informatique

## Adresse postale / Tél. / Fax ou Portable / Adresse E-mail

89, Rue Abbé Pierre - 73100 AIX-LES-BAINS  
06 33 14 06 28 - yvon.algoet@atsr-ri.fr

133, chemin des Jonquilles - 13013 MARSEILLE  
06 27 83 44 12 - ml.beiso@8m-management.com

6, imp. des Costilles - La combelle - 63570 AUZAT-SUR-ALLIER  
04 73 96 04 92 - 06 03 24 22 67 - christian.boudou@atsr-ri.fr

Le Clos Florent face n°8 Route de Villelaure - 84120 PERTUIS  
06 09 04 37 35 - philippe.bruguera@atsr-ri.fr

861, Chemin du Pigeonnier de l'Ange - 7, Le Coteau de la Bugadière  
04180 VILLENEUVE - 06 07 33 61 27-lionel.depadau@atsr-ri.fr

06 49 56 85 42  
richard.dugne@atsr-ri.fr

121, rue du Colombier - 04100 MANOSQUE  
06 70 31 13 56 - gilles.hofmann@atsr-ri.fr

31, Domaine de Villejust - 91140 VILLEJUST  
06 89 28 28 14 - jerome.laine@atsr-ri.fr

Cidex 5770 - LE PIN - 30330 CONNAUX  
06 22 16 33 54 - jeanluc.leborgne@atsr-ri.fr

06 03 62 69 23  
nabil.menaa@cern.ch

26, rue Jean Amigoni - 38120 SAINT-EGREVE  
06 11 86 01 93 - serge.million@atsr-ri.fr

75, rue de Maubeuge - 59600 VIEUX RENG  
06 08 64 66 42 - jeanjacques.monteil@atsr-ri.fr

47, impasse Cessac - 84700 SORGUES  
Pro 04 90 83 09 20 - 06 31 72 35 10 - fabrice.montreuil@atsr-ri.fr

191, route de Long Perrier - 74520 JONZIER-ESPAGNY  
06 31 84 02 08 - renaud.mouret@cern.ch

144, Rue du Puit - 84120 BEAUMONT DE PERTUIS  
06 18 60 72 21

Résidence Grand Soleil - 6, av. Jean Jaurès - 13700 MARIIGNANE  
06 26 47 60 81 - jeanpaul.piferrer@atsr-ri.fr

10, chemin du Devez - 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE  
06 87 02 14 11 - bruno.rostello@atsr-ri.fr

Boulevard de la République - 38190 FROGES  
04 76 48 60 80 - 06 83 21 27 87 - michel.selva@atsr-ri.fr

313, rue du Bourg - 01630 SAINT-JEAN DE GONVILLE  
(+41)7 54 11 06 37 - valerie.tromel@cern.fr

141, rue du Jura - 01170 CROZET  
07 78 69 07 65 - sandra.village@atsr-ri.fr



## Conseil d'administration ATSR-

- **Président :**  
**Fabrice MONTREUIL**
- **Vice-présidents :**  
**Jean-Paul PIFERRER**  
**Bruno ROSTELLO**
- **Secrétaire générale :**  
**Sandra VILLAGE**
- **Secrétaire général adjoint :**  
**Jean-Luc LE BORGNE**
- **Trésorier général :**  
**Jérôme LAINÉ**
- **Trésorière générale adjointe :**  
**Valérie TROMEL**

### Autres membres

Philippe BRUGUERA  
Yvon ALGOET  
Serge MILLION  
Lionel DE PADUA  
Renaud MOURET  
Pierre PANDRAUD

### Délégués régionaux

Yvon ALGOET  
Christian BOUDOU  
Richard DUGNE  
Gilles HOFMANN  
Jérôme LAINE  
Nabil MENAA  
Serge MILLION  
Jean-Jacques MONTEIL  
Michel SELVA  
Jean-Luc LE BORGNE



## Membres des commissions ATSR-

### ● Commission Publication

*Responsable de la commission :* **Lionel DE PADUA**

*Directeur de la publication - Rédacteur en chef :* **Marie-Laure BEISO**

*Membres :* Fabrice MONTREUIL, Christian BOUDOU, Philippe BRUGUERA  
Serge MILLION, Yvon ALGOET, Nabil MENAA

