



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

IRSN

INSTITUT DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# REPÈRES

## EN PRATIQUE

Quel est l'impact  
d'une centrale sur les riverains ?

## REPORTAGE

Les sapeurs-pompiers  
auprès des populations

## DOSSIER

Aval du cycle du combustible  
Anticiper entreposage et saturation



## En vidéo : tout sur les déchets radioactifs

Où sont stockés les déchets radioactifs en France ? Quelle est la durée de vie d'un déchet à haute activité ? Pourra-t-on encore consommer les produits cultivés autour du site de stockage si celui-ci est construit ? En trois minutes et en vidéo, découvrez les réponses didactiques des experts de l'IRSN sur ces questions. Rendez-vous sur la chaîne YouTube de l'IRSN.

[www.youtube.com/user/IRSNvideo](http://www.youtube.com/user/IRSNvideo)



## 3 minutes gagnantes

« Un crime toxique presque parfait... » avec une prestation impeccable : c'est une doctorante en écotoxicologie, Marie Frèrejacques, qui a remporté cette année

le concours interne « 3 minutes pour une thèse ». Sa présentation au titre inspiré résume trois années de travail sur la toxicité rénale d'un radionucléide, réalisé au Laboratoire de recherche en radiochimie, spéciation et imagerie (Fontenay-aux-Roses, Hauts-de-Seine). Retrouvez les prestations de tous les participants sur [irsn.fr](http://irsn.fr)

[www.irsn.fr/concours-these](http://www.irsn.fr/concours-these)

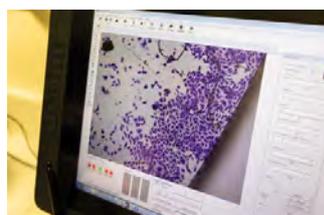


## Réexamen des réacteurs : les questions de la société civile

Maîtrise du vieillissement des réacteurs, des cuves... Comment l'IRSN prend en compte les enseignements et les échanges issus du dialogue entamé depuis 2014 avec la société civile sur le réexamen des réacteurs de 900 MWe ? Un rapport reprend les questions

posées par thématique, les supports pédagogiques – foire aux questions, vidéos, avis commentés, etc. – et précise les raisons pourquoi certaines questions n'ont pu être traitées.

[www.irsn.fr/rapport-900mwe](http://www.irsn.fr/rapport-900mwe)



## Immersion au Paradis

Découvrez en quelques clics, comme si vous y étiez, la plateforme Paradis, dédiée à la compréhension des effets biologiques des contaminations internes par des radioéléments : ingestion, inhalation, voie cutanée. Vous pourrez visiter l'animalerie – pour la contamination de nombreux rongeurs à des substances radioactives – et le plateau technique d'analyses biologiques, radiochimiques et d'imagerie. Ces technologies – imagerie ultrasonique, analyse isotopique, etc. – sont accessibles sous forme de collaborations ou de prestations.

[www.irsn.fr/paradis](http://www.irsn.fr/paradis)

## Agenda

7 au 10 octobre 2022

Paris (Île-de-France)

### Journées Françaises de Radiologie

« Niveaux de référence diagnostiques en mammographie numérique et tomosynthèse mammaire », « Scanners pédiatrique en France sur la période 2012-2018 et exposition radiologique associée », tels sont les thèmes des conférences données par l'IRSN à l'occasion de ces journées, en lien avec des rapports et avis publiés en 2021 et 2022.

<https://jfr.radiologie.fr/>

8 et 9 novembre 2022

Lyon (Rhône)

### PCR-2022

Au programme de cette treizième édition : partage du savoir-faire avec des tutoriales et des ateliers, refonte du système Siser présentée par Juliette Feuardent, experte en radioprotection à l'IRSN, et un point sur l'actualité réglementaire. Les médecins du travail pourront poser leurs questions aux spécialistes de l'IRSN Dosimétrie.

[www.pcr2022.fr/tout-un-programme](http://www.pcr2022.fr/tout-un-programme)

## Abonnement

### POUR VOUS ABONNER

[www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)

Rubrique l'IRSN

> Publications

> Magazine Repères

## Online WEBMAG

[www.irsn.fr/R54](http://www.irsn.fr/R54)

### À LIRE



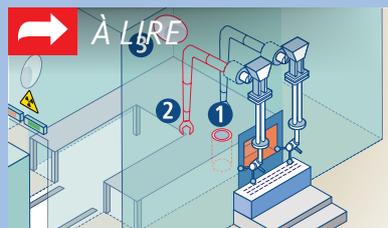
Dossier  
**4 questions à... Yannick Rousselet, de Greenpeace**

### VIDÉO

Dossier  
**Entreposage du combustible**



Dossier  
**Avis illustré et commenté sur le cycle du combustible**



Dossier  
**Irma : comment se déroule un test d'irradiation ?**



Reportage  
**Exercice de crise : quelles adaptations pour les personnes invalides ?**

# Sommaire

En couverture : À l'usine Orano Melox de Marcoule (Gard), un dispositif école forme les opérateurs à manipuler dans la boîte à gants. Cécile Lecarme et Jean Lombard, experts du cycle, observent cet exercice.

## P.4 TEMPS FORTS

Agressions externes et sûreté  
**De nouvelles préconisations pour les centrales**

Niveaux de référence diagnostiques  
**Mammographie et tomosynthèse : nouvelles recommandations**



## P.6 FAITS ET PERSPECTIVES

Tampon d'accès matériel  
**Comment se comportent les joints en cas d'accident grave ?**

## P.9 ZOOM

**Dans la chambre à vide**

## DOSSIER P.10

**Dossier du prochain numéro :  
Médicaments radiopharmaceutiques :  
mieux traiter et protéger le patient**

**Aval du cycle du combustible  
Anticiper entreposage et saturation**

## P.17 EN PRATIQUE

Centrales nucléaires  
**Quelle exposition ajoutée pour les riverains ?**

## P.20 INTÉRÊT PUBLIC

**Cuve des réacteurs : la société civile s'implique**



## P.22 REPORTAGE

Exercice de crise  
**Les sapeurs-pompiers auprès des populations**



## Cycle du combustible **Anticiper !**

Fabrication, utilisation, entreposage... Toutes les étapes et installations du cycle du combustible sont connectées. Observer ce cycle est nécessaire pour anticiper la sûreté et la radioprotection associées à ses évolutions, aux nouvelles installations ou nouveaux emballages de transport. L'anticipation est indispensable car le nucléaire requiert des temps techniques et administratifs très longs. À La Hague, la densification des piscines devrait nécessiter quatre ans, la mise en activité des nouveaux évaporateurs huit à dix ans, la création de la piscine d'entreposage centralisé... au moins quinze ans. Une quinzaine d'experts de l'Institut suivent chacun des maillons du cycle du combustible, partagent informations et connaissances pour en décrypter le fonctionnement réel. *Repères* se penche dans un dossier sur l'équilibre fragile de l'aval de ce cycle. Tout aléa perturbe ou modifie son fonctionnement, pouvant notamment conduire à la saturation de certains entreposages. À l'heure où la France réfléchit à de nouveaux réacteurs, le sujet du cycle s'impose avec insistance. Quels que soient les choix politiques, il faudra l'intégrer dans la réflexion. Le rôle de l'IRSN est d'y contribuer.

**Florence Gauthier**  
Experte en sûreté

REPÈRES – Éditeur : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire - Membre d'Etson  – 31, avenue de la Division-Leclerc, 92260 Fontenay-aux-Roses – Tél. : 01 58 35 88 88 – Site Internet : [www.irsn.fr](http://www.irsn.fr) – Courriel : [reperes@irsn.fr](mailto:reperes@irsn.fr) – Directeur de la publication : Jean-Christophe Niel – Directrice de la communication : Marie Riet-Hucheloup – Rédactrice en chef : Catherine Roulleau – Assistante de rédaction : Isabelle Cussinet – Ont collaboré à ce numéro : Agnès Dumas, Octavia Véry, Pascale Monti – Comité de lecture : Louis-Michel Guillaume – Rédaction et réalisation, maquette et direction artistique : ABG Communication – Iconographie : Valérie Delchambre – Photo de couverture : © Joseph Gobin/Médiathèque IRSN – Impression : Handiprint (50) – Imprimé sur du papier issu de forêts gérées durablement – ISSN : 2103-3811 et 2491-8776 (Web) – juillet 2022.

**IRSN**  
INSTITUT DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

## Baromètre sur les risques

### Les Français plus favorables au nucléaire

En 2021, 44 % des Français sont favorables à la construction de nouvelles centrales. 29 % y sont opposés.

Seuls 39 % jugent « élevés » les risques qui leur sont associés, soit 9 points de moins que la moyenne historique, enregistrée depuis 1997.

Tels sont les enseignements majeurs du dernier baromètre annuel publié par l'IRSN. Plus de trente ans après la création de cette vaste enquête, l'édition 2022 intègre une nouvelle question. Elle vise à comparer la perception du risque « pour les Français » et « pour soi-même et ses proches ». Elle révèle que cette seconde typologie est systématiquement perçue comme plus faible. Ainsi, 69 % de Français considèrent que les risques concernant la drogue sont élevés « pour les Français », quand seuls 25 % les identifient comme tels pour eux-mêmes.

Concernant les centrales nucléaires, 39 % des Français estiment les risques élevés « pour les Français », contre 23 % pour eux-mêmes et leurs proches.

**www** Pour en savoir plus : [barometre.irsn.fr](http://barometre.irsn.fr)

## CYCLE DU COMBUSTIBLE

# 2030

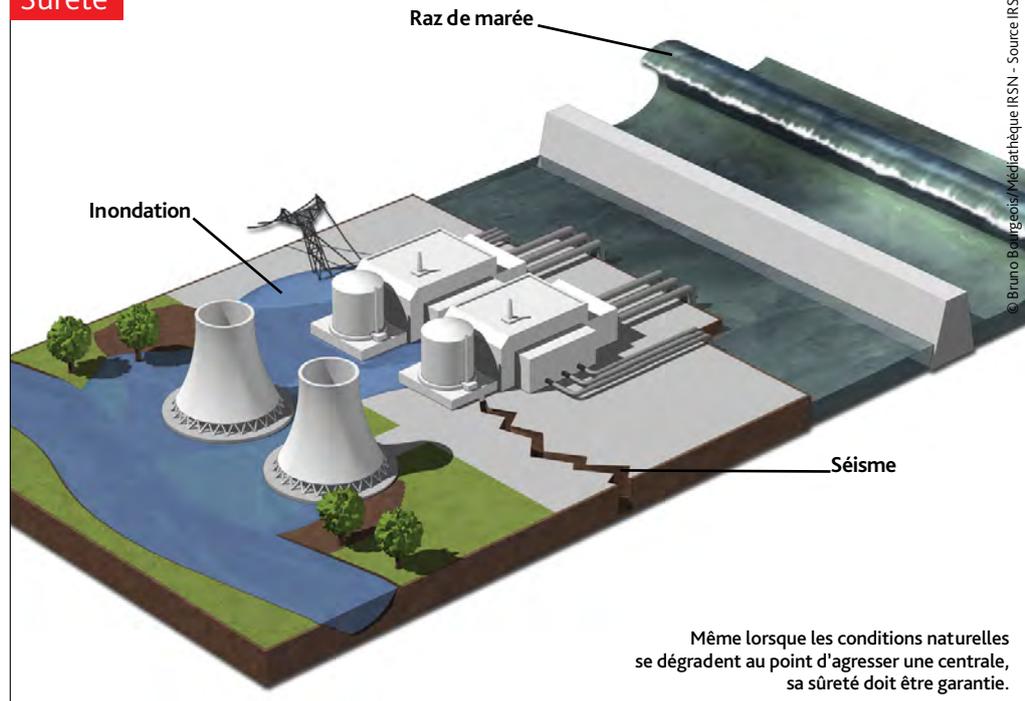
C'est l'horizon de saturation des capacités actuelles d'entrepôts des combustibles usés en France.

# 15 spécialistes

en génie civil, mécanique, thermique, criticité, etc. seront impliqués dans l'expertise de demande d'autorisation de création de la piscine d'entreposage centralisé (Pec).

Retrouver le dossier « Cycle de combustible » en page 10.

## Sûreté



## Agressions externes et sûreté

### De nouvelles préconisations pour les centrales

Les agressions externes d'origine naturelle – séisme, foudre, etc. – ou humaine peuvent toucher des centrales nucléaires. Que recommandent les experts pour les protéger ? Un nouveau rapport sur l'impact de ces événements vient d'être remis à la Commission européenne. Ses recommandations, destinées aux autorités de sûreté nucléaire des pays membres de la Nuclear Safety Clearinghouse européenne<sup>1</sup>, visent à limiter les conséquences de telles agressions.

#### Explosion, séisme, gel...

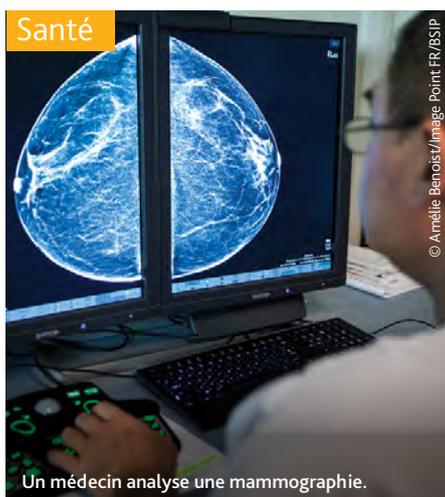
Pour les explosions externes, le rapport recommande de surveiller régulièrement l'état des moyens protégeant les équipements importants pour la sûreté : écrans anti-explosion, ancrages... Lors d'un séisme, un équipement non qualifié<sup>2</sup> – agresseur – pourrait chuter et en « agresser » un autre qualifié, dit cible. Le rapport préconise d'identifier ces couples agresseur/cible, puis d'éliminer ou de réduire le risque d'interaction par des mesures *ad hoc*. Face aux températures extrêmes, il est proposé d'adapter la maintenance. Le rapport conseille d'ajouter des moyens de protection, par exemple une isolation ou un traçage thermique contre le gel.

Ce rapport est rédigé par un consortium d'experts allemands<sup>3</sup>, tchèques<sup>4</sup> et de l'IRSN. Ils analysent des événements significatifs survenus entre 2010 et 2020, sélectionnés dans les bases de données de ces trois pays ainsi que dans la base internationale (IRS)<sup>5</sup>.

1. Elle a été créée pour que les pays ayant peu de réacteurs bénéficient de l'expérience de ceux disposant d'un parc d'envergure. [www.irsn.fr/clearinghouse](http://www.irsn.fr/clearinghouse)
2. Un équipement qualifié à un niveau de séisme résiste et poursuit sa fonction pendant et après ce séisme.
3. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, GR5.
4. Statni Ustav Radiacni Ochrany, SÚRO.
5. Système international de notifications des incidents.

**www** Pour en savoir plus : <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC127685>





Santé

© Amélie Benoist/Image Point FR/BSIP

Un médecin analyse une mammographie.

“ Les niveaux de référence diagnostiques sont réactualisés périodiquement, conformément au code de la santé publique.

## Niveaux de référence diagnostiques

# Mammographie et tomosynthèse : nouvelles recommandations

L'Institut recommande une nouvelle valeur de niveaux de référence diagnostiques (NRD) pour la mammographie<sup>1</sup>.

Il propose aussi pour la première fois une valeur de NRD en tomosynthèse<sup>2</sup>.

Il préconise de remplacer les appareils de numérisation indirecte par des installations utilisant la numérisation directe qui délivrent une dose moindre.

Ces différentes techniques d'imagerie du sein entraînent une exposition radiologique des patientes. Les NRD aident les praticiens à ajuster les doses délivrées lors des examens en trouvant le meilleur compromis entre la qualité des images et l'exposition.

Pour établir ces recommandations, des experts spécialisés en radioprotection médicale à l'Institut réalisent une enquête en 2021. Elle porte notamment sur les doses délivrées durant plus de 8 000 examens dans soixante-cinq centres volontaires en France.

1. Avant janvier 2021, les doses en mammographie numérique étaient évaluées de manière indirecte, à partir des mesures réalisées lors du contrôle qualité externe des appareils.
2. Cette technique d'imagerie récente et performante expose davantage les patientes aux rayonnements ionisants.

www Pour en savoir plus : [www.irsn.fr/avis-decembre-2021](http://www.irsn.fr/avis-decembre-2021)



Vie de l'Institut

© Magali Schiano Di Lombo

© Loizeau Coulon

© Céline Couvez/ISE-ENV/SIRSE/LTD/IRSN

Elsa, Caroline et Sonia (de gauche à droite) travaillent respectivement sur l'écotoxicologie, l'incendie et l'analyse de télédétection. Elles ont en commun l'amour des sciences. Et le partage.

## Femmes en Sciences

# Créer ou éveiller des vocations

Spécialiste en radioprotection, écotoxicologie, physique... cinq scientifiques de l'IRSN témoignent en février 2022 lors du congrès « Femmes en Sciences » à la Cité des sciences à Paris. Leur mission : susciter des vocations auprès des jeunes, en particulier des filles. En effet, dans le monde il y a moins de 30 % de femmes parmi les scientifiques. Hayat Cherfi, chargée d'évaluation de la maîtrise des risques, regrette la persistance de stéréotypes : « On pense souvent que les femmes sont plus faites pour les métiers du "care". L'éducation des filles va souvent dans ce sens. » Ce sexisme décourage les femmes à choisir une carrière scientifique.

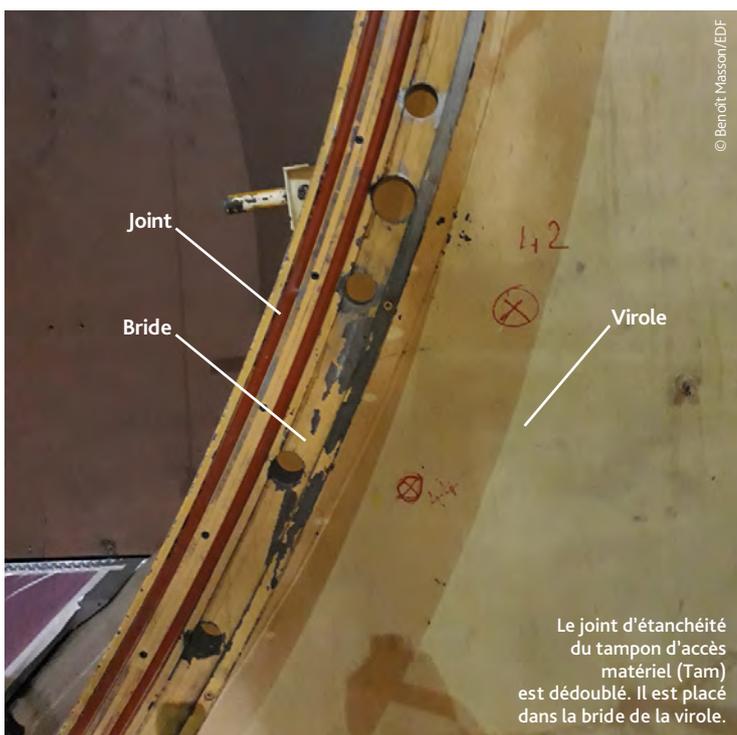
Pour Caroline, experte en maîtrise des risques d'incendies et d'explosions, le problème vient des préjugés. « J'aimerais que les femmes n'aient plus à se justifier de choisir certaines filières scientifiques, qu'elles puissent s'y sentir à leur place. » Surtout, il faudrait attendre d'elles autant que des autres, pas plus, considère-t-elle. Sonia Chuzel, physicienne, conclut : « Les femmes doivent prendre confiance en elles et ne pas se mettre de barrière. »

www Pour en savoir plus :  
Hayat Cherfi [www.irsn.fr/portrait-hayat-cherfi](http://www.irsn.fr/portrait-hayat-cherfi)  
Caroline [www.irsn.fr/portrait-caroline](http://www.irsn.fr/portrait-caroline)  
Sonia Chuzel [www.irsn.fr/portrait-sonia-chuzel](http://www.irsn.fr/portrait-sonia-chuzel)

## Démantèlement Fessenheim : les expertises se succèdent

L'année 2022 voit le lancement de l'expertise du dossier de démantèlement de la centrale de Fessenheim (Haut-Rhin). L'exploitant doit préciser les principes de sûreté et de radioprotection retenus, par exemple pour gérer les déchets radioactifs ou démontrer l'absence d'impact environnemental et sanitaire. Sont-ils adéquats ? Pour le savoir, jusqu'à mi-2023, sept services spécialisés de l'IRSN analysent le dossier d'EDF. Ils étudient, entre autres, les dispositions de radioprotection et de confinement des matières radioactives, les aspects organisationnels et humains, ou encore la gestion des déchets. Malgré la mise à l'arrêt en 2020 des deux réacteurs, l'IRSN reste donc mobilisé. Il s'est par exemple déjà positionné sur les opérations de retrait des équipements qui ne sont plus nécessaires du fait de l'évacuation du combustible. Le démantèlement devrait débuter en 2025. Des opérations préalables – comme la décontamination du circuit primaire ou l'évacuation des différentes parties des anciens générateurs de vapeur entreposés sur site – sont programmées ou déjà réalisées.

## FAITS ET PERSPECTIVES



### Tampon d'accès matériel

# Comment se comportent les joints en cas d'accident grave ?

Les joints du tampon d'accès matériel (Tam) aident à maintenir l'étanchéité de l'enceinte d'un réacteur. Cette étanchéité est essentielle pour limiter les rejets radioactifs. Grâce aux essais et aux simulations, les experts formulent des recommandations. L'exploitant s'engage à compléter sa démonstration de sûreté.

En février 2022, l'IRSN donne son avis<sup>1</sup> sur le comportement, en conditions d'accident grave (AG), des joints du tampon d'accès matériels (Tam) des réacteurs français. « À ce stade, la démonstration d'étanchéité réalisée par l'exploitant n'est acquise pour aucun des Tam des réacteurs du parc en exploitation », résume Alix de La Meslière, experte en génie civil. EDF s'engage à compléter sa démonstration pour juin 2022.

Qu'est-ce qu'un Tam ? D'un diamètre d'environ huit mètres et pouvant mesurer jusqu'à trois mètres et demi de long, ce dispositif est la plus grande traversée – et ouverture – de l'enceinte de confinement sur un bâtiment du réacteur. Il est constitué d'un cylindre métallique – la virole – solidaire du béton de

l'enceinte et d'un tampon de fermeture. Ces deux éléments s'assemblent au niveau des brides situées à chacune de leurs extrémités et fonctionnent tels un pot de confiture et son couvercle (voir infographie ci-contre).

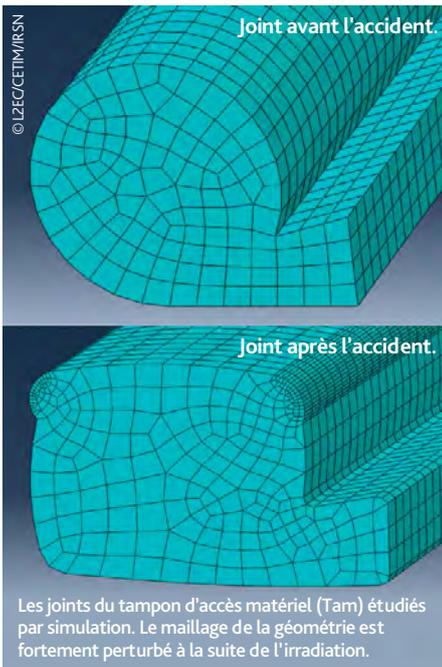
En fonctionnement, les deux brides sont maintenues en contact par un système de fermeture. Mais, il faut davantage pour assurer l'étanchéité du Tam et le confinement. C'est à cela que servent deux joints concentriques en silicone, logés dans la gorge d'une des brides. « Pour remplir leur rôle, ces joints doivent être suffisamment comprimés en toute situation, même après avoir subi les effets combinés d'un accident grave : température et pression élevées, irradiation et vapeur d'eau », explique Fabienne Bot Robin, spécialiste du vieillissement des polymères.

Toutes ces contraintes – mais surtout l'irradiation – déforment les joints et dégradent leurs propriétés, notamment leur élasticité. « Tout manque d'étanchéité du Tam conduirait, en situation d'accident, à des rejets de radionucléides dans l'environnement au bout d'un certain temps », précise-t-elle.

Lors du fonctionnement normal, les pressions dans le bâtiment et à l'extérieur sont similaires : il n'y a pas de fuite possible. En cas d'accident, la surpression dans le bâtiment peut conduire à des fuites radioactives. Le niveau de dégradation du joint conditionne alors sa capacité à garantir l'étanchéité.

### Pour l'exploitant, l'étanchéité est acquise

L'avis de l'Institut de 2022 concerne les joints en silicone d'un nouveau modèle<sup>2</sup> retenu par EDF. Celui-ci vise à résoudre les problèmes des modèles précédents, soulevés par l'IRSN. EDF réalise en 2014 une campagne d'essais en conditions d'AG sur ce modèle de joints. Lors de ces tests, les joints sont dans des maquettes ayant des brides parfaitement planes. En 2020 et 2021, l'exploitant réalise



en plus des simulations numériques pour prendre en compte les déformations des brides, mais sans modélisation explicite du joint. À l'issue de ces études, l'industriel conclut que l'étanchéité du Tam est acquise en AG. Et ce, quels que soient le diamètre initial du joint – or, les tolérances dimensionnelles de fabrication sont de +/- 1 millimètre – et son élasticité résiduelle après l'AG.

## Démonstration redemandée

Pour vérifier les résultats de l'exploitant, l'IRSN mène entre 2014 et 2020 son propre programme d'essais et de simulations numériques<sup>3</sup> (lire p. 8).

La partie expérimentale étudie la représentativité du vieillissement artificiel accéléré des joints et examine leur capacité à assurer l'étanchéité en conditions d'AG sur des maquettes à échelle réduite. Une vingtaine d'essais sont réalisés dans les installations Epicur et Irma, respectivement à Cadarache (Bouches-du-Rhône) et à Saclay (Essonne) (voir *webmag*). Les spécialistes suivent et mesurent en direct le taux de fuite des joints subissant à la fois une irradiation – entre 70 et 268 kGy –, une température élevée – 150 °C –, une pression jusqu'à 6 bar et l'effet de la vapeur d'eau.