### ● Commission Enseignement

*Responsable :* **Serge MILLION**

Philippe BRUGUERA, Nabil MENAA

### ● Commission Juridique, contentieux et relations extérieures

*Responsable :* **Bruno ROSTELLO**

### ● Commission Radioprotection médicale

*Responsable :* **Jean-Paul PIFERRER**

### ● Commission Informatique

*Responsable :* **Sandra VILLAGE**

*Membres :* Marie-Laure BEISO, Bruno ROSTELLO, Lionel DE PADUA

### ● Commission Personnes compétentes en radioprotection

*Responsable :* **Jean-Paul PIFERRER**

Michel SELVA

### ● Commission Congrès

*Responsable :* **Bruno ROSTELLO**

*Membres :* Yvon ALGOET, Philippe BRUGUERA, Renaud MOURET,  
Valérie TROMEL, Sandra VILLAGE

Le président est membre de droit de chaque commission.

## Abonnements 2023

Nom : .....

Société, Entreprise, Administration : .....

.....

.....

Adresse précise (ou nouvelle adresse) : .....

.....

.....

Nombre d'exemplaires : (1 exemplaire par adresse)

### RAYONNEMENTS IONISANTS pour l'année 2023

- Choisit la procédure de renouvellement systématique
- S'abonne gratuitement pour 2023

Date et Signature :

A retourner à Sandra VILLAGE  
secrétaire  
141, rue du Jura - 01170 Crozet

France Métropole CEE et autres Revue gratuite (Port compris)

T  
U  
E  
M  
E  
N  
N  
O  
B  
A



## Adhésion 2023

Je soussigné(e) : .....

demande à adhérer à l'Association pour les Techniques et les Sciences de la Radioprotection (ATSR) en qualité de :

- Membre actif
- Membre bienfaiteur
- Membre adhérent
- J'agis pour le compte de.....

J'ai pris connaissance du montant de l'adhésion\* pour l'année 2023, qui est de 32 € pour les membres actifs et adhérents, gratuit les étudiants\*\* et pour les retraités qui désirent expressément recevoir la revue.

\* L'adhésion comprend l'abonnement à la revue de l'ATSR

\*\* Présentation de la carte d'étudiant

Le règlement est effectué par un chèque au nom de l'ATSR :

- envoyé à l'adresse du secrétaire général
- par l'intermédiaire de mon délégué régional.

## Renseignements personnels :

Nom : .....

Prénom : .....

Adresse : .....

Code postal : ..... Ville : .....

Téléphone : ..... Email : .....

Formation personnelle : .....

Spécialité en radioprotection : .....

Date : ..... *Signature* :

à retourner à Sandra VILLAGE  
secrétaire  
141, rue du Jura - 01170 Crozet

## Détecter et mesurer la radioactivité



Radiamètres  $\gamma$ ,  $n$   
Contaminamètres  $\alpha$ ,  $\beta$   
Portiques déchets  
Balises  $\alpha$ ,  $\beta$ , Iodes, Gaz, Eau  
Multi-Compteur  $\alpha$ ,  $\beta$  total  
T.C.R.



**Berthold FRANCE S.A.S.**  
8 route des bruyères - 78770 THOIRY  
Tel. : 01 34 94 79 00 - E-mail : radioprotection-fr@berthold.com

<https://www.berthold.com/fr-fr/>



**PARTENAIRE DES ACTEURS DE L'INDUSTRIE  
DE PROTECTION NUCLÉAIRE FRANÇAISE**

**RADIAMÈTRES**

**NEW !**

**SIGNALÉTIQUES**

**CONTAMINAMÈTRES**

**SONDES INTELLIGENTES  
 $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  et X**

**CONTAMINAMÈTRES  
pour bruits de fond  $\gamma$  élevé**

**BALISES DE TIRS GAMMA**



- Concepteur et fabricant de solutions de mesures dans le domaine de la radioprotection
- Métrologie et maintenance des appareils de radioprotection
- Études et projets sur mesures pour remplir vos exigences et suivi du projet
- Présent dans l'industrie, le médical, l'environnement et la protection civile