Les simulations évaluent l'étanchéité à l'échelle de l'enceinte (lire p. 8). Elles incluent des situations non prises en compte par l'exploitant : une compression inhomogène des brides ou leur écartement local.

Selon ces travaux, l'étanchéité est acquise lors de la phase de montée en température de l'AG jusqu'à 150 °C (voir *ci-contre*).

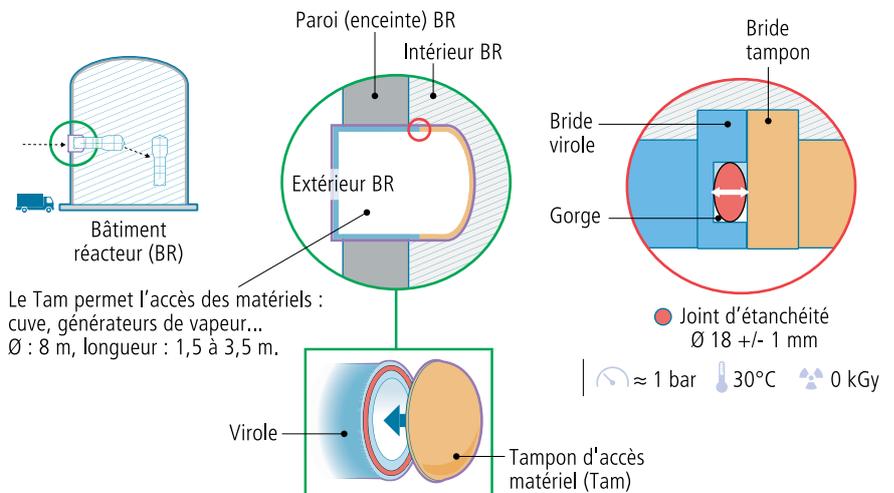
## PROCESS

### Joint d'étanchéité du tampon d'accès matériel : quels sont les risques en cas d'accident ?

Le tampon d'accès matériel est une voie d'accès au bâtiment réacteur. Des joints assurent son étanchéité. Des chercheurs étudient les modifications des joints en cas d'accident grave. Zoom sur les situations où le confinement est compromis.

#### 1 En conditions normales et accidentelles (hors accident grave), l'étanchéité est assurée

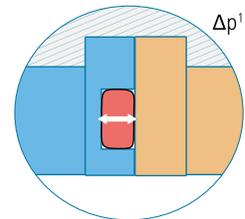
Le joint d'étanchéité en silicone borde l'ouverture du tampon d'accès matériel (Tam). Il est logé dans la gorge de la bride de la virole. La bride du tampon exerce sur le joint une pression assurant une étanchéité totale.



#### 2 Pendant la fusion du cœur, l'étanchéité du Tam est acquise

Au cours de l'accident, la température augmente et dilate le joint. Il remplit alors la gorge. Le maintien de l'étanchéité est assuré.

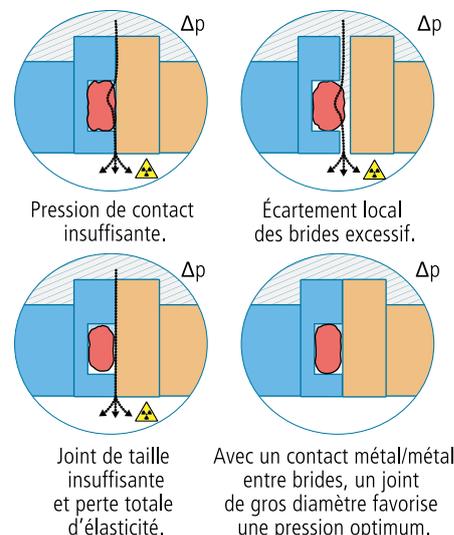
≈ 5 bar 150°C 0 kGy



#### 3 Phase de refroidissement et post-accidentelle<sup>2</sup>

L'irradiation modifie la capacité de retour élastique du joint. Si la température baisse, il se rétracte et ne remplit plus la gorge. Divers scénarios peuvent survenir selon l'écartement des brides, la pression de contact du joint... Certaines peuvent conduire à augmenter le taux de fuite du BR au bout d'un certain temps. L'IRSN étudie ce phénomène et émet des recommandations afin que l'étanchéité du Tam soit assurée.

≈ >1 bar >30°C 250 kGy



1. Différence de pression entre le BR et l'extérieur.

2. Conditions retenues par le scénario d'EDF, soit 15 jours d'accident grave.

# FAITS ET PERSPECTIVES



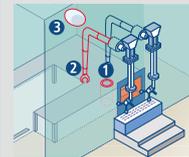
L'élasticité des joints du tampon d'accès matériel (Tam) est testée sur une maquette.

« Mais lors du refroidissement, elle dépend de la capacité de retour élastique du joint. C'est là qu'intervient la notion de tolérance dimensionnelle et l'état d'écartement des brides », précise Alix de La Meslière.

Conclusion, un risque de non-étanchéité ne peut être écarté pour des joints de petits diamètres<sup>4</sup> et/ou lorsque l'écartement local entre brides est de quelques millimètres. Dans les deux cas, il est moins comprimé dans sa gorge. Cette expertise estime que la démonstration d'étanchéité n'est pas acquise pour les Tam en service. L'avis de l'Institut inclut des recommandations sur la protection des joints contre l'effet néfaste des rayonnements en cas d'AG. Celles-ci abordent aussi les tolérances dimensionnelles dans la démonstration d'étanchéité : plus les joints sont épais, meilleur est le remplissage de la gorge après perte élastique. Enfin l'IRSN insiste : il faut connaître l'écartement des brides et améliorer la surveillance en exploitation. « *Le cas échéant, EDF devra resserrer les tolérances dimensionnelles des joints pour assurer l'étanchéité du Tam en cas d'accident* », conclut Alix de La Meslière. La prochaine démonstration d'EDF doit prendre en compte l'état d'écartement des brides des Tam, en cours de caractérisation, pour tous les réacteurs en exploitation. ■

1. Avis IRSN 2022-00039 du 24 février 2022.
2. Changement de formulation, de fournisseur et de géométrie.
3. Essais réalisés par les laboratoires d'expérimentation environnement et chimie (L2EC), à Cadarache (Bouches-du-Rhône), et d'expérimentations sur le comportement des équipements et de la ventilation (Lecev), à Saclay (Essonne), et les simulations par le Cetim de Nantes (pilotage L2EC et Bureau d'expertise de génie civil).
4. Proches de la limite basse des tolérances de fabrication.

 **WEBMAGAZINE**

 **INFOGRAPHIE**  
**Irma : comment se déroule un test d'irradiation ?**  
[www.irsn.fr/R49](http://www.irsn.fr/R49)

## Comment débute la collaboration avec l'IRSN ?

En 2018, le Laboratoire d'expérimentation environnement et chimie (L2EC) de Cadarache (Bouches-du-Rhône) mène\* des caractérisations mécaniques de joints du tampon d'accès matériel (Tam). Il travaille sur une maquette, avec des joints neufs et vieillissés en conditions d'accident grave (AG). Il veut définir des lois de comportement décrivant chacun de ces états. Fin 2019, l'équipe sollicite le Cetim pour implémenter ces lois dans des simulations numériques.

## Quels résultats avez-vous obtenu ?

Nous élaborons un modèle intégrant un défaut de planéité de brides à l'échelle réelle et d'autres maquettes d'essais à échelle réduite. À l'issue des essais, nous confrontons les résultats expérimentaux et numériques. Nous analysons l'impact de la déformation du joint due au vieillissement dans diverses conditions de pression et de température. Ainsi, nous parvenons à relier le taux de compression au niveau d'étanchéité. Lorsque ce taux est inférieur à 5 %, l'étanchéité est compromise.

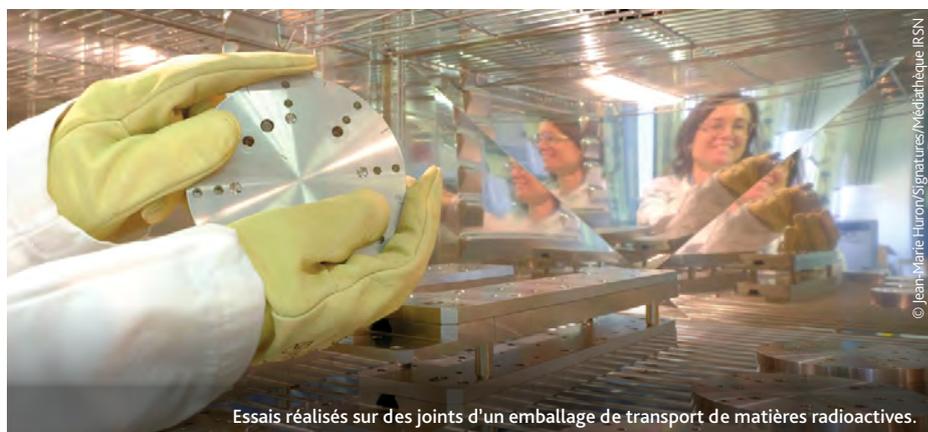
## Qu'apporte l'approche numérique ?

La modélisation intègre simultanément divers paramètres : géométrie du joint, serrages, défauts géométriques, impact de l'irradiation... Elle reproduit des conditions d'un AG et analyse les limites fonctionnelles du joint à divers stades du vieillissement. Elle étudie les phénomènes localement : les zones d'endommagement, les zones d'extrusion forte... Cet outil optimise les essais en ciblant les paramètres pertinents.

\* Avec le Laboratoire de recherches et de contrôle du caoutchouc et des plastiques (LRCCP, Vitry-sur-Seine).

## 3 questions à... Benoît Omnès

Expert étanchéité au Cetim  
(Centre technique des industries mécaniques)



Essais réalisés sur des joints d'un emballage de transport de matières radioactives.

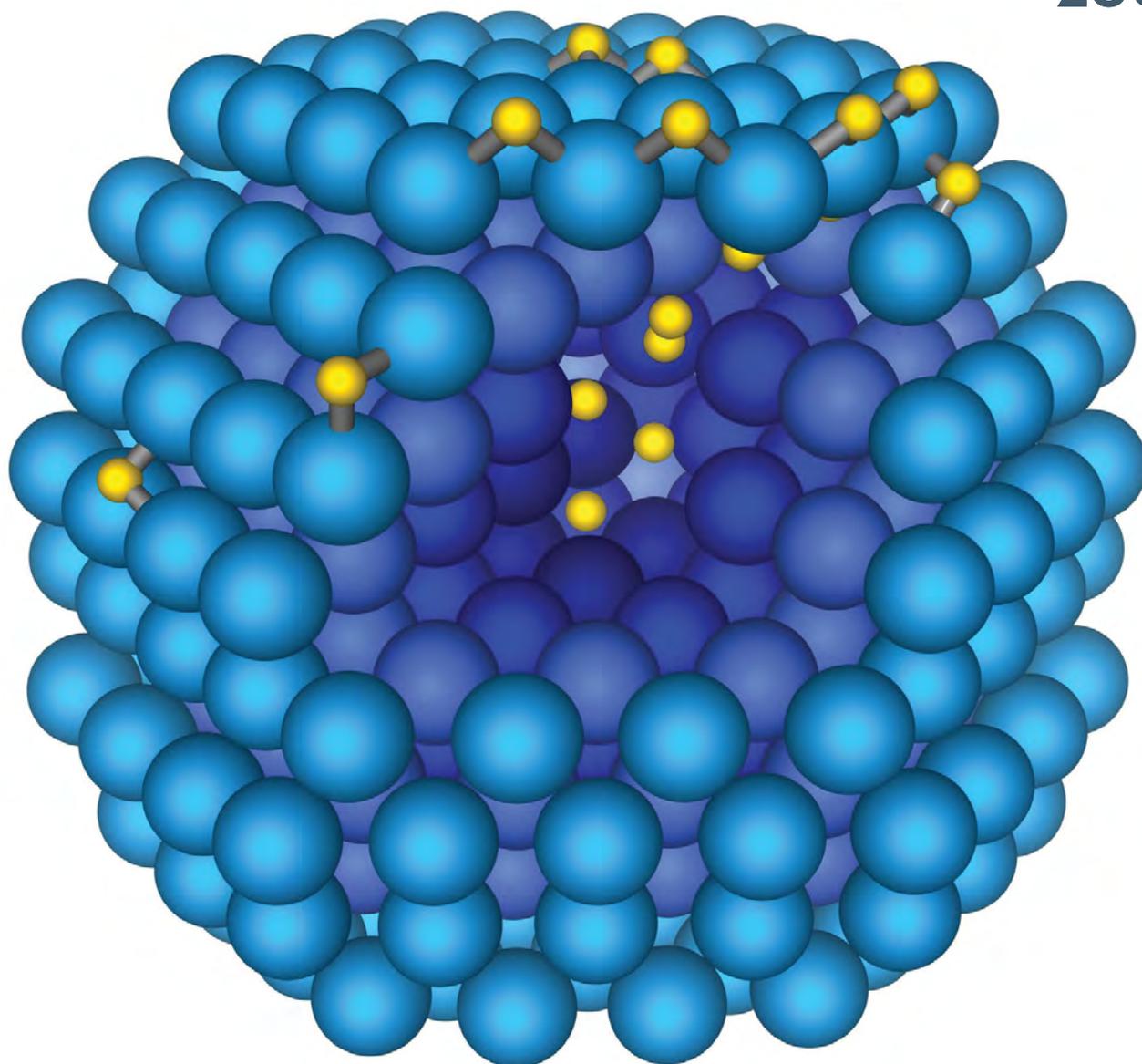
## AILLEURS

### Colis de transport : quelle étanchéité ?

À Cadarache (Bouches-du-Rhône), le Laboratoire d'expérimentation environnement et chimie (LE2C) prévoit des essais d'étanchéité des joints des colis de transport de matière radioactive. Ces joints étanchéifient leur fermeture et confinent la radioactivité. Dans les dossiers de sûreté, le fabricant prend en compte une déformation rémanente après compression (DRC) de l'ordre de 25 % pour calculer le taux de compression du joint. Or, en 2021, les essais du LE2C révèlent une DRC plus élevée dans des conditions

représentatives des transports. Plus le vieillissement augmente, moins les joints retrouvent leur forme initiale. « *Nos expériences portent sur leur vieillissement thermique*, précise Fabienne Bot-Robin, spécialiste du vieillissement des polymères. *Le rapport\* publié servira pour expertiser les dossiers des fabricants.* » Pour tester l'étanchéité, le LE2C et le Laboratoire de réalisation d'équipements expérimentaux (LR2E) dimensionnent les maquettes. Les essais débiteront en 2023.

\* Rapport IRSN 2021-00623.



Diamètre de la nanoparticule : 2 nm.

Chaque nuance de bleu représente une couche de béryllium dans la nanoparticule.

## Dans la chambre à vide

**François Viot**  
**Marc Barrachin**

Chercheurs en physique de la matière condensée

L'assemblage en couleur évoque un jeu d'enfant. Les pépites d'or le parsemant sont des atomes radioactifs de tritium, et les boules bleues, une centaine d'atomes de béryllium.

Sacré « jeu d'enfant », car il faut six scientifiques pour résoudre l'énigme qui consiste à déterminer les capacités d'accumulation du tritium au sein des nanoparticules de béryllium. Les « joueurs » du Laboratoire de l'étude du transfert des radioéléments (LETR) à Cadarache (Bouches-du-Rhône) et de l'Université de Patras (Grèce) font

équipe depuis 2017. Le premier apporte son savoir-faire en physique de la matière condensée. Le second son expertise sur la nanoparticule de béryllium. Leur « partie », finie en 2022, fournit à l'IRSN un renseignement clé pour évaluer les conséquences d'un accident du réacteur nucléaire à fusion ITER.

En effet, si le confinement de la chambre à vide de cette installation était perdu, le tritium issu de la fusion serait relâché. Pour limiter ce rejet, il faut réduire la quantité de tritium associée aux poussières de béryllium provenant de l'érosion des parois de la

chambre d'ITER. D'où le « jeu » ! Il modélise et quantifie ces interactions mal connues. Les scientifiques placent les atomes de tritium en différents points de la nanoparticule et calculent le caractère favorable ou pas de l'insertion du tritium.

Le « jeu » révèle une capacité de piégeage des particules de béryllium plus grande que ne le suggérerait la faible solubilité du tritium dans le métal massif. Un résultat qui devra être pris en compte pour instaurer un suivi de ces poussières radioactives, voire des techniques de récupération. ■



À l'usine Orano Melox de Marcoule (Gard), les opérateurs se forment à la manipulation dans une boîte à gants école. Objectif : améliorer la productivité de ce procédé dont les dysfonctionnements fragilisent le cycle du combustible. Cécile Lecarme et Jean Lombard, experts du cycle du combustible, observent cet exercice.

## x2

La vitesse de saturation des piscines d'entreposage doublera si deux réacteurs utilisant du combustible Mox sont fermés en France.

# Aval du cycle du combustible

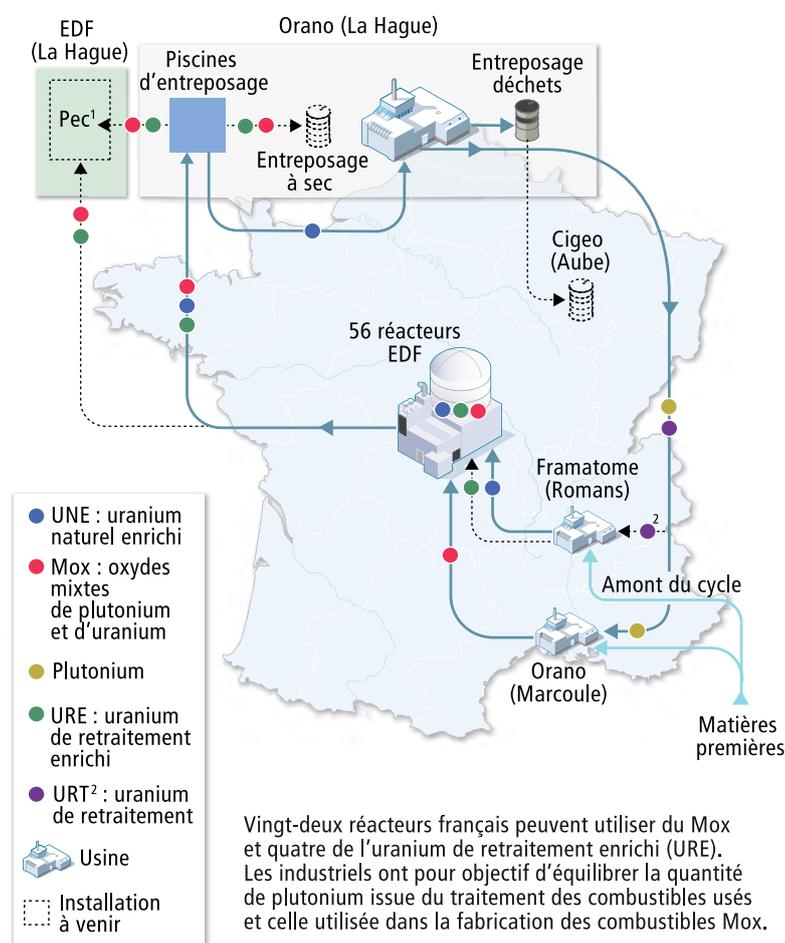
## Anticiper la saturation des entreposages

Des contraintes de plus en plus fortes pèsent sur les entreposages de matières et de déchets radioactifs associés au retraitement des combustibles usés de l'industrie électronucléaire française. L'IRSN veille à ce que les solutions des exploitants répondent aux exigences de sûreté et de radioprotection.

### EN CLAIR

#### Cycle du combustible : un équilibre fragile

Le cycle du combustible nucléaire français réutilise des matières valorisables. Étapes et acteurs de l'aval de ce processus, qui débute après l'utilisation du combustible dans les centrales.

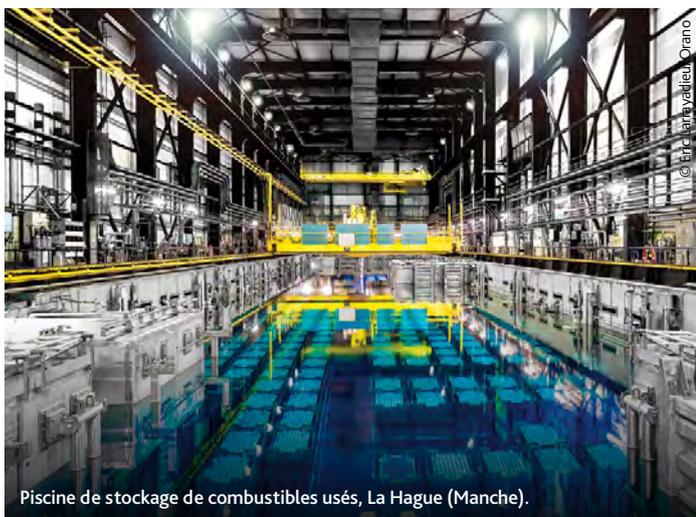


La France est l'un des rares pays nucléarisés à avoir adopté un recyclage partiel des matières issues des combustibles usés pour produire de l'électricité. Ces combustibles usés sont retraités<sup>1</sup> pour qu'une partie de leurs matières soit recyclée. L'Institut dispose d'une vision à 360° de ce cycle – de la production, au recyclage – et ses expertises couvrent toutes les installations impliquées (lire p. 15 et 16). Il analyse les choix et arbitrages visant à sécuriser le cycle dans sa conception, comme dans son fonctionnement, qu'ils viennent des politiques (lire p. 14) ou des exploitants. Repères fait le point sur plus de dix ans d'expertises sur le fonctionnement du cycle du combustible en France et de suivi des installations impliquées.

Depuis 2000, EDF transmet périodiquement à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) le rapport « Impact cycle ». Il présente les répercussions de la stratégie d'utilisation des différents types de combustibles sur chaque étape du cycle pour les dix années à venir. Ce rapport est rédigé avec les autres acteurs impliqués : Orano, Framatome et l'Andra. L'IRSN l'expertise. « L'examen de la cohérence du cycle sur le plan de la sûreté et de la radioprotection est essentiel pour anticiper les évolutions que les industriels devront apporter aux installations, telles que des modifications ou la création de nouvelles capacités d'entreposage », expose Igor Le Bars, directeur de l'expertise de sûreté de l'Institut.

En 2001, 2010 et 2018, l'Institut transmet à l'ASN trois rapports<sup>2</sup> consécutifs à ces expertises. Et il alerte ! « Nous voyions arriver la saturation des entreposages de combustibles usés dès 2010 », observe Igor Le Bars.

L'édition 2018 prend aussi en considération le scénario de la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) (lire p. 14). Pour réduire la part du nucléaire dans le mix énergétique en 2035, la PPE prévoit l'arrêt de plusieurs réacteurs de 900 MWe. Or, ceux-ci « écoulent » le combustible fabriqué à



Piscine de stockage de combustibles usés, La Hague (Manche).



Installations de traitement et d'entreposage du combustible nucléaire usé et installations en démantèlement à l'usine Orano de la Hague (Manche).

## “ Pour un bon fonctionnement du cycle du combustible, il faut se projeter sur au moins dix ans.

partir des matières recyclées, le Mox<sup>3</sup> (voir infographie p. 11). « Une baisse du recours au Mox diminuerait la vitesse de saturation des piscines d'entreposage des usines de retraitement de La Hague [Manche] », souligne Igor Le Bars.

### La nouvelle piscine de La Hague

Dès 2010 – sans prendre en compte l'arrêt des réacteurs de 900 MWe –, l'IRSN estime possible une saturation, à l'horizon 2030, des piscines d'entreposage des combustibles usés exploitées par Orano sur le site de La Hague. Au nombre de quatre, ces bassins, d'une capacité de 14 000 tonnes, refroidissent les combustibles usés avant leur retraitement. Ils en abritent déjà 10 000 tonnes.

Selon sa nature, le combustible séjourne dans l'eau de quatre ans à plusieurs décennies. Pour pallier la saturation à moyen terme, EDF acte en 2015 la construction d'une piscine d'entreposage centralisé (Pec). Elle devrait accueillir jusqu'à 6 500 tonnes de combustibles usés. Aujourd'hui, l'énergéticien prévoit sa construction à La Hague.

Comme chaque nouvelle installation nucléaire importante, la Pec fait l'objet d'un dossier d'options de sûreté (Dos). Les experts rendent leurs conclusions fin 2018 sur les systèmes de refroidissement et les principaux aléas considérés : séismes, inondations, crash d'avion... Ils jugent satisfaisants les choix de l'industriel. Ils devraient fournir un niveau de sûreté supérieur à celui des piscines d'entreposage existantes.

## 40 à 50

piscines de décroissance sont expertisées par l'IRSN. Le cumul de ces expériences contribue à l'expertise du projet de la future piscine d'entreposage centralisé.

« Nous examinons le système d'étanchéité envisagé pour le bassin : une couche métallique fixée sur la structure en béton. Ce choix pose des difficultés potentielles de conception, de réalisation et de surveillance, tempère Florence Gauthier, experte en sûreté. Nous demandons à EDF de poursuivre sa réflexion à ce sujet dans le dossier de demande d'autorisation de création de la Pec. »

L'énergéticien devrait adresser sa demande à l'ASN courant 2023. Par la suite, l'expertise du dossier par l'IRSN prendra environ deux ans. « Le volume de ce bassin étant sans équivalent, les spécialistes de la thermohydraulique pourraient devoir développer des modèles de calculs spécifiques. Cela permettra de s'assurer du bon dimensionnement des systèmes de refroidissement », estime Jean Lombard, expert en sûreté, coordinateur de l'expertise du Dos.

Le décret autorisant la construction de la Pec sera publié au plus tôt en 2026 pour une livraison à l'horizon 2034, selon EDF. Quid des quatre années séparant sa mise en service de la saturation des capacités actuelles ? Les industriels proposent plusieurs paradés. L'une d'elles est la densification des piscines d'entreposage existantes exploitées par Orano.

### Une solution transitoire

Les trois bassins du site de La Hague concernés par cette stratégie recevraient à terme environ 7 000 assemblages de plus, soit 30 % de capacité d'entreposage supplémentaires. Pour y parvenir, l'exploitant propose de diminuer la taille des paniers accueillant les assemblages entreposés et de réduire les espaces séparant ces paniers. Cette solution fait également l'objet d'un Dos, expertisé par l'IRSN dans un avis en mars 2021.

La densification des piscines augmente la puissance thermique totale entreposée. Elle rapproche également les combustibles et diminue la lame d'eau les séparant, pouvant entraîner une augmentation de la réactivité de l'entreposage.

Delphine Viret, experte de la sûreté des installations de retraitement, précise : « Notre expertise s'est concentrée sur les dispositifs proposés. Elle veille à maîtriser les risques liés aux dégagements thermiques et vise à empêcher le déclenchement intempestif d'une réaction neutronique en chaîne, dit risque de criticité<sup>4</sup>. »

Pour prévenir ce dernier, Orano propose de remplacer le matériau constituant la paroi interne des paniers par un autre, capable d'absorber davantage de neutrons. Pour maîtriser les risques liés aux dégagements thermiques, il prévoit d'installer un plus grand nombre de systèmes assurant le refroidissement – échangeurs thermiques et aérorefrigerants – de l'eau des bassins. Malgré cela, la température maximale de fonctionnement normal – aujourd'hui autour de 45 °C – devrait atteindre 50 °C. « Une telle exploitation des piscines est envisageable, à condition de démontrer que cette température ne favorise pas le développement de micro-organismes susceptibles d'altérer le fonctionnement des systèmes d'épuration d'eau », souligne Delphine Viret.

Les experts examineront prochainement la demande d'autorisation de densification des trois piscines de La Hague, qui doit être transmise à l'automne 2022. Si elle présente toutes les garanties requises pour la sûreté, cette opération pourra débuter en 2024. « Cette parade ne saurait être qu'une solution transitoire en attendant la piscine d'entreposage centralisé », précise Igor Le Bars.

## Entreposage à sec sous conditions

L'entreposage à sec est une alternative à la densification. Le refroidissement des assemblages repose sur la circulation naturelle de l'air autour des dispositifs d'entreposage qui les abritent. Un atout en matière de sûreté, qui a la préférence de la société civile (*lire interview de Yannick Rousselet dans le webmag*).

L'Institut produit deux études en 2018<sup>5</sup>. La seconde contribue à préparer le débat public dédié au plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR 2019-2021). Elle s'appuie sur l'expérience de pays utilisant ce type d'entreposage depuis plus de vingt-cinq ans : États-Unis, Belgique et Allemagne.

« Cette solution est envisageable dès lors que la puissance thermique d'un assemblage est inférieure à 2 kW, soit la chaleur que dégage un fer à repasser », résume Frédéric Ledroit, expert en sûreté, coordinateur des deux rapports (*voir vidéo webmag*). Cette solution ne peut donc pas être utilisée dès la sortie du réacteur. Un refroidissement préalable du combustible en piscine<sup>6</sup> est nécessaire.

L'entreposage à sec pourrait être mis en œuvre dès à présent. Il concernerait plus de la moitié des assemblages usés entreposés sous eau ne faisant pas l'objet d'un retraitement actuellement : les 1 150 combustibles URE (uranium de retraitement enrichi)

## PROCESS

### Observatoire du cycle du combustible Le partage d'informations



Réunion des experts de l'Observatoire du cycle du combustible, à Fontenay-aux-Roses (Hauts-de-Seine).

Réacteurs nucléaires, fabrication et retraitement du combustible, transport... Pour partager les données relatives à chaque étape de vie du combustible, l'IRSN crée en 2019 un Observatoire du cycle. Il réunit trois à quatre fois par an une dizaine de spécialistes de la sûreté et de la sécurité des installations, des déchets... Différentes phases du cycle sont couvertes.

Ils mettent en commun leurs informations et connaissances, notamment issues des expertises de l'IRSN. « Auparavant, nous n'avions pas de vue globale sur un dossier. Certains experts interagissaient avec EDF, d'autres avec Orano. Les informations n'étaient pas partagées », raconte Jean Lombard, expert en sûreté et coordinateur de l'Observatoire.

Le dispositif montre rapidement son intérêt. En 2019, EDF présente un dossier de sûreté relatif à la reprise de la fabrication de combustibles à base d'uranium de retraitement enrichi (URE).

Les discussions entre experts soulèvent un doute concernant le transport des containers de la matière première entre l'usine russe – qui assure l'enrichissement – et le site isérois de Framatome (Romans-sur-Isère), fabriquant des combustibles. « Les délais de transport et de traitement prévus par l'industriel semblaient trop longs pour assurer la radioprotection. En effet, un maximum de cent-quatre-vingts jours avant vidange des containers était imposé », détaille Jean Lombard. Il est demandé à l'exploitant d'effectuer une étude plus poussée.

En 2021, l'énergéticien démontre, calculs à l'appui, une radioprotection effective au-delà de trois-cents jours. Le doute est levé.

et les quelque 2 500 assemblages Mox à faibles teneurs en plutonium. La catégorie de Mox actuellement utilisée dans les réacteurs, plus riche en plutonium, ne serait compatible avec un entreposage à sec respectant les exigences de sûreté et de radioprotection qu'à l'horizon 2040. Toutefois, même après ce laps de temps, les assemblages restent très radioactifs, nécessitant des dispositions de radioprotection importantes.

Le Dos d'une telle installation est transmis par Orano en 2021. La demande d'autorisation de création est attendue courant 2023. Elle pourrait fonctionner à partir de l'année 2027.

## Trop-plein de rebuts Mox

La fabrication et la gestion des combustibles se nomment « cycle », car ces étapes sont fortement interconnectées. Tout dysfonctionnement du recyclage affecte – voire compromet – les entreposages nécessaires au fonctionnement du cycle. D'autant que le projet français de stockage profond de déchets radioactifs – Centre industriel de stockage géologique (Cigéo) dans la Bure (Meuse) – connaît une mise en place décalée. Le cas de l'usine Melox

de Marcoule (Gard) est à ce titre emblématique (lire p. 16). Depuis 2018, ce site fabriquant du Mox génère davantage de combustibles non conformes (rebuts). Ceci s'explique par le vieillissement des installations, combiné au changement du procédé de fabrication de la poudre d'uranium utilisée dans ce combustible.

En juillet 2021, Orano informe l'ASN de la saturation prévisible des entreposages de rebuts Mox à La Hague au premier trimestre 2022.

Face à l'urgence, il propose de créer de nouveaux espaces d'entreposage sur ce site. En septembre 2021, une première demande est déposée. L'expertise de l'IRSN est aussitôt enclenchée et conduit l'exploitant à revoir de manière notable la conception des modules d'entreposage. « Ces modules seront disposés sur deux niveaux. Or, l'exploitant n'a pas pris en considération dans son analyse initiale tous les cas possibles de chute du module d'entreposage lors de la maintenance », détaille Delphine Viret.

Les trois-cent-soixante-dix-huit emplacements de ce nouvel entreposage sont opérationnels depuis fin avril.

D'ici la fin 2023, Orano souhaite installer à La Hague deux autres entreposages de rebuts Mox, pour plus de mille nouveaux emplacements.

Afin d'assurer le fonctionnement du cycle, la résolution des dysfonctionnements de l'usine Melox reste un enjeu capital (lire p. 16).

« À l'horizon 2023-2024, cette usine devra retrouver un niveau de rebuts raisonnable. Pour cela, l'exploitant devra entre autres renforcer les compétences des travailleurs impliqués dans la production et la maintenance », conclut Igor Le Bars. ■

1. Le retraitement sépare le plutonium (1%) de l'uranium de retraitement (95%) et des déchets ultimes que sont les matières fissiles (4%).
2. Rapport IRSN 2018-00007.
3. Le Mox – mélange d'oxydes de plutonium et d'uranium – recycle une partie des matières nucléaires à base d'uranium naturel enrichi (UNE) à l'issue de leur utilisation dans les réacteurs.
4. Un accident de criticité se traduit par un dégagement d'énergie, surtout sous forme de chaleur, et d'une émission de rayonnements neutroniques et gamma.
5. Demande de la commission d'enquête parlementaire sur la sûreté et la sécurité des installations nucléaires.
6. Bassins destinés à accueillir le combustible déchargé du réacteur.

## FOCUS

### Politique énergétique Un cycle sous influence



La centrale de Fessenheim (Haut-Rhin) de 900 MWe, à l'arrêt depuis 2020, fait partie des installations utilisant du Mox.

« Le bon fonctionnement du cycle du combustible nécessite une visibilité de dix ans au minimum. Nous ne l'avons plus aujourd'hui. Des décisions à court terme le mettent en péril », prévient Igor Le Bars, directeur de l'expertise de sûreté de l'IRSN. Ce sujet dépasse la sphère des spécialistes : en février dernier, Sonia Krimi, alors députée, lors de sa visite des laboratoires de l'IRSN à Cherbourg-Octeville (Manche) interroge l'Institut.

« Nous lui avons exposé la complexité du cycle, notamment au regard des choix retenus par la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), mentionne Igor Le Bars. Nous avons mis en lumière les enjeux associés à des projets comme la densification des entreposages sous eau et la piscine centralisée de La Hague » (lire p. 11).

La PPE définit les grandes lignes de la politique énergétique française pour les années à venir. Elle prévoit la poursuite de la stratégie de retraitement

des combustibles usés jusqu'en 2040. Elle planifie d'abaisser à 50 % la part du nucléaire dans le mix électrique d'ici 2035, soit de fermer douze réacteurs en plus des deux de Fessenheim (Haut-Rhin) arrêtés en 2020. Enjeux : ces fermetures concernent les réacteurs de 900 MWe, le seul débouché pour le combustible recyclé, le Mox. Ce choix se répercutera sur le cycle. EDF prévoit d'alimenter en Mox certains réacteurs de 1 300 MWe, mais pas avant 2032, le temps de les adapter. De plus, la PPE considère un fonctionnement normal des installations du cycle. Or, elles sont soumises à des aléas. L'arrêt temporaire des usines de La Hague (Manche) est ainsi dû à la corrosion de certains équipements (lire p. 15), tandis que les difficultés de l'usine Melox de Marcoule (Gard) sont causées par des dysfonctionnements... (lire p. 11 et 16). « L'anticipation est la clé », conclut Igor Le Bars.

## WEBMAGAZINE



**À LIRE**  
4 questions à...  
Yannick Rousselet,  
porte-parole  
de Greenpeace  
[www.irsn.fr/R54](http://www.irsn.fr/R54)

## WEBMAGAZINE

### VIDÉO

Entreposage du combustible nucléaire usé  
[www.irsn.fr/R54](http://www.irsn.fr/R54)

## WEBMAGAZINE



**À LIRE**  
Avis illustré  
et commenté  
sur le cycle  
du combustible  
[www.irsn.fr/avis-cycle-combustible](http://www.irsn.fr/avis-cycle-combustible)

# Un cycle sous surveillance

Que se passe-t-il lorsqu'une non-conformité est décelée dans une installation qui traite ou recycle le combustible usé ? Les experts de l'IRSN l'analysent et étudient les répercussions sur le cycle. Exemple à l'usine d'Orano, à La Hague, en Manche.

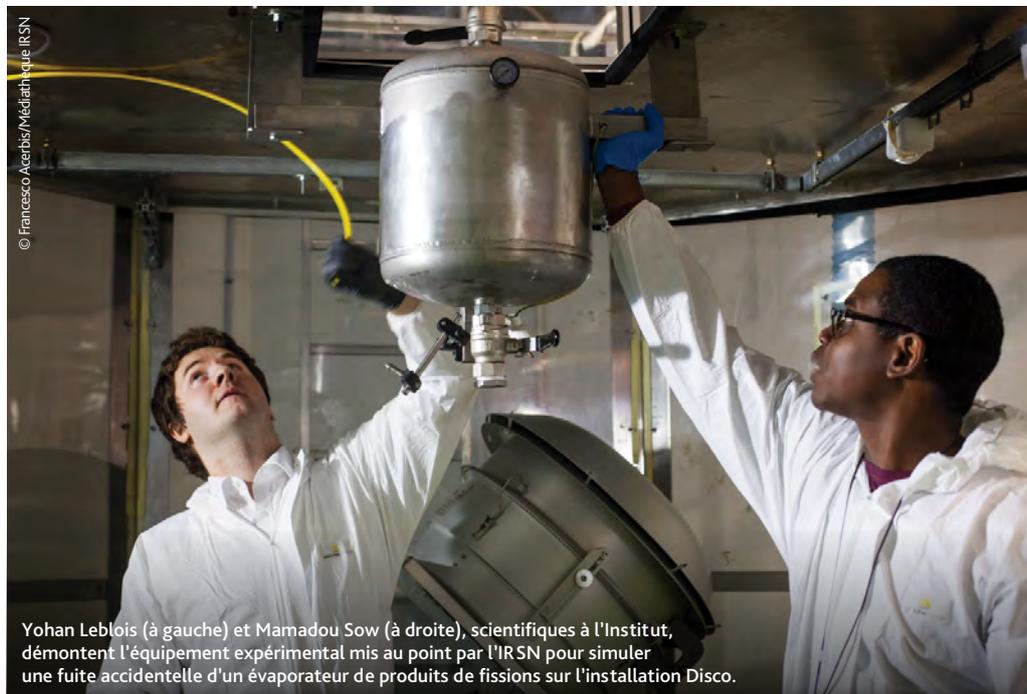
**E**n septembre 2021, une des deux usines de retraitement du combustible usé de La Hague (Manche) ne redémarre pas à la suite de son arrêt pour maintenance : un des évaporateurs présente une corrosion trop avancée. Peu avant, les experts, qui suivent depuis plus de dix ans l'état de ces équipements – servant à concentrer des produits de fission – avaient alerté l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Dès que la suspension est actée, l'Institut évalue son impact sur le cycle du combustible (lire p. 11).

## Un évaporateur à l'arrêt

« Dès 2011, Orano constate une corrosion des évaporateurs plus importante qu'attendue à la conception. Elle est signalée à l'occasion de mesures d'épaisseur réalisées lors du premier réexamen périodique de l'usine UP3-A, retrace Delphine Viret, experte de l'usine de La Hague. En 2016, l'exploitant renforce le suivi en exploitation. Il met en place des dispositions pour limiter la corrosion et décide de leur remplacement. » Les nouveaux évaporateurs seront en service en 2023 et 2024.

Depuis 2015<sup>1</sup>, ce sujet fait l'objet de plusieurs avis de l'IRSN. Il recommande que l'exploitant contrôle plus fréquemment l'épaisseur de la paroi de ces équipements : tous les ans dans les zones les plus sensibles, tous les deux ans sur l'ensemble de l'équipement. Il préconise en plus de prendre des dispositions pour limiter la corrosion : diminuer la pression et température de fonctionnement, rapprocher des rinçages, etc.

Ce suivi renforcé connaît un tour décisif en 2021. « Lors des mesures réalisées en mai-juin de cette année-là, l'exploitant utilise un



Yohan Leblois (à gauche) et Mamadou Sow (à droite), scientifiques à l'Institut, démontent l'équipement expérimental mis au point par l'IRSN pour simuler une fuite accidentelle d'un évaporateur de produits de fissions sur l'installation Disco.

nouveau mode opératoire et rencontre des difficultés, relate Delphine Viret. Les premières données sont discordantes. Les relevés ne faisaient pas apparaître de perte d'épaisseur depuis les vérifications précédentes. Ce n'était pas cohérent avec la durée d'utilisation de l'évaporateur. » Les experts rendent un avis en juillet 2021<sup>2</sup>. Sur la base de leurs recommandations, l'ASN demande à Orano de mener de nouvelles mesures en septembre, en triplant le nombre de points à vérifier. Celles-ci confirment que l'épaisseur de la paroi d'un des trois évaporateurs a atteint le seuil défini dans les dossiers de sûreté. En deçà, il doit être arrêté. L'usine redémarre fin 2021 avec un équipement en moins, qui est arrêté définitivement.

## Risque de saturation

Trois experts évaluent l'impact de ce fonctionnement dégradé sur le cycle (voir infographie p. 11). Une conséquence majeure apparaît : l'arrêt d'un autre évaporateur conduirait à la fermeture d'une des deux usines. « Il serait alors plus difficile de traiter les 1 100 tonnes annuelles de combustible prévues dans le cycle, détaille Florence Gauthier, experte des installations de retraitement. Cela saturerait les entreposages avant l'échéance de 2030, potentiellement dès 2024. »

Pour quantifier ce risque, l'Institut dispose du logiciel de simulation Cyclope. Il modélise les flux de matière dans l'ensemble du cycle. « Ce logiciel contrôle finement les paramètres, tel le régime de fonctionnement de chaque maillon du cycle », précise Jean Lombard, expert du cycle du combustible. Les simulations d'EDF et leur sensibilité aux imprévus sont mises à l'épreuve. Cyclope alerte sur les dates de saturation des entreposages et la nécessité de mettre en œuvre des parades en cas de saturation annoncée, comme l'extension d'entreposages de rebuts Mox.

Selon Orano, le raccordement des nouveaux évaporateurs<sup>3</sup> nécessitera d'arrêter l'usine de juin à décembre 2023. Les experts analysent l'impact d'un éventuel retard du chantier. Selon eux, la saturation de la piscine de combustible usé interviendrait avant que l'industriel ne mette en œuvre des solutions de moyen terme (lire p. 11).

« C'est un risque critique, commente Jean Lombard. Nous l'avons porté à la connaissance de l'ASN<sup>4</sup>. » ■

1. Avis IRSN 2015-00376 et 2016-158.

2. Avis IRSN 2021-000907.

3. Projet « Nouvelle concentration des produits de fission » (NCPF).

4. Avis IRSN 2022-00049.



**1** Cécile Lecarme, experte du cycle du combustible, assiste à une formation sur la manipulation en boîte à gants au sein de l'usine Orano Melox, dans le Gard.

**2** En formation, un opérateur de production s'entraîne à manipuler différents outils, dans une boîte à gants école, sous l'œil attentif de Cécile Lecarme.

**REPORTAGE** Depuis 2018, l'usine gardoise Orano Melox rencontre des difficultés de production qui affectent le cycle du combustible en France. Pour s'en affranchir, l'entreprise forme ses travailleurs sur les boîtes à gants. Les experts de l'IRSN s'y intéressent à l'occasion d'une visite.

## Usine Orano Melox

# Prendre des gants avec le cycle

**S**on badge d'accès permanent en témoigne, Cécile Lecarme, experte en sûreté, spécialiste du cycle du combustible à l'IRSN, est une habituée de l'usine Orano Melox à Marcoule (Gard). Son équipe s'y rend régulièrement. Elle assure le suivi de ce site de production du combustible Mox, ce mélange d'oxydes de plutonium et d'uranium qui recycle une partie des matières nucléaires après leur utilisation dans les réacteurs (*lire p. 11*).

« Réunions techniques mensuelles avec l'exploitant, appui aux inspections de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), réunions ou visites dans le cadre de dossiers d'autorisation, réexamen de sûreté tous les dix ans... », détaille-t-elle.

### Non conformes

Aujourd'hui, elle est accompagnée de Jean Lombard, expert du cycle. L'usine fait face à des difficultés. Elle a un taux trop élevé de rebuts – combustible produit non conforme – et un volume de production trop faible. Or, le Mox est au cœur du recyclage des combustibles. De plus, la surproduction des rebuts affecte fortement les capacités d'entreposage. « Nous suivons de près les actions engagées par l'exploitant pour résoudre ces problèmes qui se répercutent sur l'ensemble du cycle », commente Jean Lombard.

L'objet de leur visite ? S'enquérir du programme de formation que l'exploitant déploie pour revenir à des volumes de production et des niveaux de qualité satisfaisants. Après un passage dans le bâtiment de production – l'occasion pour Cécile Lecarme de

faire le point sur la radioprotection du personnel –, les deux experts se dirigent vers le lieu dédié à la formation.

### Observer le geste technique

La pièce est fortement éclairée. Les bras enfoncés dans la boîte à gants école d'un jaune vif, le travailleur en formation colle son visage à la paroi vitrée. Il manipule des pastilles de combustible inactives à l'aide d'une pince. Sa concentration est palpable, son effort perceptible. « Manipuler avec des gants épais, en regardant à travers une paroi qui s'opacifie au fil du temps, n'est pas facile ! Se former et s'entraîner est essentiel pour maîtriser les gestes », souligne Jean Lombard.

Les boîtes à gants école sont des répliques exactes de celles utilisées en production. Elles sont indispensables pour protéger les opérateurs des radiations. Mais, elles compliquent l'intervention et la maintenance sur la chaîne de fabrication du combustible Mox.

Autre étape de la visite : un échange avec le responsable du programme prévisionnel de déploiement et du chargé de formation. Orano a accéléré la cadence depuis fin 2021. Plus de deux-cent-cinquante salariés et prestataires seront formés chaque année. En plus de la session initiale, un recyclage est prévu tous les dix-huit mois.

« Des opérateurs bien formés, c'est la clé pour une production de qualité », conclut Jean Lombard. C'est essentiel pour assurer la continuité du cycle du combustible. ■

### ■ BIBLIOGRAPHIE

Avis et rapports  
Rapports 2018-00007 et 00151  
Avis 2015-00376  
Avis 2016-158  
Avis 2018-00003 et 00126  
Avis 2019-PEC  
Avis 2021-00089 et 000907  
Avis 2022-00049

Pour en savoir plus  
Le cycle du combustible  
[www.irsn.fr/cycle](http://www.irsn.fr/cycle)  
Le combustible Mox  
[www.irsn.fr/combustible-mox](http://www.irsn.fr/combustible-mox)  
Le cycle du Mox en France  
[www.irsn.fr/cycle-mox](http://www.irsn.fr/cycle-mox)  
La fabrication du Mox  
[www.irsn.fr/fabrication-mox](http://www.irsn.fr/fabrication-mox)  
Le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR)  
[www.irsn.fr/pngmdr](http://www.irsn.fr/pngmdr)  
Fiche d'information du public n°5 « Le cycle français du combustible »  
[www.asn.fr](http://www.asn.fr)



Mélanie Terme et Julien Faramond, techniciens en radioécologie au Laboratoire d'étude et d'expertise sur la radioactivité de l'environnement (Leren), prélèvent de l'herbe près de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice.

Centrales nucléaires

# Quelle exposition ajoutée pour les riverains ?

**L'ESSENTIEL** L'impact d'une centrale nucléaire sur les populations est aujourd'hui mieux connu. Cet impact est estimé lors d'une étude radiologique de site menée en Isère, aux abords de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil. La dose efficace ajoutée pour un riverain se situe au-dessous du seuil réglementaire. **TÉMOIGNAGE** Une maraîchère en agriculture biologique.

**DÉCRYPTAGE** Quelle exposition ajoutée pour un riverain ? **AVIS D'EXPERT** Un ingénieur en sciences de l'environnement.



**Cyrielle Paulino**

Maraîchère en agriculture biologique à Saint-Pierre-de-Bœuf (Loire).

## TÉMOIGNAGE "Je m'interroge davantage sur le fonctionnement de la centrale"

**J'**exerce depuis cinq ans une activité de maraîchage à quelques kilomètres en aval de la centrale de Saint-Alban (Isère). Mon exploitation de cinq hectares certifiée bio produit des fruits et des légumes de saison.

En tant qu'agricultrice, depuis longtemps je suis plus préoccupée par la pollution atmosphérique des nombreuses usines chimiques installées le long de la vallée du Rhône, que par les rejets de la centrale. En octobre 2019, je donne mon accord aux experts de l'Institut pour la mesure de la radioactivité de mes productions végétales. En effet, je suis curieuse de savoir ce qu'il en est.

Des techniciens collectent plusieurs fois des échantillons de légumes racines – navets, carottes... – et de salades sur l'exploitation. J'accepte aussi les

analyses de l'eau du puits, car elle sert à irriguer les cultures et à la consommation familiale.

### Quel impact sur l'environnement ?

Six mois après la fin des prélèvements, en avril 2021, le responsable de l'étude nous présente les résultats en personne. Les niveaux de radioactivité mesurés dans nos légumes et dans l'eau se situent très largement en dessous des seuils d'alerte. L'IRSN étant censé être un organisme de contrôle impartial, je lui fais confiance.

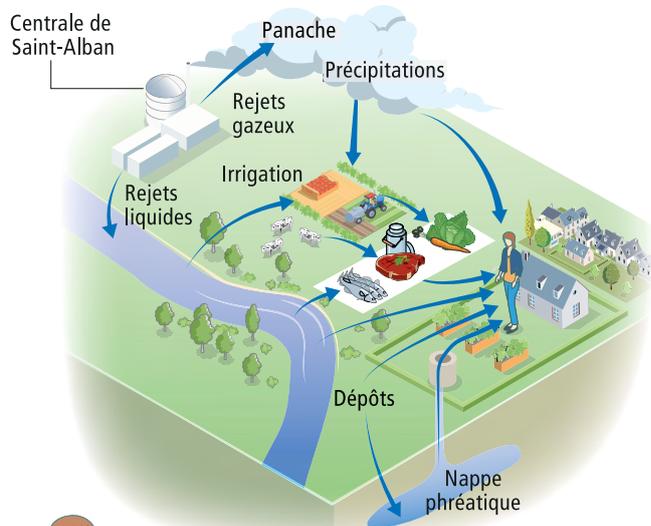
Depuis la réalisation de l'étude, je me pose davantage de questions sur le fonctionnement de la centrale, son possible impact sur l'environnement et la santé des personnes qui, comme moi, habitent à proximité. ■

# Quelles sont les étapes d'une étude radiologique de site ?

Une étude radiologique de la population vivant de la radioactivité de des habitants\*. Exem

## 1 L'exposition est calculée par l'exploitant

La dose efficace est déterminée à l'aide de **code de calcul** sur la base des limites autorisées et à partir des rejets réels. Elle tient compte des mécanismes de transfert des radionucléides de l'environnement vers l'homme.  
**Pour Saint-Alban, EDF l'évalue à 0,12 µSv/an pour un adulte**, sur la base des rejets réels 2020.  
 L'IRSN suit également les rejets et calcule l'impact pour l'homme.



**Profil type d'un riverain participant à l'ERS.**  
 Dominique habite dans un rayon de 10 km de la centrale.

Son exposition ajoutée dépend surtout de :

- la radioactivité dans l'eau et les aliments qu'elle consomme,
- la radioactivité dans l'air qu'elle respire,
- son mode de vie.

La majorité de son alimentation est produite localement. Elle séjourne peu en dehors de la zone d'étude.  
**L'ERS détermine la part respective de ces trois facteurs.**

## 2 L'ERS évalue l'exposition

L'ERS repose sur plus de 960 prélèvements, 1 200 analyses. Plus de 270 personnes sont interrogées.



**Aliments** Les mesures radiologiques d'aliments d'origine végétale et animale prélevés entre 1 et 10 km autour du site servent à évaluer l'exposition **due à leur ingestion**. Ils proviennent d'une quarantaine d'exploitations agricoles et des potagers de riverains volontaires.



**Eau** Pendant une année, le suivi mensuel de huit captages d'eau potable exploitant la nappe phréatique aide à estimer la **radioactivité ingérée via l'eau**. Des prélèvements ponctuels d'eau potable distribuée à moins de 10 km de la centrale complètent ce suivi.



**L'air** L'exposition par inhalation est déterminée. Pour le tritium, elle est faite à l'aide de piègeurs passifs de l'humidité de l'air. Pour les radionucléides émetteurs gamma, l'ERS collecte des aérosols via un dispositif de prélèvement qui filtre l'air, installé à 1 km en aval du site au point d'activité maximale.



**Mode de vie** Une enquête de proximité porte sur le temps passé dans la zone d'étude, les habitudes alimentaires...

Pour Dominique :

- 10 mois sur 12 à moins de 10 km de la centrale de Saint-Alban.
- consomme 1,3 kg/jour de produits locaux (70 % de la ration alimentaire quotidienne)

1. L'ERS associe les parties prenantes intéressées : élus, riverains, associations, exploitant nucléaire...



Cette armoire à barboteurs tritium et carbone 14 permet de suivre la teneur en ces radioéléments à 1 km de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice.

© Pascal Paulat/Médiathèque IRSN

### CARTOGRAPHIE

L'étude radiologique comporte des **mesures de l'activité du tritium dans l'air**. Des **piégeurs passifs** – composés d'un tamis moléculaire – collectent en continu la vapeur d'eau atmosphérique. De janvier à octobre 2019, quinze piègeurs passifs installés de 1 à 10 km de la centrale recueillent **195 échantillons**. L'activité moyenne maximale de 0,04 Bq/m<sup>3</sup> est mesurée à 1 km au nord et au sud du site. Au-delà, elle rejoint rapidement celle du bruit de fond d'air d'environ 0,01 Bq/m<sup>3</sup>.

### ÉTUDE NAPPE PHRÉATIQUE

Une campagne d'analyses se focalise sur la **recherche du tritium**, le radionucléide constituant l'essentiel des rejets liquides d'une centrale. Les prélèvements sont réalisés sur des points de **captage d'eau potable** et des **puits** utilisés pour irriguer les cultures, 10 km autour de la centrale. Sur les **139 prélèvements, tous sont au-dessous de la limite de détection\*** de 10 Bq/L. Pour 83 % d'entre eux, la teneur est de 0, 5 à 4,5 Bq/L.

\* Valeur au-dessus de laquelle on peut conclure à la présence de radioactivité dans l'échantillon.

que de site (ERS) évalue l'exposition ajoutée pour près d'un site nucléaire sur la base de mesures de l'environnement et d'informations sur le mode de vie de l'ERS menée près de la centrale de Saint-Alban (Isère).

### 3 L'ERS analyse des prélèvements

Le tritium et le carbone 14 constituent l'essentiel des rejets liquides et atmosphériques d'une centrale et sont également **d'origine naturelle**. Ils sont recherchés dans les denrées et l'air. Leur activité est déterminée en Bq/m<sup>3</sup> pour l'air, en Bq/L pour l'eau et en Bq/kg pour les denrées solides.

Le césium 137, le cobalt 58 et 60 et une vingtaine de **radionucléides artificiels et naturels** sont mesurés par spectrométrie gamma dans les aérosols et certaines denrées alimentaires.

### 4 Estimer l'exposition ajoutée

L'**exposition ajoutée** est obtenue en multipliant l'activité radiologique mesurée par un facteur de dose propre au radionucléide et au mode d'exposition.

La **radioactivité ajoutée imputable** à la centrale est **très en deçà du seuil réglementaire** de 1 000 µSv/an. Elle est **évaluée par l'ERS entre 0,07 à 0,2 µSv/an**, suivant les habitudes alimentaires et de vie. Ceci est sans conséquence sanitaire.



#### Exposition ajoutée

**0,07 à 0,2 µSv/an**  
Dose due aux rejets de la centrale

**2,7 à 4,5 mSv/an<sup>2</sup>**  
Dose due au rayonnement naturel, santé...

#### Origine des expositions

95 % : aliments



5 % : air

#### Radionucléide en cause

Le **carbone 14** contribue à hauteur de **70%** à la dose par ingestion

2. 1 mSv = 1 000 µSv

#### D'AUTRES SITES INVESTIGUÉS

- Une seconde ERS est lancée en 2021 près de l'**usine de purification de l'uranium** d'Orano Malvésy, dans l'Aude. Des prélèvements sont réalisés dans l'environnement. Principaux radionucléides recherchés : l'uranium et ses descendants.
- Une **ancienne mine d'uranium** fera l'objet d'une ERS à partir de 2022. Le site reste à déterminer. Il devra disposer d'une zone de stockage de résidus de traitement du minerai. L'ERS s'intéressera à l'uranium 238 et au thorium 232 ainsi qu'à leurs descendants respectifs.

#### CONTACT

Laboratoire d'étude et d'expertise sur la radioactivité de l'environnement (Leren)  
Lionel Saey [lionel.saey@irsn.fr](mailto:lionel.saey@irsn.fr)  
04 42 19 96 85  
Cli de Saint-Alban : [www.isere.fr/risques](http://www.isere.fr/risques)

#### POUR ALLER PLUS LOIN

- ERS de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil [www.irsn.fr/etude-cnpe](http://www.irsn.fr/etude-cnpe)
- Synthèse de l'étude du tritium dans l'environnement à partir de piègeurs passifs [www.irsn.fr/synthese-etude](http://www.irsn.fr/synthese-etude)

## AVIS D'EXPERT



Lionel Saey

Ingénieur en sciences de l'environnement

## Le soutien des acteurs locaux est capital

“ Dès le lancement de l'étude radiologique de site (ERS) à Saint-Alban (Isère) en 2019, les experts bénéficient de l'implication de nombreux acteurs locaux. La Commission locale d'information (Cli) demande à être informée de l'avancement de l'étude et met en place un groupe de suivi composé de volontaires. Les maires des communes concernées font le relais entre leurs administrés ; l'Institut et les élus locaux aident à sélectionner les exploitations agricoles où sont prélevées les denrées pour la mesure de la radioactivité. Sans ce soutien, nous n'aurions pas pu convaincre les deux-cent-soixante-quinze personnes – un échantillon de la population vivant dans un rayon de 10 km autour de la centrale – de participer aux enquêtes sur le mode de vie et les habitudes alimentaires. Celles-ci sont indispensables pour établir des scénarios plus réalistes d'exposition. Le résultat est là : l'ERS bénéficie d'une approche scientifique, qui répond aux attentes des citoyens. C'est par exemple à leur demande qu'en mai 2021 l'analyse des plateaux repas est réalisée pour trois cantines scolaires qui privilégient les productions locales.

### CONTACT

Lionel Saey  
04 42 19 96 85  
[lionel.saey@irsn.fr](mailto:lionel.saey@irsn.fr)

# Cuve des réacteurs : la société civile s'implique

Fissures, irradiation, vieillissement... quels sont les risques liés à l'exploitation des réacteurs de 900 MWe au-delà de quarante ans ? Pour répondre aux préoccupations de la société civile, une journée sur le thème des cuves réunit experts et citoyens. Retour sur les échanges en cinq questions.

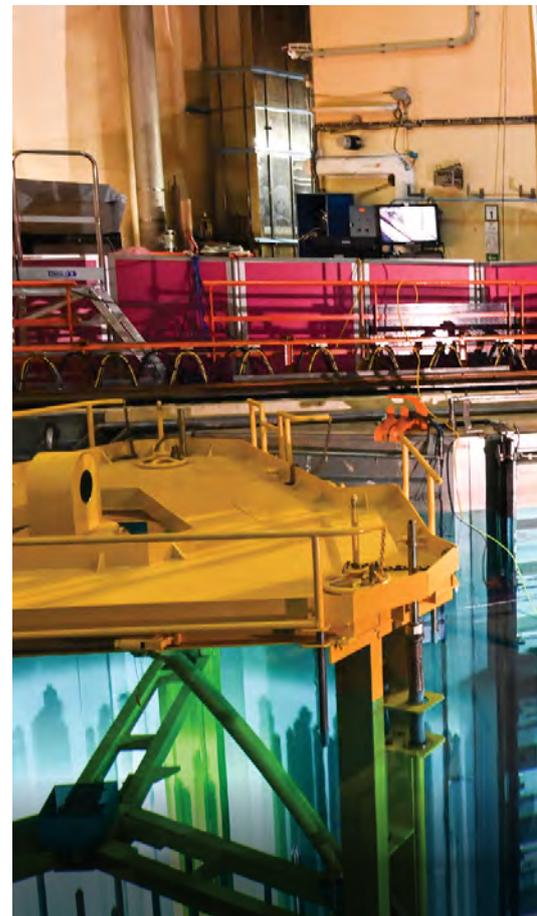
## 1 Quelles sont les questions de la société civile ?

À l'issue de l'instruction du dossier cuve pour une poursuite d'exploitation des réacteurs de 900 MWe jusqu'à cinquante ans, l'Association nationale des comités et commissions locales d'information (Anccli), l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et l'IRSN proposent une réunion à la société civile. Sujet : les effets de l'irradiation sur les cuves. Qualité du métal, fissurations, suivi en service... leurs questions sont nombreuses. Que se passe-t-il lors des arrêts-redémarrages, quel est l'impact sur les points fragiles ? Les échantillons en acier – dits éprouvettes – placés dans la cuve, utilisés pour évaluer les effets de l'irradiation, sont-ils représentatifs de l'état réel de la cuve ? Permettent-ils de modéliser le vieillissement au plus juste ? La session d'échange du 22 juin 2021

permet d'aborder ces thèmes. Jacques Bonnetaud du collège des personnes qualifiées de la Commission locale d'information (Cli) des grands équipements énergétiques du Tricastin (Cligeet), dans la Drôme se souvient de la richesse des explications. « Des centaines de pages de documents sont diffusées lors des réunions publiques. Elles ne sont souvent pas très compréhensibles pour le non-spécialiste et il n'y a pas de vrai dialogue, remarque Roger Spautz, membre de la Cli de Cattenom (Moselle), représentant de Greenpeace. Lors de cette réunion, les experts donnent des explications plus approfondies », par exemple sur le suivi en service des cuves, la façon dont les défauts sont détectés, le risque de propagation de fissures, etc.



Roger Spautz, représentant de Greenpeace, est membre d'une Cli.



© Collection privée

Coralie Pineau, de l'Anccli, porte les questions de toutes les Commissions locales d'information (Cli).

## 2 Pourquoi une journée d'échanges ?

Depuis 2014<sup>1</sup>, l'Anccli, l'IRSN et l'ASN mènent des dialogues techniques sur le quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe. Ils se poursuivent avec la concertation menée par le Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN). « Des approfondissements restaient nécessaires, raconte Coralie Pineau, de l'Anccli. Cette journée était un rendez-vous donné aux membres des Cli, pour explorer en détail le sujet des cuves. » Elle s'adresse à toute personne intéressée – membres de Cli, associations... – et réunit une soixantaine de participants, dont une dizaine d'experts institutionnels et industriels.

1. En 2014, l'IRSN, en partenariat avec l'ASN et l'Anccli, met en place un groupe de travail pour échanger sur les enjeux de sûreté des réexamens périodiques des réacteurs.

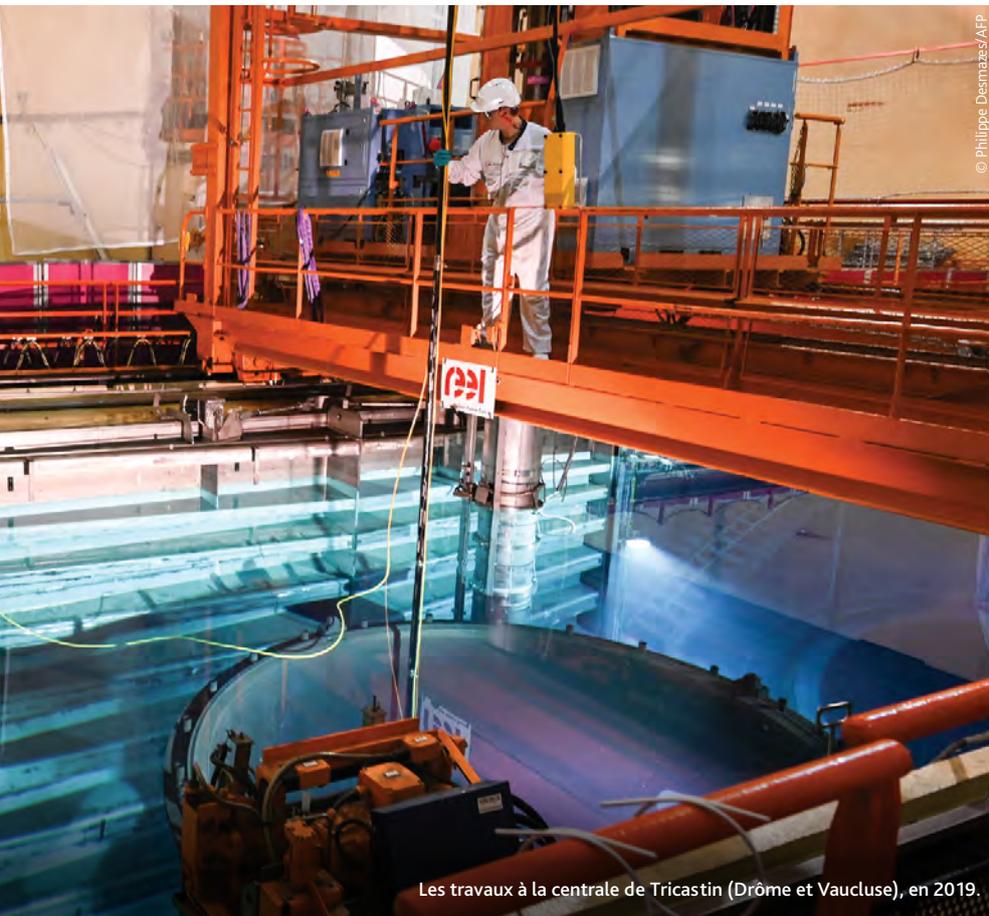
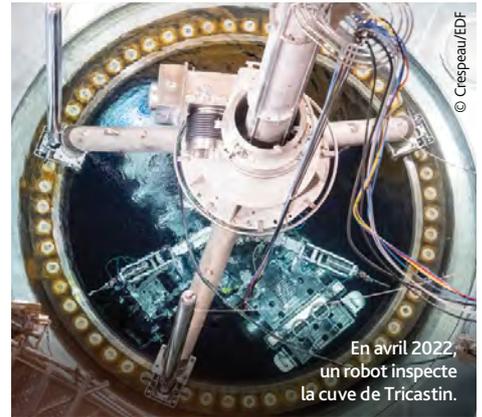
## 3 La demande citoyenne est-elle entendue ?

Après une expertise du dossier d'EDF et la réalisation d'études, les avis de l'IRSN de 2019 et 2020<sup>2</sup> concluent à l'aptitude de cet équipement à fonctionner dix ans de plus. Une réserve est émise cependant : la conformité des résultats des contrôles en service des cuves est indispensable. Thierry de Larochembert, physicien à l'institut de recherche Femto-ST<sup>3</sup>, a un point de vue critique sur les problèmes associés aux cuves, notamment celle

de Tricastin (Drôme), qui présente des défauts sous revêtement. « Notre expert a pu échanger avec ceux de l'IRSN. Ces échanges n'ont pas lieu avec EDF, note Roger Spautz. En réponse à une demande de la société civile, l'Institut est prêt à discuter, en marge de la journée organisée. »

2. Avis IRSN n°2019-00221 (Tricastin 1 et Bugey 2) et 2020-00099 (autres réacteurs).

3. Franche-Comté électronique mécanique thermique et optique – sciences et technologies, UMR 6174.



## 4 Quels sont les bénéfices de ces échanges ?

« On ne peut pas suivre les centaines d'avis publiés ! remarque Roger Spautz. Cette journée aide à faire le point sur les problèmes détectés sur certains réacteurs qui doivent susciter notre vigilance. »

Les échanges permettent d'acquérir plus de compétences et de rester vigilant. Depuis, certaines Cli souhaitent obtenir des informations plus spécifiques sur les réacteurs présents sur leur territoire. « La Cligeet<sup>4</sup> a demandé une présentation spécifique sur Tricastin, indique Coralie Pineau. Les Cli veulent comprendre les sujets, pour participer aux enquêtes publiques qui suivent chaque visite décennale. » Jacques Bonnetaud ajoute : « Un avis consultatif est demandé à la Cligeet dans le cadre de la procédure de prolongement des réacteurs. Les informations recueillies le 22 juin sont utiles pour enrichir nos discussions en interne. »

4. Commission locale d'information des grands équipements énergétiques du Tricastin.

## 5 Les experts apportent-ils toutes les réponses ?

Depuis 2014, l'Anccli recueille les questions des Cli. « Nous en avons répertorié et classé par thématique près de soixante-dix. Nous les transmettons aux experts en amont de cette journée. Ils préparent des réponses les plus précises et complètes possible », raconte Coralie Pineau. Le réacteur 1 de Tricastin suscite un intérêt marqué ; il est l'un des plus anciens de 900 MWe. Des défauts sur sa cuve font l'objet d'un suivi. « Le lien entre fluence neutronique – la quantité de neutrons ayant traversé le matériau – et évolution du matériau n'est pas simple à

comprendre. Les experts ont répondu de façon détaillée aux questions complémentaires », dit Jacques Bonnetaud. Grâce aux explications recueillies, Greenpeace sollicite l'exploitant. « Nous avons demandé les températures de transition ductile-fragile<sup>5</sup>. Elles ont été calculées à trente ans pour les trente-deux réacteurs de 900 MWe. Nous avons demandé les mêmes informations pour quarante ans et les estimations pour cinquante ans. Mais EDF invoque le secret industriel », regrette Roger Spautz.

5. La ductilité est la capacité d'un matériau à se déformer sans rompre.



# Exercice de crise

## Les sapeurs-pompiers auprès des populations

Mesure de la contamination, douche, recensement... à Yvetot, en Seine-Maritime, cent-sept sapeurs-pompiers prennent en charge la population. Cet exercice de crise suit une simulation d'accident à la centrale de Penly. Découvrez toutes les opérations sur le terrain.

Sur la place du champ de foire de Yvetot (Seine-Maritime), une centaine de professionnels se prépare à prendre en charge les victimes fictives d'un accident radiologique. Un Centre d'accueil et de regroupement des évacués (Care) est en place pour accueillir la population.

Nous sommes le 15 septembre 2021. Au loin, une sirène retentit. Elle prévient les habitants du début de l'exercice. La capitaine Stéphanie Duquesne coordonne les cent-sept pompiers du service départemental d'incendie et de secours (Sdis) et de la Sécurité civile mobilisés pour l'occasion.

L'exercice suit un scénario préétabli. Une brèche sur le circuit primaire de la centrale de Penly aurait conduit au rejet dans l'environnement de l'iode 131, du césium 137... La préfecture ordonne l'évacuation des habitants sur un rayon de cinq kilomètres autour de la centrale. Ils sont réunis dans le Care d'Yvetot, à soixante-dix kilomètres de là. Tous doivent passer des examens de vérification de non-contamination radiologique.

### Repérer des difficultés

Stéphanie Duquesne vérifie les files d'attente de ces habitants que jouent quinze sapeurs-pompiers en formation et quelques riverains. « Nous comptabilisons les temps de passage et repérons les difficultés d'organisation pour être efficaces en cas d'accident », confie-t-elle.

Première étape : les victimes passent un portique. L'objectif est de mesurer la contamination externe, sur le corps et les vêtements. Une trace fictive de contamination est détectée. La victime est dirigée vers une douche de décontamination dans des boxes aménagés par le Sdis et la Sécurité civile.

Puis, c'est la mesure de la contamination interne dans deux véhicules laboratoires mobiles dotés de quatre postes de mesure.

Les cinq techniciens de l'IRSN entrent en jeu. Ils apportent leurs dispositifs d'anthroporadiométrie et leur savoir-faire. Aux abords des véhicules, l'un d'eux accueille les victimes et recueille des informations personnelles utiles pour un suivi médical ultérieur. À l'intérieur, le personnel mesure les niveaux de contamination.

### Les gestes sont répétés

« Ces exercices nous habituent à l'action et contribuent à garantir des résultats fiables », explique Jennifer Maître-Renaud, technicienne de l'Institut. Elle ajuste la position des sondes de mesure de spectrométrie gamma à la bonne distance de la poitrine d'un habitant.

« Selon le type d'accident, nous recueillons aussi des échantillons biologiques, de selles et d'urine. Ils sont nécessaires pour l'analyse ultérieure des contaminations de type alpha et bêta », précise Guillaume Phan,



coordinateur des mesures côté IRSN. Il rassure les riverains : les mesures sont indolores. Mais il ne faut pas bouger.

En bout de chaîne, Stéphanie Duquesne règle les derniers détails avec les infirmiers du service d'aide médicale urgente (Samu) qui prennent en charge les éventuels blessés. « L'urgence de santé prime sur le risque radiologique. Les blessés graves sont transportés à l'hôpital, sans suivre ces étapes de mesure », explique la capitaine. Le rythme de l'exercice est élevé. En conditions réelles, jusqu'à 9 500 personnes pourraient être évacuées dans ce rayon de cinq kilomètres autour de la centrale selon une temporalité qui dépend de l'accident.

Dans quelques mois, le retour d'expérience permettra de tirer les leçons de cet exercice. ■

 WEBMAGAZINE



### DIAPORAMA

Exercice de crise :  
quelles adaptations  
pour les personnes  
invalides ?

[www.irsn.fr/R53](http://www.irsn.fr/R53)



## Le contexte est expliqué

La capitaine de sapeurs-pompiers, Stéphanie Duquesne (à gauche, de dos), coordonne l'exercice de crise le 15 septembre 2021. Le briefing permet à chacun de mettre ce qu'il fait en contexte, d'expliquer l'accident nucléaire et de montrer le parcours type d'une personne impliquée ou contaminée.

**WWW** Pour en savoir plus :  
Portik [www.nxtbook.com/abgcomm/reperes/Reperes48/index.php#/p/18](http://www.nxtbook.com/abgcomm/reperes/Reperes48/index.php#/p/18)



## La mesure externe

Une victime – rôle joué par une femme sapeur-pompier – passe par le portique de mesure de la contamination externe. Il effectue des mesures au niveau de la tête, des mains et des pieds.



## La contamination externe est recontrôlée

Après la douche de décontamination, la victime revêt des vêtements provisoires. Elle effectue un nouveau contrôle, toujours avec le portique. Cette procédure aide à lever le doute sur une éventuelle contamination résiduelle. Un pompier, équipé d'un masque et d'une tenue de protection intégrale, vérifie la posture du sujet, puis relève le résultat.



## Quid de la radioactivité dans le corps ?

Jennifer Maître-Renaud (à droite), technicienne à l'IRSN, supervise la mesure de contamination interne dans l'unité mobile. L'examen intervient après la douche. Les détecteurs captent l'activité des rayonnements X et gamma émis par les radionucléides présents au niveau de la thyroïde et du thorax. Les résultats alimentent la base de données Crihom de l'IRSN.



Certaines victimes ne peuvent pas passer les tests debout. Un protocole adapté est testé. Ici, la contamination externe est mesurée en position couchée, puis celle interne sera estimée à l'aide du dispositif Portik.

Reportage photo : © Guillaume Murat/Signatures/Médiathèque IRSN



## Recenser les victimes

Laura Fabbiano (assise, à gauche), technicienne de l'IRSN, recense une victime dans la base de données Crihom (Crise homme). Celle-ci permet un suivi ultérieur des victimes contaminées, notamment sur le plan médical. Un sapeur-pompier fait de même dans le système Sinus – Système d'information numérique standardisé – utilisé par les pompiers ou la Sécurité civile en cas de crise ou de catastrophe.

# Votre dosimétrie en quelques clics

## Vous êtes conseiller en radioprotection et en charge des dosimètres de votre établissement ?

Le portail *monDosimetre* vous facilite leur gestion. En quelques clics, commandez vos dosimètres, mettez à jour les fiches des porteurs, éditez vos tableaux de bord logistiques, personnalisez vos bilans dosimétriques... et découvrez régulièrement de nouvelles fonctionnalités. *IRSN dosimétrie* vous accompagne, quel que soit votre domaine d'activité – médical, industriel, nucléaire, recherche – ou la taille de votre structure. Votre abonnement est accessible où que vous soyez, 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7.

## Contactez-nous

IRSN DOSIMÉTRIE  
dosimetre@irsn.fr  
www.dosimetrie.irsn.fr  
<https://mondosimetre.irsn.fr>

**IRSN**  
INSTITUT DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE