



# Rejet dans le Pacifique des eaux de la centrale de Fukushima Daiichi

## Clarifications et mise en perspective



Réservoirs d'entreposage des effluents radioactifs à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi © TEPCO

Rédacteur :	Bruno CHAREYRON
Relecteur	Julien SYREN
Date de 1 <sup>e</sup> publication	29 mars 2024
Version	1
Date de mise à jour	

Étude commandée par les élus du groupe des Verts/ALE :  
François Thiollet, Caroline Roose, Marie Toussaint, Damien Carême,  
David Cormand et François Alfonsi.

## Table des matières

Contexte et objectifs .....	4
1 Au-delà de la question du rejet en mer d'eaux contaminées, quels autres défis pose la gestion des conséquences de la catastrophe de Fukushima ? .....	6
La mise en sécurité des coriums .....	6
La mise « en sécurité » des combustibles irradiés des piscines .....	8
La gestion des eaux contaminées.....	9
L'exposition des travailleurs aux radiations.....	10
Au-delà du démantèlement du site.....	12
2 Quelles sont les substances radioactives présentes dans les rejets liquides de Fukushima ?..	13
Substances radioactives potentiellement présentes dans les eaux.....	13
Le tritium est-il le seul radionucléide présent dans les rejets ?.....	13
Les moyens de caractérisation de la radioactivité des effluents sont-ils fiables ? .....	16
3 Des contrôles spécifiques de la radioactivité du milieu marin et des produits de la pêche ont-ils été mis en place au Japon et sont-ils satisfaisants ?.....	20
Déroulement des rejets .....	20
Niveau de tritium des eaux de mer.....	21
Niveau de tritium des produits de la pêche.....	25
La contamination par le césium radioactif des produits issus de la pêche .....	26
La contamination par le césium radioactif des produits issus de la pêche en eau douce.....	28
Insuffisance du dispositif de surveillance.....	29
4 L'impact des rejets de tritium pour le milieu marin et les consommateurs de produits de la pêche est-il insignifiant? .....	31
Un discours officiel catégorique .....	31
Une réalité beaucoup plus complexe .....	32
Des normes insuffisamment protectrices.....	33
Tenir compte du cumul des expositions.....	34
5 Est-il exact que le rejet du tritium par voie liquide est une pratique courante au niveau international ? Qu'en est-il en France ?.....	36
L'usine de retraitement de la Hague prise comme référence.....	36
La contamination des ressources en eau potable en France.....	37
Les efforts internationaux pour diminuer les rejets de tritium .....	40

Conclusion et synthèse.....	41
Annexe : notes et références .....	44

## Contexte et objectifs

La centrale nucléaire de Fukushima Daiichi a été gravement accidentée à la suite du séisme et du tsunami du 11 mars 2011. Les structures de 4 réacteurs nucléaires ont été lourdement impactées et le cœur de 3 d'entre eux a fondu, libérant des quantités considérables d'éléments radioactifs dans l'atmosphère et dans l'océan Pacifique.

À la phase des rejets massifs de l'année 2011 a succédé progressivement une phase au cours de laquelle TEPCO s'est efforcé de limiter les écoulements incontrôlés d'eau contaminée vers l'océan. Pour ce faire l'industriel a mis en œuvre divers dispositifs<sup>i</sup> afin de réduire la quantité d'eau contaminée, d'en améliorer la collecte (by-pass, revêtements imperméables, mur de glace, mur imperméable, etc.) et le traitement.

Chaque jour, de l'eau doit être injectée dans les réacteurs 1, 2 et 3 pour refroidir les coriums, ces mélanges de combustible fondu hautement radioactif et de structures métalliques. Cette eau, ainsi que les eaux de pluie qui s'infiltrent à travers les bâtiments endommagés et les eaux souterraines qui circulent au contact des matériaux contaminés, se chargent en éléments radioactifs.

Elles doivent être en permanence pompées, traitées, afin de retenir le maximum de substances radioactives et renvoyées vers des réservoirs d'entreposage.

Comme le montre le graphique ci-dessous, TEPCO a réduit le volume d'eau contaminée produit en permanence<sup>ii</sup> d'environ 470 m<sup>3</sup>/jour (moyenne année fiscale 2014) à 90 m<sup>3</sup>/jour durant l'année 2022.

### Evolution des quantités d'eau contaminée produites et du flux d'eau souterraine et d'eau de pluie dans les bâtiments (source : TEPCO).

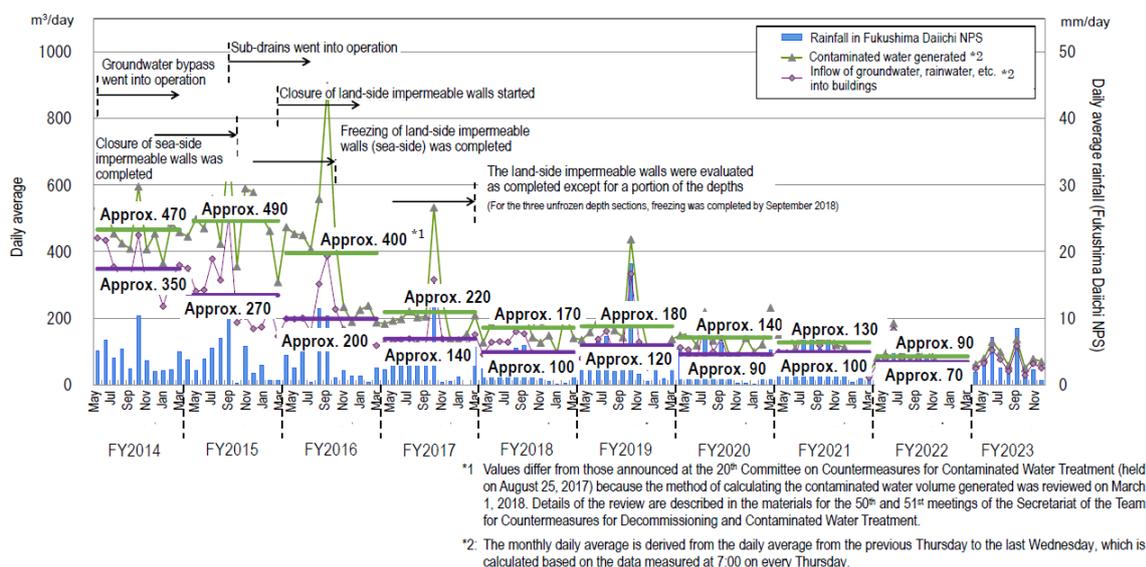


Figure 1: Changes in contaminated water generated and inflow of groundwater and rainwater into buildings

Le volume à traiter reste cependant considérable. Début 2023, plus de **1,3 million de mètres cubes d'eau contaminée** s'accumulaient dans plus de **1 000 immenses réservoirs**. Les capacités d'entreposage se réduisent et TEPCO a décidé de procéder à la vidange progressive de certains de ces réservoirs dans le Pacifique. L'AIEA (Agence Internationale de l'Énergie Atomique) a indiqué, le 4 juillet 2023, qu'elle validait le projet de TEPCO et des autorités Japonaises.

La première campagne de rejets a été effectuée du 24 août au 11 septembre 2023 malgré l'opposition de nombreux citoyens et scientifiques à travers le monde, et de nombre de pays proches. La Chine et Hongkong ont suspendu les importations de produits de la mer en provenance du Japon (en 2022 ces flux représentaient 42 % des exportations japonaises de ces produits). Trois autres campagnes de rejet ont eu lieu depuis et la 4<sup>ème</sup>, lancée le 28 février, s'est terminée le 17 mars 2024.

Au total, sur l'année fiscale 2023 (qui au Japon a commencé en avril et se termine fin mars 2024), TEPCO a rejeté 31 145 m<sup>3</sup> d'eau contaminée contenant environ 4 500 milliards de Becquerels (4,5 TBq) de tritium. Cette valeur est inférieure à la limite réglementaire de rejet de 22 TBq par an fixée par les autorités japonaises et l'AIEA assure que les conditions de rejet sont conformes aux standards internationaux et que l'impact de ces rejets sur l'environnement est négligeable.

En ce début d'année 2024, ces rejets provoquent toujours des tensions diplomatiques entre le Japon et certains pays voisins et suscitent une inquiétude légitime pour les consommateurs de produits issus de la mer.

Beaucoup d'informations contradictoires ont circulé sur la nature de ces rejets, sur leur impact sur l'environnement, et sur la gestion des effluents radioactifs liquides d'autres installations nucléaires dans le monde.

Le présent rapport, commandé par le groupe des Verts ALE, au Parlement Européen, a pour objet de faire un point synthétique sur une sélection de questions soulevées par le grand public et listées ci-dessous :

1. Au-delà de la question du rejet en mer d'eaux contaminées, quels autres défis pose la gestion des conséquences de la catastrophe de Fukushima ?
2. Quelles sont les substances radioactives présentes dans les rejets liquides de Fukushima ? Les moyens de caractérisation des effluents sont-ils adaptés ? Le tritium est-il le seul radionucléide présent ?
3. Des contrôles spécifiques de la radioactivité du milieu marin et des produits de la pêche ont-ils été mis en place au Japon et sont-ils satisfaisants ?
4. L'impact des rejets de tritium pour le milieu marin et les consommateurs de produits de la pêche est-il insignifiant ?
5. Est-il exact que le rejet du tritium par voie liquide est une pratique courante au niveau international ? Qu'en est-il en France ?

## 1 Au-delà de la question du rejet en mer d'eaux contaminées, quels autres défis pose la gestion des conséquences de la catastrophe de Fukushima ?

La décision de procéder à des rejets d'eau radioactive dans le Pacifique pour faire face à la saturation des capacités d'entreposage des effluents est certainement la problématique liée à la catastrophe de Fukushima qui a été la plus médiatisée durant l'année 2023.

Mais le démantèlement du site pose bien d'autres difficultés. Quelques-unes sont brièvement évoquées ci-après.

TEPCO annonce toujours que les réacteurs accidentés devraient être démantelés d'ici à 2051. Pourtant les défis à relever sont colossaux.

### La mise en sécurité des coriums

On appelle **corium** la matière hautement radioactive constituée par les combustibles nucléaires et les matériaux de structure fondus. Compte tenu de la chaleur qu'elle dégage et de ses caractéristiques chimiques, cette matière est susceptible de traverser les matériaux de structure en métal ou en béton. C'est ce que l'on appelle le syndrome chinois (expression faisant allusion à une hypothèse de science-fiction selon laquelle le corium issu d'une centrale située en Amérique du nord pourrait traverser l'écorce terrestre et resurgir en Chine).

Le corium est une matière excessivement dangereuse. Même si les réactions en chaîne sont arrêtées, il se produit en permanence des fissions spontanées au sein de ces matériaux radioactifs. Ces fissions conduisent à l'émission de neutrons et à l'apparition de nouveaux produits de fission. Il n'est pas impossible que du fait de modifications des conditions ambiantes, les réactions en chaîne puissent reprendre au sein de ces matériaux. C'est ce qu'on appelle le **risque de criticité**. Si ce type de phénomène se produisait, il pourrait y avoir à nouveau des séquences explosives et des rejets radioactifs incontrôlés massifs à la centrale de Fukushima Daiichi.

TEPCO est contraint de refroidir en permanence les coriums des réacteurs 1, 2 et 3 en **injectant de l'eau**, et de limiter les risques d'explosion d'hydrogène en **injectant de l'azote**. En début d'année 2024, les résultats<sup>iii</sup> publiés par TEPCO montraient que les températures étaient maintenues en dessous de 30 degrés pour les 3 réacteurs.

Il est très important de comprendre où sont localisés ces coriums, quelle est leur nature physico-chimique et sous quelle forme ils se trouvent pour pouvoir mettre au point les technologies et plans d'action qui permettront de les retirer, de les reconditionner et de les transférer vers des installations de stockage à même de garantir leur confinement à très long terme.

Des simulations informatiques effectuées en 2011 par TEPCO suggéraient que le corium du réacteur N°1 avait traversé la première cuve métallique et commencé à s'enfoncer dans la dalle béton qui recouvre la paroi en acier du PCV (Primary Containment Vessel).

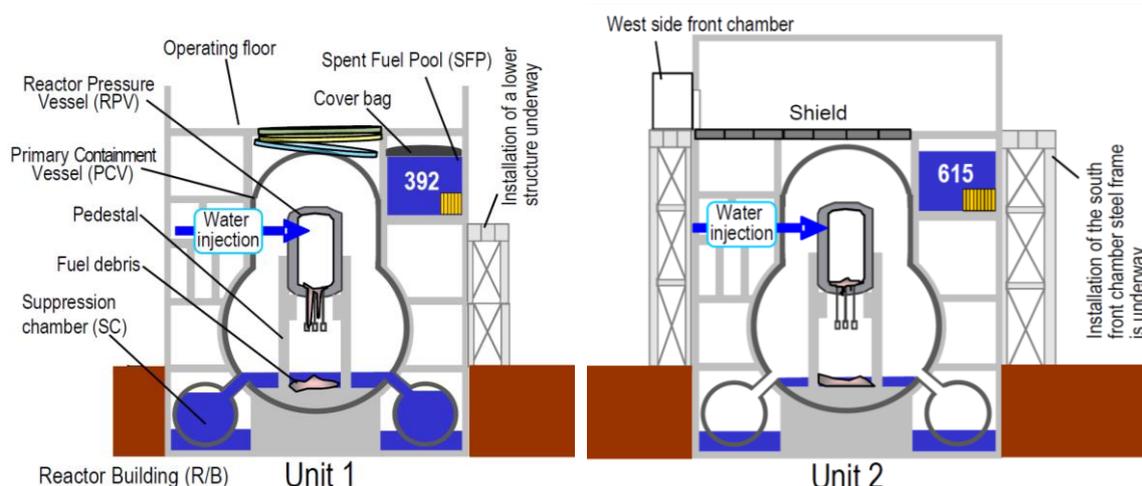
TEPCO a confirmé, fin mars 2015, que pratiquement tout le combustible du réacteur N°1 avait bien fondu et ne se trouvait plus dans la première cuve (RPV : Reactor Pressure Vessel). Ce diagnostic a été réalisé en effectuant une « radiographie » au moyen de rayonnements cosmiques appelés muons. Pour l'instant, il n'est toutefois pas possible de localiser avec précision le corium.

En ce qui concerne le cœur du réacteur N°2, sur la base de « radiographies » effectuées également avec des muons, une équipe de l'université de Nagoya avait conclu que plus de 70 % du cœur avait probablement fondu. Pour le réacteur 3, il était estimé que 63 % du cœur avait fondu.

Les schémas publiés par TEPCO en janvier 2024 sont reportés ci-dessous pour les réacteurs 1 et 2. Ils mettent bien en évidence la fusion du cœur mais ils sont trompeurs, car la localisation exacte des corium n'est pas connue en réalité.

### Réacteurs 1 et 2 / vue en coupe et localisation schématique du corium

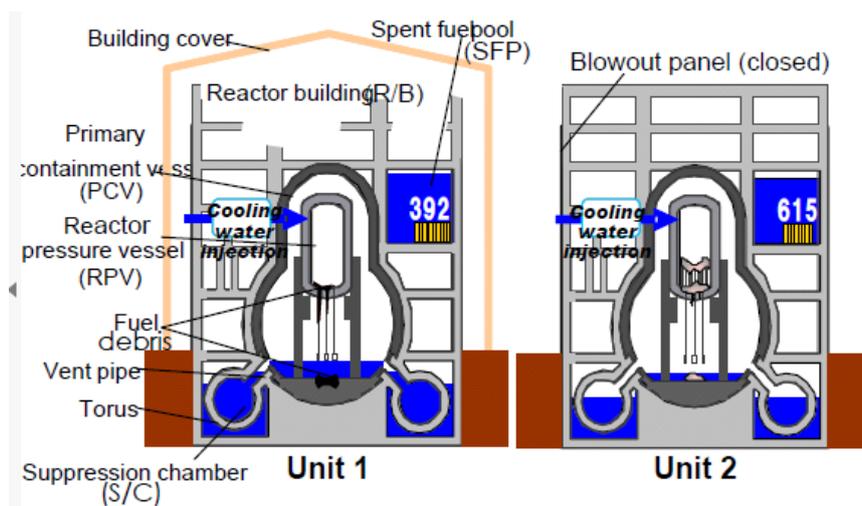
(source : TEPCO 2024<sup>iv</sup>)



Pour comparaison, sont reproduits ci-dessous les schémas publiés par TEPCO en avril 2015. On notera que dans la représentation de 2024, la quantité de corium qui est « descendue » au niveau du béton du PCV est beaucoup plus importante, en particulier pour le réacteur N°2.

### Réacteurs 1 et 2 / vue en coupe et localisation schématique du corium

(source : TEPCO 2015)



Préciser la localisation des coriums est un véritable défi, comme l'est la tentative de retirer ne serait-ce qu'un seul échantillon. Les niveaux de radiation sont en certains endroits tellement élevés qu'ils délivreraient une **dose mortelle en quelques instants** et qu'ils nuisent même au bon fonctionnement de systèmes robotisés. TEPCO indique<sup>v</sup> par exemple un niveau de radiation de 70 Gray par heure à l'intérieur du PCV du réacteur 2.

L'essai de prélèvement d'un seul échantillon de corium du réacteur N°2 pour pouvoir en effectuer l'analyse, a été reporté pour la 3<sup>ème</sup> fois en ce début<sup>vi</sup> d'année 2024. La mise au point du bras robotisé qui sera assigné à cette tâche s'avère complexe. Quant au réacteur 1, un drone a été utilisé en février 2024 pour examiner les débris mais la seconde journée d'exploration a été annulée du fait de la défaillance du robot qui contribuait à la transmission des données<sup>vii</sup>.

Pour le démantèlement, ce ne sont pas quelques grammes de cette matière hautement radioactive qui devront être récupérés, mais de l'ordre de **880 tonnes**.

## La mise « en sécurité » des combustibles irradiés des piscines

Les combustibles radioactifs présents dans les **piscines de désactivation** situées en partie haute des bâtiments réacteurs doivent être transférés vers un dispositif d'entreposage plus sûr. Les structures ont en effet été fragilisées par la catastrophe de mars 2011 et la question se pose de leur capacité à résister à un nouveau séisme majeur.

Rappelons qu'en 2011 une inquiétude majeure avait porté en particulier sur le risque de perte de confinement des combustibles irradiés entreposés dans la piscine du réacteur N°4.

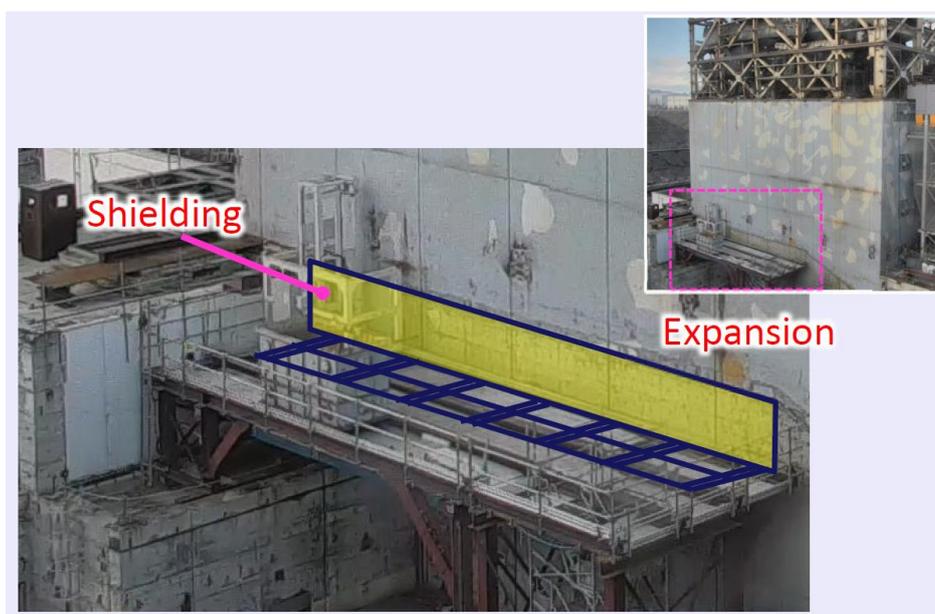
Lors de sa visite à la CRIIRAD, en février 2019, Naoto Kan qui était premier ministre du Japon en mars 2011, a rappelé que, du fait des risques sur la piscine du réacteur N°4, il avait craint de devoir faire évacuer la population dans un rayon de 250 kilomètres, soit 50 millions de personnes, y compris Tokyo.

Le transfert progressif des combustibles des piscines a pu être mené à bien pour les réacteurs 3 et 4, mais il **n'a pas encore commencé pour les réacteurs 1 et 2**.

La détection de niveaux de radiation très élevés sur la face sud du bâtiment réacteur N°1 rend les opérations complexes. Pour installer une structure de couverture, il va falloir au préalable mettre en place des protections biologiques en face des parties les plus irradiantes.

Le début du retrait des combustibles du réacteur 1 est prévu en 2027-2028.

### Réacteur 1 / secteur où doit être installée une protection biologique (source : TEPCO<sup>viii</sup>)



## La gestion des eaux contaminées

Le pompage, la collecte, le traitement et l'entreposage des eaux contaminées à Fukushima constituent également une opération inédite et dangereuse, à la fois à cause de la quantité à gérer chaque jour et des niveaux de radiation élevés.

### Exemple de la fuite de février 2024

La fuite intervenue<sup>ix</sup> le **7 février 2024** lors d'une opération de maintenance sur l'installation de traitement des eaux SARRY illustre bien ces difficultés. TEPCO évoque<sup>x</sup> un volume de 1,5 m<sup>3</sup> d'eau qui s'est écoulé par un événement situé à environ 5 mètres au-dessus du sol.

Comme indiqué dans le communiqué TEPCO du 15 février 2024 (extrait ci-dessous), l'estimation des niveaux de contamination correspond à des valeurs très élevées : 6,6 milliards de becquerels (Bq) de césium 137 et 134, 4,2 milliards de Bq de strontium 90, 220 millions de Bq de tritium, 850 000 Bq d'antimoine 125 et 22 000 Bq d'émetteurs alpha.

### Extrait du communiqué TEPCO du 15 février 2024

#### 3. Assessment results for the amount of radioactivity that leaked **TEPCO**

- **Amount of the leak: Approx. 1.5m<sup>3</sup>** (Simplified assessment results from February 7, 2024: Approx. 5.5m<sup>3</sup>)
  - Assessed using the primary radionuclides for which analysis records exist
  - **Cs-134 : Approx. 1.1E+08Bq, Cs-137 : Approx. 6.5E+09Bq, Sb-125 : Approx. 8.5E+05Bq, Sr-90 : Approx. 4.2E+09Bq, H-3 : Approx. 2.2E+08Bq, Gross α: Approx. 2.2E+04Bq**
  - (Simplified assessment results from February 7, 2024: Approx. 2.2E + 10 Bq: Gross γ (Cs-137 assessment))
  - ※ The amount of radioactivity was calculated assuming that all water inside the system had been replaced by filtrated water
  - ※ Levels requiring notification by law: Gross γ: 1.0E+8Bq
- Assessment overview

L'AFP<sup>xi</sup> a rapporté que lors de sa visite sur le site, le 14 mars 2024, Rafael Grossi, directeur de l'AIEA a qualifié cette fuite « *d'éclaboussure* », un incident « *sans conséquence significative* » qui « *peut être considéré comme mineur* ».

La récupération du sol contaminé par cette « éclaboussure » est en cours et un taux de radiation élevé (7 mSv/h soit environ **70 000 fois plus élevé** que le niveau habituel moyen) a été enregistré sur des carottages effectués à travers la dalle sur laquelle la fuite s'est répandue. Les sols souillés doivent être excavés jusqu'à abaisser la dose à la surface du sol à 0,02 mSv/h ce qui est selon TEPCO le niveau du bruit de fond moyen du secteur. À noter que ce bruit de fond est plus de 200 fois supérieur au niveau de radiation « naturel » classique. Autrement dit, la contamination étant présente pratiquement partout sur le site de la centrale accidentée, l'opérateur ne cherche plus à ramener la contamination à zéro.

L'incident provient d'une incohérence entre les prescriptions des procédures écrites et les conditions de terrain. TEPCO indique que la cause profonde du problème est liée aux forts niveaux de radiation depuis l'accident et à la surcharge de travail :

« *Chez TEPCO, en principe, la configuration du système avant la maintenance de l'équipement est assurée par le département des opérations, qui connaît le fonctionnement et l'état des équipements. Cependant, le site étant devenu un environnement à forte dose et le volume de travail ayant fortement augmenté à la suite de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, il est nécessaire de limiter la dose d'exposition de l'opérateur. Par conséquent, malgré la règle de base susmentionnée, le service de maintenance (ou le contractant) gère sa propre configuration du système* ».

## Contamination de travailleurs en octobre 2023

Pour bien comprendre les risques pour les travailleurs affectés aux opérations de gestion des eaux contaminées on peut citer aussi l'incident du **25 octobre 2023**, au cours duquel 4 opérateurs ont été éclaboussés par des liquides radioactifs lors du nettoyage de tuyauteries de la nouvelle usine ALPS dédiée au traitement des eaux. Ils utilisaient de l'acide nitrique pour dissoudre le carbonate qui s'accumule dans des dispositifs de filtration. La réaction chimique a produit du gaz qui a expulsé le liquide.

Le rapport<sup>xii</sup> de TEPCO du 16 novembre 2023 précise que 4 des 5 travailleurs présents ont subi une contamination corporelle. La décontamination opérée sur place pour les deux sous-traitants directement exposés aux éclaboussures n'ayant pas permis de descendre en dessous des seuils admissibles (< 4 Bq/cm<sup>2</sup>), ils ont été transférés à l'hôpital de l'Université Médicale de Fukushima,

## L'exposition des travailleurs aux radiations

Lors de la phase d'urgence, les doses maximales annuelles admissibles pour les travailleurs de la centrale de Fukushima Daiichi avaient été relevées de 20 millisieverts par an à 100 millisieverts, avec possibilité de dépassement jusqu'à 250 millisieverts entre mars et août 2011.

D'après les évaluations officielles de TEPCO, environ 170 travailleurs ont été exposés à cette époque à plus de 100 millisieverts, le maximum ayant été de 680 millisieverts.

Actuellement on ne peut plus parler au sens strict de « phase d'urgence », mais les conditions de travail sur le chantier de la centrale accidentée restent difficiles.

### Irradiation externe

Sur les deux dernières années, le nombre moyen de travailleurs chaque jour a été<sup>xiii</sup> de l'ordre de 3 500 à 4 600 personnes, dont environ 70 % sont originaires de la préfecture de Fukushima.

En de très nombreux secteurs du site nucléaire, les travailleurs sont en permanence soumis à une irradiation externe significative. Sur certaines routes du site, le débit de dose dépasse encore<sup>xiv</sup> 50 microSievert par heure. Ils sont d'ailleurs également exposés à des radiations en dehors des périodes de travail lorsqu'ils rejoignent leurs hébergements.

Pour ce qui concerne les doses par irradiation externe sur le chantier, le dernier bilan officiel que nous avons pu consulter porte sur la période novembre 2023 à janvier 2024. (voir tableau ci-dessous).

Sur cette période, environ **8 000 travailleurs** sont intervenus **chaque mois** sur le chantier.

Plus de **86 % sont des sous-traitants**. La dose moyenne mensuelle reçue par les sous-traitants a été 4 fois (voire 4,8 fois) supérieure à celle des employés de TEPCO.

**La dose maximale a systématiquement été reçue par les sous-traitants** (11,6 mSv pour le mois de novembre 2023).

**Evaluation préliminaire de l'exposition externe sur le chantier de décontamination  
à Fukushima Daiichi entre novembre 2023 et janvier 2024 (source TEPCO<sup>xv</sup>).**

**Table 1. External Exposure Dose**

Dose Ranges (mSv)	November 2023			December 2023			January 2024		
	TEPCO Employees	Contractors	Total	TEPCO Employees	Contractors	Total	TEPCO Employees	Contractors	Total
Above 100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75-100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50-75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20-50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-20	0	1	1	0	2	2	0	0	0
5-10	0	61	61	0	61	61	0	18	18
1-5	9	499	508	17	522	539	9	414	423
1 or less	1059	6326	7385	1037	6378	7415	984	6423	7407
<b>Total</b>	<b>1068</b>	<b>6887</b>	<b>7955</b>	<b>1054</b>	<b>6963</b>	<b>8017</b>	<b>993</b>	<b>6855</b>	<b>7848</b>
<b>Maximum (mSv)</b>	<b>2.90</b>	<b>11.60</b>	<b>11.60</b>	<b>3.70</b>	<b>10.20</b>	<b>10.20</b>	<b>2.02</b>	<b>7.59</b>	<b>7.59</b>
<b>Average (mSv)</b>	<b>0.07</b>	<b>0.34</b>	<b>0.30</b>	<b>0.08</b>	<b>0.33</b>	<b>0.29</b>	<b>0.06</b>	<b>0.24</b>	<b>0.22</b>

**Contamination interne**

À l'exposition ou irradiation externe, s'ajoute une contamination **interne chronique** liée à la présence de substances radioactives en suspension dans l'air ambiant.

Il faut tenir compte également des **contaminations accidentelles**. Comme décrit ci-dessus des incidents sont à déplorer pour le processus de gestion des eaux contaminées. Mais ils concernent évidemment les opérations de démantèlement proprement dites.

Ceci peut être illustré par la contamination d'un jeune sous-traitant âgé de 20 ans en décembre 2023.

Selon TEPCO<sup>xvi</sup>, il portait un masque de protection intégral du visage et une combinaison lors de travaux de décontamination à proximité du réacteur N°2. Dans le cadre d'un contrôle de routine en sortie de site, un frottis nasal a révélé une contamination (1 000 coups par minute en émetteurs Bêta). TEPCO indique que son visage a ensuite été décontaminé jusqu'à descendre en dessous du critère défini pour la sortie de site (< 4 Bq/cm<sup>2</sup> pour les émetteurs bêta).

L'hypothèse est qu'il se soit contaminé au moment de retirer son masque dont il n'avait pas suffisamment desserré la sangle.

**Exemple de procédure à suivre pour retirer son masque facial (source : TEPCO)**



Les analyses complémentaires<sup>xvii</sup> effectuées par TEPCO (anthropogammamétrie, contrôle des urines et fèces) ont confirmé une contamination interne par du césium 137 (7 000 Bq), strontium 90 (22 Bq) et des transuraniens : 4,9 Bq pour les émetteurs alpha (isotopes 238-239-240 du plutonium, américium 241 et curium 244) , et 71 Bq pour le plutonium 241.

### Évaluation de la contamination interne du travailleur contaminé en décembre 2023

(source : TEPCO).

Results of a committed effective dose assessment performed using measurements from a WBC (NaI scintillator detector) and a bioassay			
Measurement method	Radionuclide	Ingestion amount (Bq)	Committed effective dose (mSv)
WBC(NaI scintillator detector)	Cesium 137	7.0E+03	4.7E-02
Bioassay (urine)	Strontium 90	2.2E+01	6.6E-04
Bioassay (feces)	Plutonium 238, 239, 240, Americium 241, Curium 244	4.9E+00	7.9E-02
Calculation from plutonium isotope ratio* 1	Plutonium 241	7.1E+01	6.0E-03
Total			1.3E-01

\* 1 Calculated using the isotope ratio based on core inventory (10 years after core shutdown) and the bioassay (feces) measurement results.

1

## Au-delà du démantèlement du site

Bien entendu, la question du démantèlement ne doit pas occulter d'autres enjeux liés à l'héritage de la catastrophe nucléaire de mars 2011.

Sans prétendre à l'exhaustivité, on peut citer les problèmes qui touchent l'extérieur du site de la centrale :

- impossibilité de décontaminer l'ensemble des surfaces impactées par les retombées radioactives (prairies, forêts, etc.),
- situation de centaines de sites sur le territoire de la préfecture de Fukushima où des déchets radioactifs solides issus de la décontamination des sols n'ont pas encore été transférés vers le site d'entreposage centralisé,
- les incertitudes sur le devenir après 2045 des 14 millions de mètre cubes de sols et gravats contaminés entreposés sur le site centralisé situé sur les communes de Futaba et Ôkuma,
- l'insuffisance du suivi sanitaire des populations, la pression exercée sur les évacués pour les inciter à revenir sur des territoires encore radioactifs,
- etc.

## 2 Quelles sont les substances radioactives présentes dans les rejets liquides de Fukushima ?

### Substances radioactives potentiellement présentes dans les eaux

Dans une centrale nucléaire, les fluides qui circulent dans le cœur du réacteur sont progressivement contaminés par divers types de substances radioactives.

Certaines sont produites par l'**activation** d'atomes initialement non radioactifs présents dans l'eau et les matériaux de structure soumis au flux de neutrons. C'est ainsi que se forment du carbone 14, du cobalt 60, du nickel 63, etc.

D'autres sont des substances produites par la **fission** de l'uranium et du plutonium présents à l'intérieur des gaines de combustible nucléaire. On parle de produits de fission, comme certains isotopes du strontium, de l'iode, du xénon, du césium, etc.

A l'intérieur du combustible, les réactions nucléaires donnent naissance également à des isotopes artificiel de l'uranium et à des transuraniens (plutonium, américium, curium, etc.)

Le **tritium**, isotope radioactif de l'hydrogène est produit à la fois par activation et par fission ternaire. Dans le cas des réacteurs à eau bouillante de Fukushima Daiichi, c'est ce second mode de production qui est prépondérant.

En fonctionnement normal, une faible fraction des produits de fission les plus mobiles (par exemple des isotopes radioactifs du xénon, de l'iode, du césium) parvient à traverser les gaines qui entourent le combustible, d'autant qu'un certain taux de « ruptures de gaines » est toléré.

Dans le cas de la catastrophe de Fukushima, du fait de la fusion des cœurs de 3 réacteurs, le combustible nucléaire n'est plus « confiné » dans des gaines. L'ensemble des substances radioactives accumulées dans le corium sont alors en contact direct avec les eaux circulant à leur contact y compris les isotopes de **l'uranium et des transuraniens (plutonium, américium, curium, etc..)**.

### Le tritium est-il le seul radionucléide présent dans les rejets ?

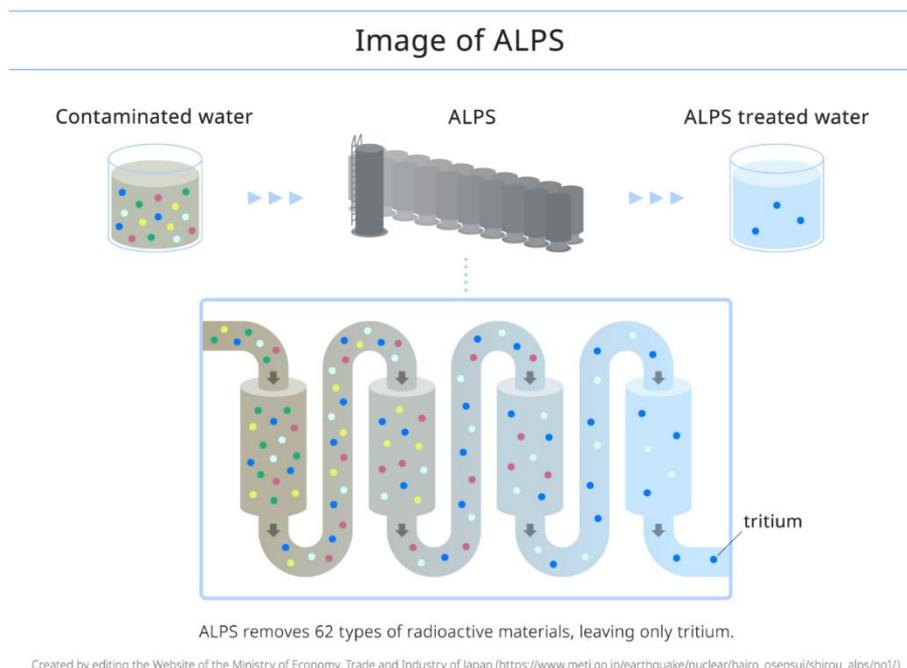
#### Une communication grand public ambiguë

TEPCO a mis progressivement en place plusieurs dispositifs de traitement afin de retenir le maximum des substances radioactives présentes dans les eaux contaminées qui s'accumulent chaque jour sur le site de Fukushima Daiichi.

Certaines installations ont pour fonction de retenir préférentiellement les isotopes radioactifs du strontium, d'autres comme le système de traitement ALPS (Advanced Liquid Processing System) retiennent un plus large panel de substances.

La majorité des documents « grand public » produits par TEPCO<sup>xviii</sup> et par l'AIEA<sup>xix</sup> suggèrent que le système de traitement (ALPS) permet ainsi de retirer 62 types de substances radioactives et **qu'il ne resterait plus, à l'issue de ce traitement, que du tritium dans les eaux rejetées**. C'est ce que montre la représentation ci-dessous dans laquelle seuls des atomes de tritium sont représentés dans les rejets (points bleus).

## Présentation grand public de la radioactivité dans les eaux rejetées : il ne resterait que du tritium (source TEPCO<sup>xx</sup>).

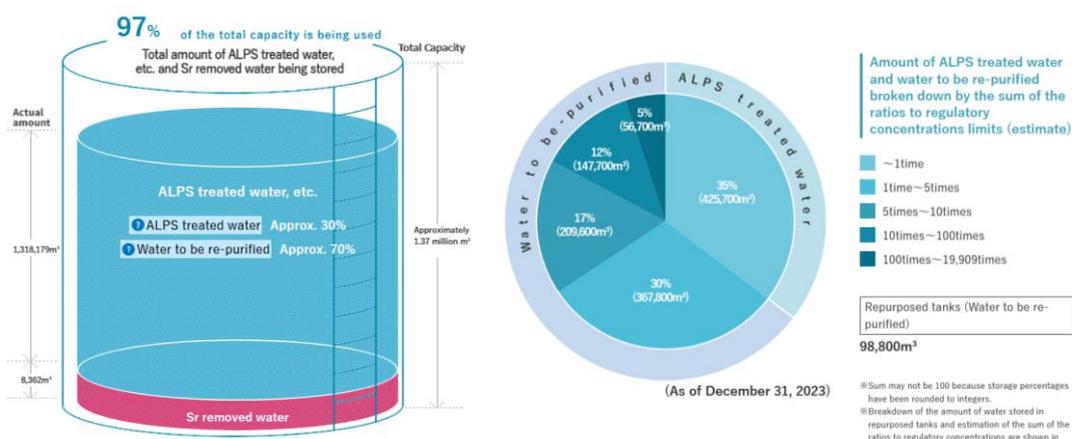


Le tritium (noté ici T) est une forme radioactive de l'hydrogène. Il est effectivement pratiquement impossible de séparer, à un coût raisonnable, les molécules d'eau dans lesquelles, par exemple, un atome d'hydrogène est du tritium (eau tritiée notée HT0), de celles qui ne comportent que de l'hydrogène stable, non radioactif (H<sub>2</sub>O).

Les systèmes de traitement laissent cependant « passer » aussi d'autres substances radioactives qui seront au final rejetées avec le tritium. Les schémas reproduits ci-dessous rappellent qu'environ 70 % des 1,3 millions de mètres cubes d'eaux « déjà traitées » accumulées dans les réservoirs de TEPCO devront être retraitées car leur radioactivité résiduelle est trop importante.

### Inventaire des grandes catégories d'effluents stockés dans les réservoirs de TEPCO

(source : TEPCO 2024<sup>xxi</sup>).



Le schéma de droite précise en effet qu'au 31 décembre 2023, 56 700 m<sup>3</sup> d'eau pourtant déjà traitées, ont une radioactivité résiduelle 100 à 19 900 fois supérieure aux normes de rejet. Pour 147 700 m<sup>3</sup> elle est 10 à 100 fois supérieure aux normes, pour 209 600 m<sup>3</sup>, 5 à 10 fois supérieure, etc.

TEPCO indique que la nécessité de retraiter à nouveau certaines eaux provient de dysfonctionnements d'équipements au démarrage des installations et d'objectifs opérationnels différents à l'époque. En effet initialement, il était envisagé de rejeter ces eaux sans améliorer leur traitement en pratiquant simplement une dilution.

Les pressions exercées sur les autorités, en particulier par les associations de protection de l'environnement et les représentants des pêcheurs ont conduit à ce que le contenu des réservoirs d'effluents ne puisse être déversé dans le Pacifique que si la concentration des éléments radioactifs présents est inférieure aux normes de rejet « habituelles », à l'exception du tritium, pour lequel est tolérée une dilution préalable par de l'eau de mer.

### Règles de caractérisation des effluents

Pour la caractérisation radiologique des eaux traitées par le dispositif ALPS, TEPCO est réglementairement contraint de vérifier l'activité volumique de **30 radionucléides**, listés dans le tableau ci-dessous.

#### Liste des radionucléides retenus comme « terme source » pour les eaux traitées par le dispositif ALPS (source : AIEA<sup>xxii</sup>).

TABLE 1. RADIONUCLIDES INCLUDED IN TEPCO'S ALPS TREATED WATER SOURCE TERM

<sup>3</sup> H	<sup>79</sup> Se	<sup>125m</sup> Te	<sup>151</sup> Sm	<sup>238</sup> Pu
<sup>14</sup> C	<sup>90</sup> Sr	<sup>129</sup> I	<sup>154</sup> Eu	<sup>239</sup> Pu
<sup>54</sup> Mn	<sup>90</sup> Y	<sup>134</sup> Cs	<sup>155</sup> Eu	<sup>240</sup> Pu
<sup>55</sup> Fe	<sup>99</sup> Tc	<sup>137</sup> Cs	<sup>234</sup> U	<sup>241</sup> Pu
<sup>60</sup> Co	<sup>106</sup> Ru	<sup>144</sup> Ce	<sup>238</sup> U	<sup>241</sup> Am
<sup>63</sup> Ni	<sup>125</sup> Sb	<sup>147</sup> Pm	<sup>237</sup> Np	<sup>244</sup> Cm

Pour chacune de ces substances, il existe une limite réglementaire et le rejet n'est possible que si quotient entre l'activité volumique des eaux à rejeter et la concentration maximale autorisée est inférieur à 1. Dans le cas où plusieurs substances sont présentes, c'est le ratio global R (somme des ratios pour chaque substance, hors tritium) qui doit être inférieur à 1.

En fonction de la radiotoxicité des différents radionucléides, les limites sont très différentes. Pour les 29 radionucléides ciblés (hors tritium), elles vont par exemple de 4 Bq/l pour le plutonium 239 à 8 000 Bq/l pour le samarium 151.

L'entreprise vérifie également, sur une base « volontaire », que l'activité de **39 radionucléides** supplémentaires est négligeable.

Pour ce qui concerne en tout cas les eaux rejetées durant les 4 premières campagnes (année fiscale 2023), le tableau de TEPCO reproduit ci-après indique que, avant dilution, la concentration en tritium était comprise entre 130 000 et 170 000 Bq/l et que celle des éléments radioactifs autres que le tritium représentait de l'ordre de 25 % à 34 % de l'autorisation légale de rejet.

Ces ratios apparaissent dans la colonne 4 : « *concentration of radioactive materials excluding tritium* ».

### Bilan des 4 premières campagnes de rejet (source : TEPCO<sup>xxiii</sup>)

#### **FY2023 Discharge History**

- Discharge progress of ALPS treated water into the sea are as follows.

Analysis date of measurement/confirmation facility	Tank group	Tritium concentration	Concentration of radioactive materials excluding tritium	Commencement of discharge	Completion of discharge	Dilution rate during discharge	Tritium concentrations after dilution <sup>*1</sup>	Amount of discharge	Amount of tritium radioactivity
June 22, 2023	Group B	14×10 <sup>4</sup> Bq/liter	The sum of ratios of legally required concentrations 0.28 < 1 Regulatory standards	August 24, 2023	September 11, 2023	Approx. 800 times	160-200 Bq/liter	7,788m <sup>3</sup>	Approx. 1.1 trillion Bq
September 21, 2023	Group C	14×10 <sup>4</sup> Bq/liter	The sum of ratios of legally required concentrations 0.25 < 1 Regulatory standards	October 5, 2023	October 23, 2023	Approx. 800 times	150-170 Bq/liter	7,810m <sup>3</sup>	Approx. 1.1 trillion Bq
October 19, 2023	Group A	13×10 <sup>4</sup> Bq/liter	The sum of ratios of legally required concentrations 0.25 < 1 Regulatory standards	November 2, 2023	November 20, 2023	Approx. 800 times	150-180 Bq/liter	7,753m <sup>3</sup>	Approx. 1.0 trillion Bq
February 26, 2024	Group B	17×10 <sup>4</sup> Bq/liter	The sum of ratios of legally required concentrations 0.34 < 1 Regulatory standards	February 28, 2024	March 17, 2023	Approx. 800 times	170-230 Bq/liter	7,794m <sup>3</sup>	Approx. 1.3 trillion Bq

\*1 Tritium concentrations of the water sampled at seawater pipe.

On notera que la 4<sup>ème</sup> campagne est celle pour laquelle les effluents ont le ratio R le plus élevé (0,34 soit 34 %).

L'examen des résultats<sup>xxiv</sup> de caractérisation détaillés montre que c'est l'**iode 129**, pour lequel la concentration était la plus proche de la limite avec une activité de 2,5 Bq/l soit 28 % de la limite fixée à 9 Bq/l.

En terme d'activité volumique hors tritium, les 4 radionucléides prépondérants étaient, par ordre d'activité décroissante : **carbone 14** (14 Bq/l), **technétium 99** (3,4 Bq/l), **iode 129** (2,5 Bq/l) et **césium 137** (0,5 Bq/l).

## Les moyens de caractérisation de la radioactivité des effluents sont-ils fiables ?

L'AIEA a conduit quelques exercices d'intercomparaison, afin de vérifier la qualité des mesures fournies par TEPCO. Le rapport AIEA de janvier 2024<sup>xxv</sup> porte sur les eaux prélevées dans deux réservoirs de stockage des eaux traitées par le dispositif ALPS. Dans ces 2 cas, les tests effectués confirment qu'outre le tritium, les eaux traitées contiennent de nombreux radionucléides (les résultats détaillés sont reproduits en fin du présent chapitre).

Pour le réservoir G4S B10 on note, par ordre d'activité décroissante, la présence de : **carbone 14**, **nickel 63**, **strontium 90**, **césium 137**, **cobalt 60**, **iode 129**, **antimoine 125**, **technétium 99**, **césium 134**, **uranium 234**, **uranium 238**, **américium 241**. Pour celles du réservoir G4S-C8, sont identifiés en plus des isotopes du **plutonium**.

Sur le plan métrologique, on notera que pour ces deux réservoirs, les méthodes analytiques utilisées par TEPCO ne lui ont pas permis d'identifier la présence du **nickel 63** (4 à 5 Bq/l) contrairement aux 2 autres laboratoires et que l'AIEA n'a pas déterminé l'activité du **carbone 14**,

alors qu'elle est en seconde position après celle du tritium. Pour le fer 55 et les isotopes du plutonium, les capacités métrologiques de TEPCO sont bien inférieures à celles des 2 autres laboratoires. Ces quelques exemples montrent la difficulté technique que représente la caractérisation détaillée de la radioactivité des eaux avant rejet, en particulier pour les radionucléides émetteur bêta ou alpha qui n'émettent pas de rayonnements gamma. Sans parler de la question de la représentativité d'échantillons de quelques litres prélevés dans des réservoirs de 1 000 m<sup>3</sup>.

En conclusion, si l'activité du tritium est de loin la plus importante, les eaux rejetées dans le Pacifique à partir d'août 2023, contiennent bien d'autres substances dont des radionucléides à longue voire très longue période physique comme le césium 137 et le strontium 90 (30 ans), le nickel 63 (100 ans), le carbone 14 (5 730 ans), le technétium 99 (211 000 ans), l'iode 129 (16 millions d'années) ainsi que des transuraniens comme du plutonium. Les intercomparaisons organisées par l'AIEA montrent que les moyens métrologiques déployés par TEPCO ne lui permettent pas de détecter et quantifier toutes les substances présentes.

**Exercice d'intercomparaison sur les eaux du réservoir G4S-B10 traitées par le dispositif ALPS (source : AIEA<sup>xxvi</sup>).**

**TABLE 4. ACTIVITY CONCENTRATIONS (Bq/L) IN G4S-B10 ALPS TREATED WATER**

Nuclide	IAEA	KINS	TEPCO
<sup>3</sup> H	476400 ± 2400	504000 ± 17000	447000 ± 20000
<sup>14</sup> C	-	15.4 ± 1.3	13.4 ± 1.4
<sup>54</sup> Mn	<0.069	<0.16	<0.028
<sup>55</sup> Fe	<0.19	<0.64	<15
<sup>60</sup> Co	0.412 ± 0.013	0.412 ± 0.044	0.408 ± 0.041
<sup>63</sup> Ni	5.60 ± 0.24	4.64 ± 0.32	<9.1
<sup>79</sup> Se	-	-	<0.86
<sup>90</sup> Sr <sup>1</sup>	2.24 ± 0.20	2.49 ± 0.21	2.472 ± 0.055
<sup>99</sup> Tc	0.0368 ± 0.0087	<0.068	<0.44
<sup>106</sup> Ru	<0.63	<1.4	<0.29
<sup>125</sup> Sb	0.120 ± 0.018	<0.44	0.246 ± 0.045
<sup>129</sup> I	0.219 ± 0.050	0.165 ± 0.016	0.247 ± 0.062
<sup>134</sup> Cs	0.0292 ± 0.0059	<0.15	<0.035
<sup>137</sup> Cs	0.918 ± 0.030	0.921 ± 0.052	0.956 ± 0.089
<sup>144</sup> Ce	<0.60	<1.4	<0.36
<sup>147</sup> Pm	-	-	<0.33
<sup>151</sup> Sm	-	-	<0.013
<sup>154</sup> Eu	<0.11	<0.36	<0.073
<sup>155</sup> Eu	<0.14	<0.51	<0.13
<sup>234</sup> U	<0.00037	0.01388 ± 0.00077	<0.026
<sup>238</sup> U	<0.00047	0.01439 ± 0.00079	<0.026
<sup>237</sup> Np	<0.000018	<0.0000057	<0.026
<sup>238</sup> Pu	<0.000050	<0.001	<0.026
<sup>239</sup> Pu	<0.00040	<0.0000084	<0.026
<sup>240</sup> Pu		<0.0000028	<0.026
<sup>241</sup> Pu	-	<0.0000094	<0.72
<sup>241</sup> Am	0.0039 ± 0.0015	<0.78	<0.026
<sup>244</sup> Cm	-	-	<0.026

Notes: <sup>1</sup> A value of 2.472 ± 0.055 for <sup>90</sup>Y, derived from the measured activity concentration of <sup>90</sup>Sr, was reported by TEPCO.

<sup>2</sup> A value of 0.057 ± 0.011 for <sup>125m</sup>Te derived from the measured activity concentration of <sup>125</sup>Sb, was reported by TEPCO.

<sup>3</sup> A combined value for <sup>239,240</sup>Pu was reported by IAEA.

**Exercice d'intercomparaison sur les eaux du réservoir G4S-C8 traitées par le dispositif ALPS (source : AIEA<sup>xxvii</sup>).**

TABLE 5. ACTIVITY CONCENTRATIONS (Bq/L) IN G4S-C8 ALPS TREATED WATER

Nuclide	IAEA	KINS	TEPCO
<sup>3</sup> H	394400 ± 1100	419000 ± 14000	365000 ± 16000
<sup>14</sup> C	-	9.7 ± 1.2	9.9 ± 1.1
<sup>54</sup> Mn	<0.056	<0.15	<0.034
<sup>55</sup> Fe	<0.019	<0.79	<15
<sup>60</sup> Co	0.1503 ± 0.0077	0.154 ± 0.018	0.162 ± 0.020
<sup>63</sup> Ni	4.51 ± 0.19	4.06 ± 0.35	<8.2
<sup>79</sup> Se	-	-	<0.86
<sup>90</sup> Sr <sup>1</sup>	0.67 ± 0.06	0.652 ± 0.070	0.72 ± 0.026
<sup>99</sup> Tc	<0.016	<0.068	<0.44
<sup>106</sup> Ru	<0.51	<1.3	<0.26
<sup>125</sup> Sb	0.198 ± 0.016	<0.45	0.211 ± 0.036
<sup>129</sup> I	<0.18	<0.049	0.038 ± 0.018
<sup>134</sup> Cs	<0.049	<0.14	<0.036
<sup>137</sup> Cs	<0.039	<0.13	<0.035
<sup>144</sup> Ce	<0.18	<1.4	<0.36
<sup>147</sup> Pm	-	-	<0.30
<sup>151</sup> Sm	-	-	<0.012
<sup>154</sup> Eu	<0.083	<0.32	<0.067
<sup>155</sup> Eu	<0.12	<0.51	<0.12
<sup>234</sup> U	<0.00030	<0.0010	<0.026
<sup>238</sup> U	<0.00040	<0.00075	<0.026
<sup>237</sup> Np	<0.000056	<0.0000056	<0.026
<sup>238</sup> Pu	0.00028 ± 0.00016	<0.0025	<0.026
<sup>239</sup> Pu	0.00140 ± 0.00036	<0.0000087	<0.026
<sup>240</sup> Pu		<0.0000029	<0.026
<sup>241</sup> Pu	-	<0.000019	<0.72
<sup>241</sup> Am	0.00176 ± 0.00051	<0.81	<0.026
<sup>244</sup> Cm	-	-	<0.026

Notes: <sup>1</sup> A value of 0.72 ± 0.026 for <sup>90</sup>Y, derived from the measured activity concentration of <sup>90</sup>Sr, was reported by TEPCO.

<sup>2</sup> A value of 0.0487 ± 0.0083 for <sup>125m</sup>Te derived from the measured activity concentration of <sup>125</sup>Sb, was reported by TEPCO.

<sup>3</sup> A combined value for <sup>239,240</sup>Pu was reported by IAEA.

### 3 Des contrôles spécifiques de la radioactivité du milieu marin et des produits de la pêche ont-ils été mis en place au Japon et sont-ils satisfaisants ?

#### Déroutement des rejets

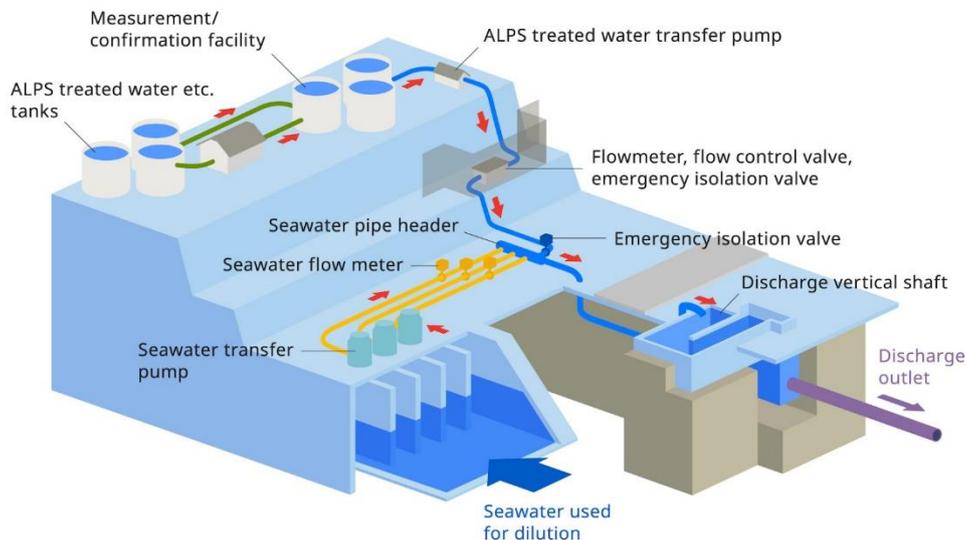
Comme indiqué précédemment, sur l'année fiscale 2023 (se terminant en mars 2024), TEPCO a effectué 4 campagnes de rejets « contrôlés ».

Pour ces premières campagnes, l'entreprise a sélectionné les réservoirs dont l'activité en tritium était inférieure à la limite opérationnelle de 1 million de Bq/l et avec les activités les plus faibles disponibles (< 200 000 Bq/l).

La demi-vie du tritium étant de 12,3 ans, il est en effet pertinent de différer les rejets le plus possible pour bénéficier de la décroissance « naturelle » partielle des éléments radioactifs. En attendant 1 an, la radioactivité du tritium aura diminué d'environ 5 %, en 5 ans d'environ 25 %, etc. On notera que même pour les lots les moins contaminés (130 000 Bq/l), il serait nécessaire d'attendre plus d'une décennie pour respecter le critère réglementaire de 60 000 Bq/l permettant un rejet direct.

Le dispositif de rejet est schématisé ci-dessous :

#### Dispositif de rejet des effluents dans le Pacifique (Source : TEPCO<sup>xxviii</sup>).



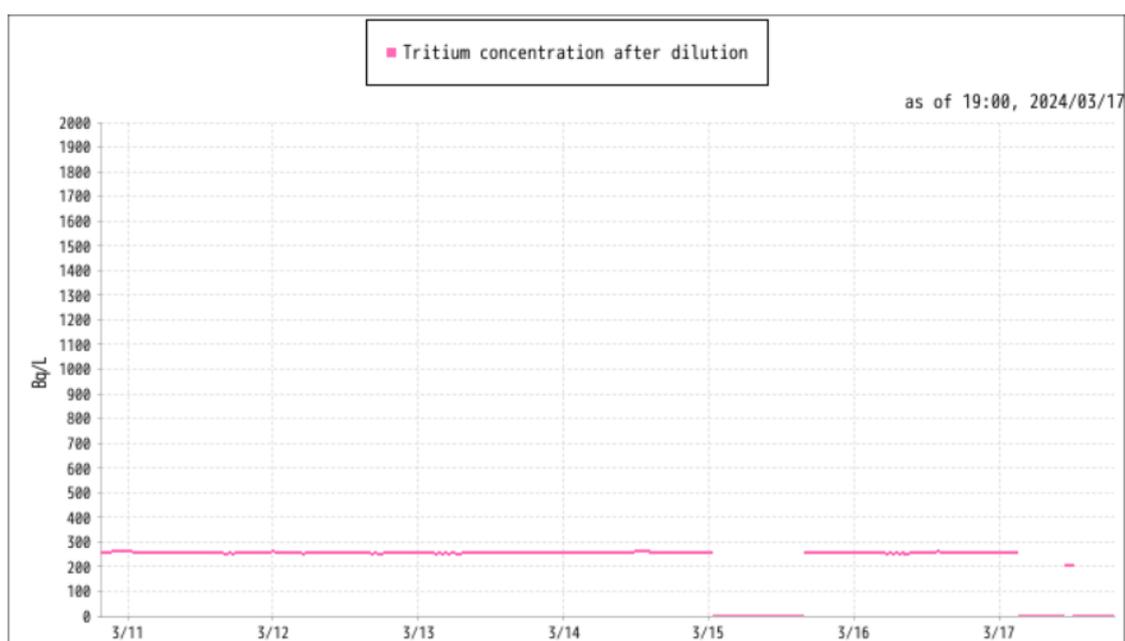
Les campagnes de rejet ont été réalisées en tenant compte, pour ce qui concerne le tritium, de deux critères:

- une concentration au point de rejet inférieure à 1 500 Bq/l (obtenue en diluant de plus de 700 fois les eaux des réservoirs avec de l'eau de mer) ;
- une activité totale inférieure à 22 TBq soit 22 mille milliards de Becquerels par an.

Comme indiqué au chapitre 2 (tableau page 16), Tepco indique avoir respecté ces critères avec des valeurs en tritium inférieures respectivement à **300 Bq/l** et **5 TBq**.

En mars 2024, la 4<sup>ème</sup> campagne de rejets a été perturbée par des séismes. Elle a dû être interrompue<sup>xxix</sup> quelques heures, le 15 mars, suite à la survenue d'un séisme<sup>xxx</sup> de magnitude 5.8 au large des côtes de la préfecture de Fukushima. TEPCO a été contraint de vérifier l'impact du séisme sur les installations de rejets avant de reprendre les opérations. D'autres perturbations ont été produites par un second séisme de magnitude 5,4 survenu le 17 mars au large de Fukushima. On retrouve ces perturbations sur le graphe ci-dessous. La 4<sup>ème</sup> campagne de rejet s'est achevée le 17 mars 2024.

### Concentration du tritium après dilution du 11 au 17 mars 2024 (source : TEPCO<sup>xxxi</sup>)



## Niveau de tritium des eaux de mer

Des contrôles de l'activité du tritium de l'eau de mer sont effectués par TEPCO et par d'autres institutions, à diverses distances de l'émissaire de rejets et selon diverses méthodologies.

### Mesures « rapides »

Des mesures « rapides » de la concentration en tritium sont effectuées pour vérifier que les rejets s'effectuent avec un niveau de dilution conforme aux prévisions. Pour ces mesures, les limites de détection sont relativement élevées, de l'ordre de 10 à 20 Bq/l.

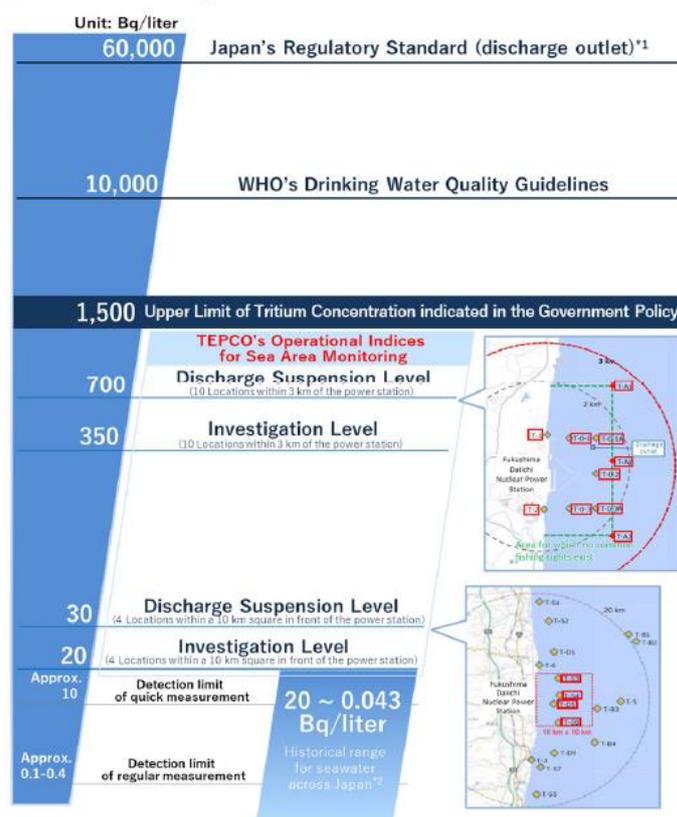
La décision de suspendre les rejets serait prise en cas de dépassement de seuils fixés à 700 Bq/l à 3 kilomètres au large de la centrale et 30 Bq/l à 10 km.

Le bilan que dresse TEPCO est reproduit page suivante.

## Bilan de la mesure « rapide » de l'activité du tritium dans l'eau de mer (source : TEPCO<sup>xxxii</sup>)

	Area	Monitoring locations	Results of quick tritium measurement
First discharge	Within a 3km of the power station	10 locations	Below the detection limit – Max. 10 Bq/liter
	Within a 10km square in front of the power station	4 locations	Below the detection limit
Second discharge	Within a 3km of the power station	10 locations	Below the detection limit – Max. 22 Bq/liter
	Within a 10km square in front of the power station	4 locations	Below the detection limit
Third discharge	Within a 3km of the power station	10 locations	Below the detection limit – Max. 11 Bq/liter
	Within a 10km square in front of the power station	4 locations	Below the detection limit
Fourth discharge	Within a 3km of the power station	10 locations	Below the detection limit – Max. 16 Bq/liter
	Within a 10km square in front of the power station	4 locations	Below the detection limit

### [Reference] Comparison of concentration of tritium in seawater



\*1: This standard has been stipulated based on the calculation that if a person were to drink approximately 2L of the water coming out of the discharge outlet of a nuclear facility every day for one year, his/her exposure would be 1mSv.

\*2: Source: Environmental Radioactivity and Radiation in Japan (Period: April 2019 to March 2022)

## Mesures plus précises

Ces mesures « rapides » sont complétées par des mesures plus précises obtenues avec un délai supérieur.

La compilation éditée<sup>xxxiii</sup> par la NRA (Nuclear Regulation Authority) en date du 5 mars 2024 montre que sur la période 2013-2023, pour la zone des 3 kilomètres au large de la centrale, les niveaux de tritium dans l'eau de mer sont restés **inférieurs à 2 Bq/l**. Un extrait est reproduit page suivante.

Les valeurs les plus élevées (proches de 2 Bq/l) ont été observées à la station M101 dans la période 2014-2015, par conséquent avant le début des rejets « contrôlés » des eaux traitées par le dispositif ALPS.

On observe cependant pour les 4 points de surveillance, que les valeurs sont plus élevées en fin d'année 2023 par rapport à 2022, ce qui pourrait suggérer un impact des rejets.

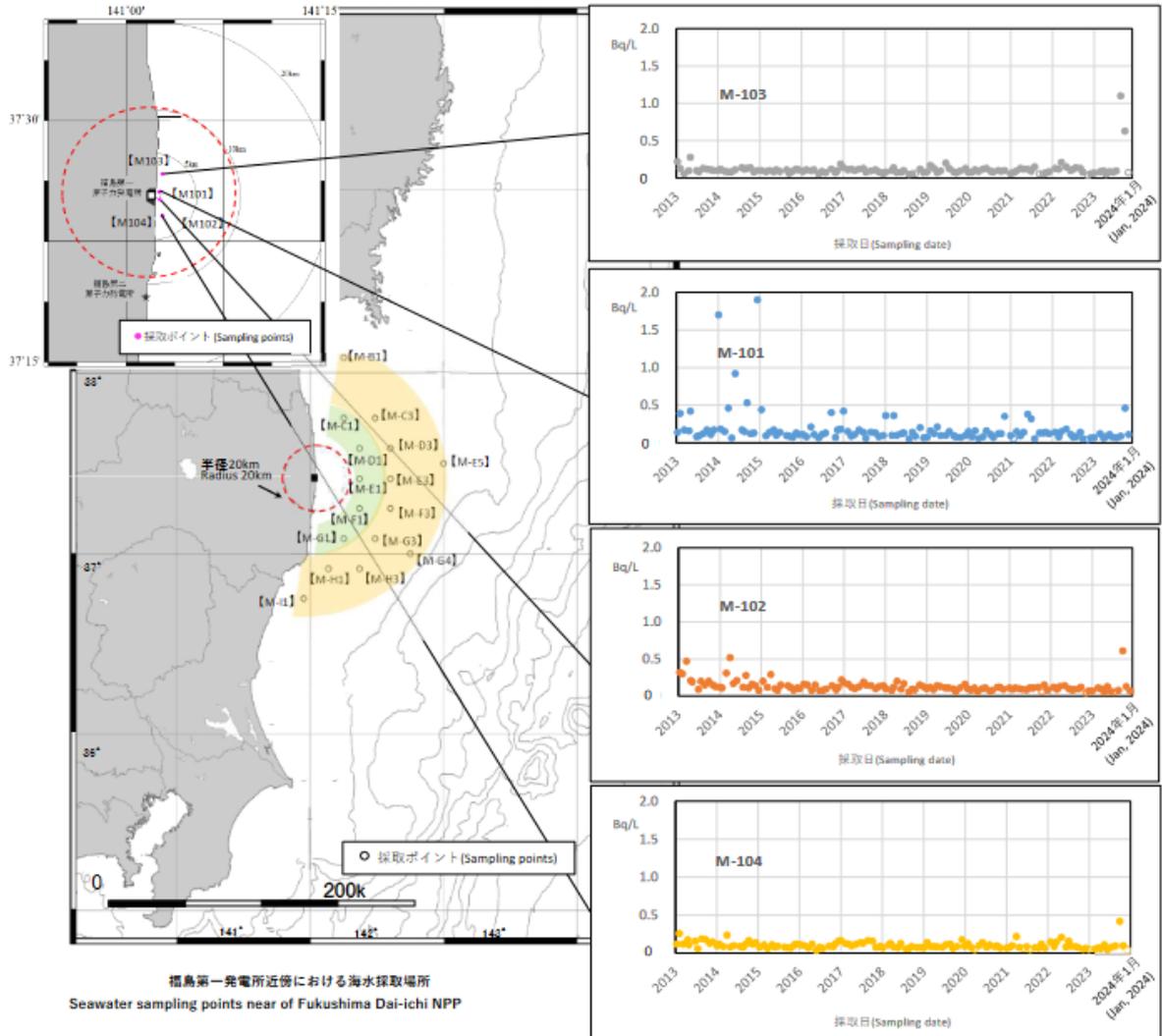
L'interprétation fine de ces variations nécessiterait de prendre en compte tous les termes sources et d'effectuer des modélisations hydrodynamiques en fonction de la dynamique des apports et de la courantologie locale.

**Concentration du tritium dans l'eau de mer au voisinage de la centrale de Fukushima DAiichi (période 2013-2023), (source : NRA<sup>xxxiv</sup> 5 mars 2024)**

**海水中トリチウム濃度の推移**

**Concentration ranges of Tritium in sea-water near of Fukushima Daiichi NPP**

**近傍海域 (~3km)**



福島第一発電所近傍における海水採取場所  
Seawater sampling points near of Fukushima Dai-ichi NPP

\* 図中の■は東京電力ホールディングス所属福島第一原子力発電所を示す。  
\* The mark ■ Indicates the location of Fukushima Dai-ichi NPP.

※ NDは白抜きとし検出下限値を表示 ※ An open circle shows the detection limit for the case where tritium was not detected.

原子力規制委員会  
Nuclear Regulation Authority (NRA)

令和6年3月5日  
Mar 5, 2024

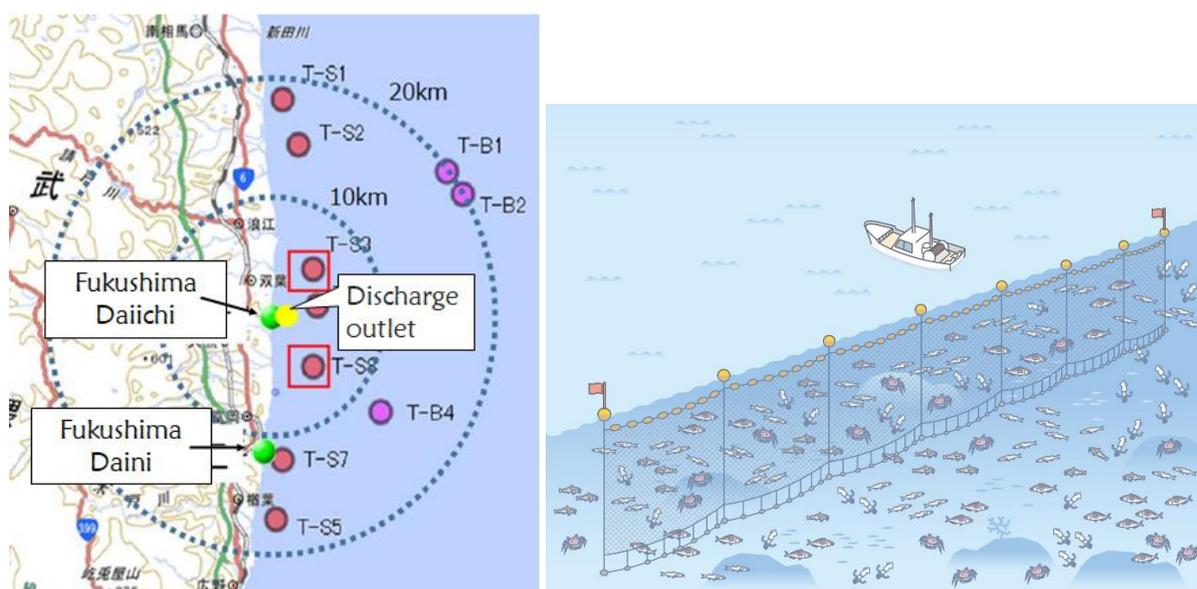
## Niveau de tritium des produits de la pêche

La JFA (Japan Fisheries Agency) publie les résultats de contrôles radiologiques effectués sur les produits de la pêche. Pour ce qui concerne la contamination en tritium, le site de l'agence, consulté le 16 mars 2024, renvoie à deux types de contrôles.

### Le contrôle « rapide »

Le contrôle rapide (« rapid analysis method») porte sur des échantillons de poissons prélevés dans les secteurs T-S3 (à environ 4 km au nord-nord-est du point de rejet) et T-S8 (à environ 5 km au sud-sud-est). Ces 2 secteurs sont encadrés en rouge sur la figure ci-dessous. Le point de rejet est figuré en jaune.

### Dispositif et localisation de prélèvement réguliers de poissons par la JFA<sup>xxxv</sup> pour le contrôle de l'activité du tritium



Le tableau comporte 164 résultats de mesure du tritium dans la chair de poissons, majoritairement des limandes (poissons plats) (« olive flounder » dans le tableau original).

Les 15 premiers résultats sont antérieurs aux rejets (août 2023), le reste est postérieur et la dernière pêche au filet date du 14 mars 2024.

Tous les résultats sont inférieurs aux limites de détection. Elles sont relativement élevées s'agissant d'un contrôle « rapide » (< 7 à < 10 Bq/kg).

### Le contrôle « précis »

Le second type de contrôle consiste à mesurer le tritium avec une méthode plus précise mais qui requiert un délai plus long. Les résultats sont donnés dans un tableau (« Internationally recognized method») qui comporte les résultats de 400 contrôles effectués entre le 29 juin 2022 et le 21 janvier 2024 sur des produits issus de la pêche en milieu marin sur les côtes d'une dizaine de préfectures. **L'activité du tritium est inférieure aux limites de détection dans tous les échantillons contrôlés (< 0,175 à < 0,408 Bq/kg).**

Le document ne précise pas s'il s'agit du tritium libre ou du tritium organiquement lié.

Pour le secteur géographique dénommé « offshore Fukushima » (au large de la préfecture de Fukushima) on relève 158 contrôles correspondant à 16 sous catégories géographiques comme par exemple « au large de Soma » ou « sur la côte de Hisanohama ».

L'espèce la plus contrôlée (48 échantillons 30 % des cas) correspond à la catégorie des poissons plats (« olive flounder »). En revanche, pour les sébastes (perche de mer) ou les crabes, ne figure qu'un seul échantillon.

### Recherche de résultats indépendants

Nous avons cherché à disposer de résultats de mesure indépendants en consultant les données publiées sur le site du laboratoire citoyen « Tarachine » basé à Iwaki au sud de la préfecture de Fukushima.

Les 6 derniers rapports d'analyse du milieu marin<sup>xxxvi</sup> (n°37 à 42) portent sur le contrôle de l'eau de mer et parfois des poissons, au large des côtes des préfectures de Miyagi, Fukushima et Chiba. Une ligne est prévue pour faire figurer des résultats d'analyse du tritium mais il n'y a pas encore de résultats disponibles.

La question du tritium et de l'impact des rejets « contrôlés » ne doit pas faire oublier celle, plus vaste, de la contamination radioactive globale du milieu marin suite à la catastrophe de Fukushima.

## La contamination par le césium radioactif des produits issus de la pêche

La JFA (Japan Fisheries Agency) publie les résultats de contrôles radiologiques effectués sur les produits de la pêche. Les données ci-dessous sont extraites du site<sup>xxxvii</sup> de l'institution consulté le 26 février 2024.

La majorité des contrôles effectués depuis 2011 sur les produits de la pêche, ont porté sur les radiocésiums 134 et 137.

Le graphique portant sur les produits issus de la pêche en milieu marin et celui portant sur la pêche en eau douce sont reproduits ci-dessous.

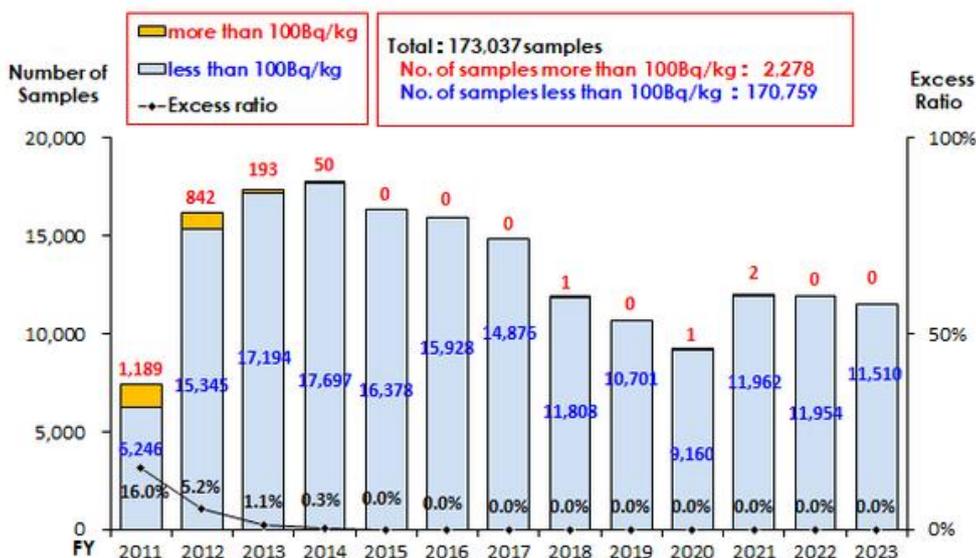
Pour chaque année est précisé (en rouge) le nombre de cas où la contamination a dépassé le seuil de **100 becquerels par kilogramme**, en vigueur depuis le 1<sup>er</sup> avril 2012 au Japon.

Pour les 2 catégories de produits, le nombre de dépassements de la « norme » de 100 Bq/kg a fortement diminué au cours du temps.

Pour les produits issus du milieu marin, il est passé par exemple de 16 % des cas en 2011 à 5,2 % en 2012, et 1,1 % en 2013.

## Résultats des contrôles de contamination par les radiocésiums dans les produits de la pêche en milieu marin (source : JFA)

### Marine fish species



La valeur la plus élevée<sup>xxxviii</sup> (3 300 Bq/kg) avait été mesurée sur des pagres à tête noire (*Acanthopagrus schlegeli*), poissons qui se nourrissent de mollusques et de vers, pêchés le 6 juillet 2012 au large de la préfecture de Miyagi, a priori à une centaine de kilomètres au nord de la centrale de Fukushima Daiichi.

Le graphique indique qu'aucun dépassement n'a été enregistré en 2022 et 2023.

Pourtant, l'examen des plus de 200 000 résultats de la base de données de la JFA révèle que sur les 7 poissons dont la contamination en césium 137 est supérieure à 1 000 Bq/kg (cf. extrait ci-dessous), 6 ont été enregistrés en 2012 et 2013, et un le 26 janvier 2022. La mesure porte sur des *Sebastes schlegeli*, ou « sébastes noirs », poissons pélagiques carnivores pêchés au large d'Isobe, un port situé à une quarantaine de kilomètres au nord de la centrale de Fukushima. La contamination de ces poissons par les césiums 137 et 134 est respectivement de 1 340 Bq/kg et 44,7 Bq/kg soit un total de 1 384 Bq/kg, une valeur **plus de 13 fois supérieure au seuil de 100 Bq/kg**.

### Extrait de la base de données sur les contrôles de contamination par les radiocésiums dans les produits de la pêche (source : JFA<sup>xxxix</sup>)

Press release		Origin		Name of sampling area on food labeling	Item		Radioactive Caesium (Bq/kg)			Facility that conducted the analysis
Prefecture	Date	Prefecture	Landing port or area		Japanese	English	Standard limit for Radioactive Caesium in fish: 100Bq/l	Radioactive Caesium (Bq/kg) Cesium-134	Radioactive Caesium (Bq/kg) Cesium-137	
Fukushima	18 July 2012	Fukushima	Offshore Hirono	Offshore Fukushima	シロメバル	Rockfish (Sebastes cheni)	1700	664	1070	Fukushima Agricultural Technology Centre
Fukushima	29 August 2012	Fukushima	Offshore Tomioka	Offshore Fukushima	シロメバル	Rockfish (Sebastes cheni)	1700	660	1070	Fukushima Agricultural Technology Centre
Fukushima	05 December 2012	Fukushima	Offshore Okuma	Offshore Fukushima	シロメバル	Rockfish (Sebastes cheni)	1700	641	1090	Fukushima Agricultural Technology Centre
Fukushima	08 May 2013	Fukushima	Offshore Hirono	Offshore Fukushima	アイナメ	Fat greenling (Hexagrammos otakii)	1700	570	1150	Fukushima Agricultural Technology Centre
Fukushima	28 November 2012	Fukushima	Offshore Hisanohama	Offshore Fukushima	クロダイ	Japanese black porgy (Acanthopagrus schlegeli)	2000	734	1260	Fukushima Agricultural Technology Centre
Fukushima Prefectural Federation of Fisheries Co-operative Associations	26 January 2022	Fukushima	Offshore Isobe	Offshore Fukushima	クロソイ	Black rockfish (Sebastes schlegeli)	1400	44,7	1340	Fukushima Prefectural Research Institute of Fisheries Resource
Miyagi	06 July 2012	Miyagi	Offshore Hamaichi, Higashi-matushima City	Offshore Miyagi	クロダイ	Japanese black porgy (Acanthopagrus schlegeli)	3300	1300	2000	Mizuken, co. Ltd

Ce résultat montre que la présentation « rassurante » des résultats des contrôles est erronée et que la décision des autorités japonaises (Nuclear Emergency Response Headquarters) de lever, le 25 février 2020, les restrictions sur la distribution des espèces marines est critiquable et ne permet pas de garantir la protection des consommateurs.

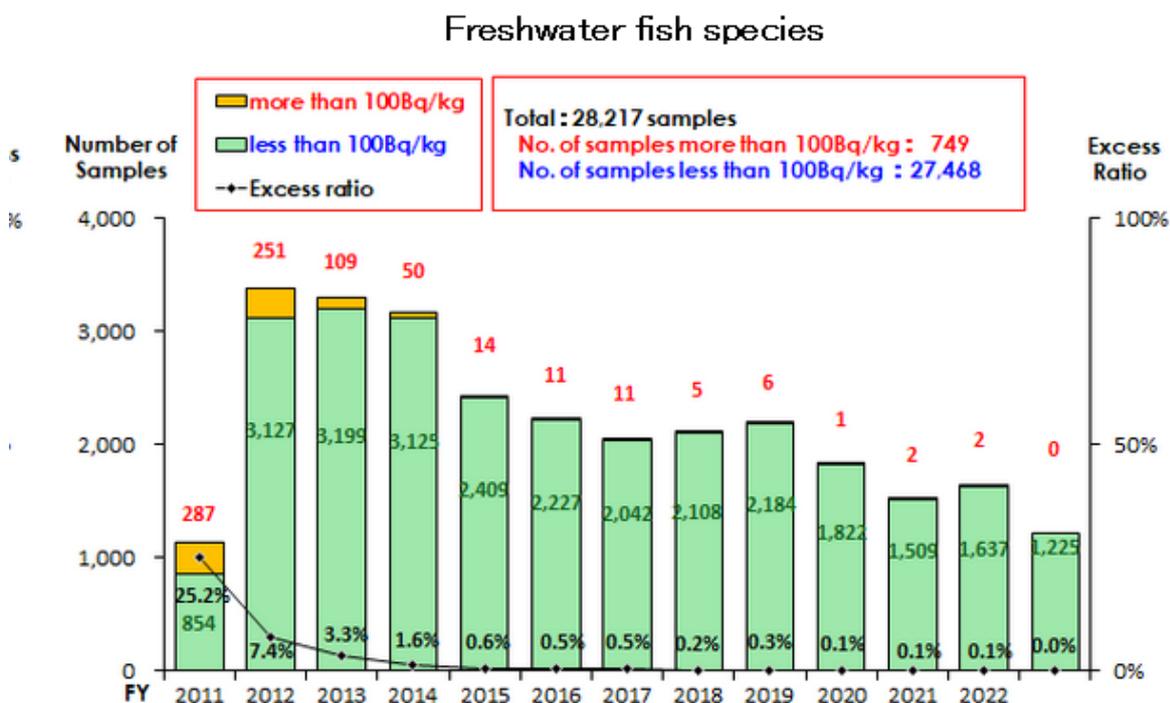
Non seulement la contamination en césium radioactif des produits de la mer peut toujours dépasser les normes sanitaires, plus de 10 ans après la catastrophe, mais de surcroît de façon notable, sans que l'information ne soit clairement donnée au grand public.

## La contamination par le césium radioactif des produits issus de la pêche en eau douce

L'examen approfondi de la base de données montre que, pour l'année 2022, 4 résultats de contrôle sur les produits de la pêche dépassent le seuil de 100 Bq/kg : les sébastes noirs (pêchés en mer et évoqués ci-dessus), mais aussi des poissons de rivière : des **saumons** pêchés en août et octobre dans une rivière du district de Date (101 et 143 Bq/kg) et des **truites** pêchées en novembre dans le district de Fukushima (155 Bq/kg).

Curieusement, le graphique de synthèse (reproduit ci-dessous) pour les produits issus de la pêche en eau douce ne mentionne pour l'année 2022 que 2 résultats au-dessus de 100 Bq/kg, au lieu des 3 listés ci-dessus.

### Résultat des contrôles de contamination par les radiocésiums dans les produits de la pêche en eau douce (source : JFA<sup>xl</sup>)



En examinant l'ensemble des résultats de l'année 2022 pour tous les produits de la pêche confondus (en mer et en eau douce), on constate que **99,4 % des 364 cas** pour lesquels la

contamination en césium radioactif est comprise entre **10 et 100 Bq/kg** sont des produits issus de la pêche en eau douce (lacs et rivières).

Il s'agit de nombreux types de **poissons** (saumons, truites, ayu, carpes, anguilles, poissons chats, silures, etc.) mais aussi de **crevettes d'eau douce, crabes, écrevisses**.

**La question de l'impact des rejets radioactifs dans le Pacifique sur les produits de la pêche en mer ne doit donc pas faire oublier celle de la contamination des produits issus de la pêche dans les lacs et rivières.**

## Insuffisance du dispositif de surveillance

Une analyse critique exhaustive des lacunes du dispositif de surveillance de la contamination des produits de la pêche sort du champ de la présente étude. Mais un examen rapide des bases de données de la JFA permet d'illustrer les insuffisances.

### Exemple du contrôle des algues comestibles *Hizikia fusiformis*

Pour les algues de l'espèce Hijiki (*Hizikia fusiformis*), 187 résultats de contrôles apparaissent dans la base de la JFA sur la période 2011-2023. Ils proviennent des préfectures de Iwate et Miyagi, au nord de celle de Fukushima, et de celles de Ibaraki, Chiba et Kanagawa au sud. On ne trouve que 3 résultats pour la préfecture de Fukushima.

Le premier échantillon, prélevé en mai 2011 sur les côtes de la ville d'Iwaki était très contaminé (1 100 Bq/kg pour les 2 césiums et 2 200 Bq/kg pour les iodes radioactifs).

Le second prélevé en août 2011 sur les côtes d'Iwaki restait contaminé à hauteur de 110 Bq/kg pour les césiums.

Pour le troisième prélevé en mai 2013 au niveau de la ville de Yotsukura, la contamination était inférieure à la limite de détection (< 7,4 Bq/kg pour les 2 césiums).

Compte tenu de la variation attendue dans le temps et dans l'espace de la contamination en fonction des saisons et de la dynamique des courants, **un programme de contrôle rigoureux de surveillance aurait nécessité nettement plus de contrôles que 3 en 13 ans sur les côtes de la préfecture de Fukushima.**

### Assiette de Hijiki (source <sup>xli</sup> :)



Par ailleurs, cette algue est exceptionnellement riche en calcium<sup>xlii</sup> (1 400 mg pour 100 g, à comparer à une teneur de 800 mg pour les lamineuses, de 100 mg pour le lait, et de 24 mg pour le chou). Or le strontium 90, un autre élément radioactif rejeté dans l'environnement par la catastrophe de Fukushima se comporte comme le calcium. Il est donc pertinent d'en vérifier le niveau d'accumulation dans les produits destinés à l'alimentation les plus à risque.

La JFA met à disposition sur son site des bases de données spécifiques pour les substances radioactives autres<sup>xliii</sup> que les radiocésiums, dont le strontium 89 et 90.

Sur la période 2011-2023, sur 360 résultats disponibles, onze seulement portent sur les algues, et aucun sur l'espèce Hijiki.

### Exemple de la contamination par le plutonium

Pour les isotopes émetteurs alpha du plutonium (plutonium 238, 239 et 240), seuls 5 % des échantillons de produits de la pêche de la base de données de la JFA ont été testés (18 échantillons sur 360), dont 12 poissons (correspondant à 5 espèces), une pieuvre, 3 ascidies et 2 pétoncles.

L'activité du plutonium 239-240 est supérieure à la limite de détection dans 2 des 18 échantillons testés. Il s'agit dans chaque cas de **pétoncles japonaises** (bivalves).

Elles ont été prélevées le 7 octobre 2013 (baie d'Uchiura, préfecture d'Hokkaido : 0,011 Bq/kg), et le 15 octobre 2014 dans la baie de Mutsu (préfecture d'Aomori : 0,022 Bq/kg).

Il est regrettable qu'aucune donnée ne concerne le plutonium dans les mollusques au large de la préfecture de Fukushima et plus globalement dans les mollusques filtreurs (huîtres, moules) sur les côtes de l'est du Japon.

Dans le présent chapitre, nous avons comparé des niveaux de contamination en radiocésium, exprimés en becquerels par kilogramme, à des normes applicables pour la consommation.

La question des normes, du niveau de protection sanitaire qu'elles sont censées garantir au consommateur, de la fragilité des connaissances scientifiques qui sous-tendent leur adoption nécessiterait une discussion approfondie. Ce type de problématique est brièvement évoqué au chapitre suivant dans le cas particulier du tritium.

## 4 L'impact des rejets de tritium pour le milieu marin et les consommateurs de produits de la pêche est-il insignifiant?

### Un discours officiel catégorique

Selon TEPCO et les experts qu'elle met en avant, les rejets de tritium n'auront strictement aucun impact.

Nous reproduisons ci-dessous le point 5 « *Opinion d'expert sur le tritium émis par Fukushima Daiichi* » d'une section du site de TEPCO dédiée aux rejets dans le Pacifique.

#### Extrait du site de TEPCO dédié aux rejets dans le Pacifique (source : TEPCO<sup>xliv</sup>).

1. Background of a large amount of water accumulation
2. How and why the Japanese government decided to release the water into the sea
3. Treatment Method of the Water
4. Amount and concentration of tritium to be released
5. Expert opinion on tritium emitted from Fukushima Daiichi
6. IAEA's View
7. Overview of the Four Batches of ALPS Treated Water Discharge and Monitoring Methods NEW
8. Result of Monitoring NEW
9. Onsite audit by IAEA NEW
10. Comments from IAEA NEW
11. Ongoing Decommissioning Plan NEW
12. Video NEW
13. Link NEW

#### 5 Expert opinion on tritium emitted from Fukushima Daiichi

Professor Jim Smith of the University of Portsmouth, England, who specializes in environmental science, has also stated that the predicted doses to people and the environment are tiny and are of no significant consequence to the marine ecosystem, or to people's health.

Seafood caught from the sea is controlled for radioactivity levels and is safe to eat.

Mr. Jim Smith, a professor of environmental science at the University of Portsmouth in the UK

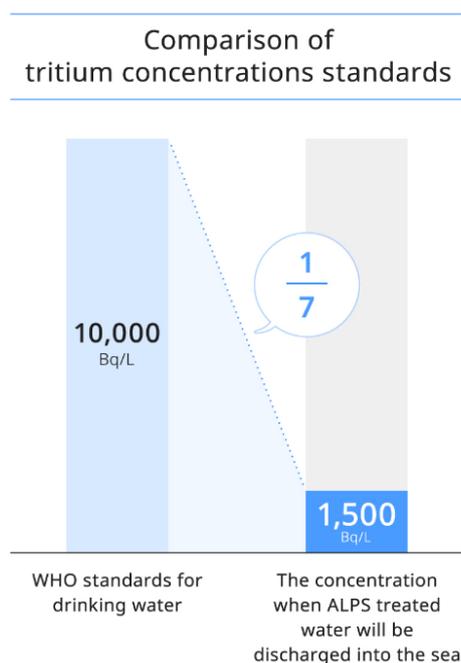
"The tritium will be released in the form of 'tritiated water' which from decades of past experience does not biomagnify in food chains. Tritium is also a very weak radiation emitter making it much less dangerous than other radioactive elements. Because of this, a lot of tritium needs to be ingested to give a person a significant radiation dose."

L'expert cité indique : "Le tritium sera libéré sous forme d'eau tritiée qui, d'après l'expérience acquise au fil des décennies, ne fait pas l'objet de phénomènes de bioaccumulation dans les chaînes alimentaires. Le tritium est également un très faible émetteur de rayonnement, ce qui le rend beaucoup moins dangereux que d'autres éléments radioactifs. C'est pourquoi il faut ingérer une grande quantité de tritium pour qu'une personne reçoive une dose de rayonnement significative".

TEPCO appuie également sa communication en faisant référence, dans de très nombreux documents et rapports, à la valeur guide de **10 000 Bq/l** établie par l'OMS, l'Organisation Mondiale de la Santé pour l'eau destinée à la consommation humaine.

Comme indiqué au chapitre précédent, TEPCO s'engage à diluer suffisamment les effluents avec de l'eau de mer pour que la concentration finale avant rejet soit inférieure à **1 500 Bq/l** (cf. illustration ci-dessous). Si la concentration en tritium dans le rejet en mer, et a fortiori dans l'eau de mer elle-même, est très inférieure à la valeur guide de l'OMS pour l'eau de boisson, le public en déduira qu'il ne peut y avoir aucun impact sur le milieu marin ou le consommateur.

## Comparaison entre les normes OMS pour la concentration en tritium dans les eaux potables et le rejet en mer (source : TEPCO<sup>xlv</sup>).



Le discours tenu par l'AIEA est également catégorique sur l'innocuité des rejets de tritium.

La fiche<sup>xlvi</sup> pédagogique de l'AIEA : « What is tritium ? » indique (traduction par nos soins) :

« Le tritium a une demi-vie de 12,32 ans. Cela signifie que pour une quantité donnée de tritium, il n'en restera que la moitié après 12,32 ans en raison de la désintégration radioactive.

L'eau tritiée a une demi-vie biologique relativement courte dans le corps humain, de 7 à 14 jours. La demi-vie biologique d'une substance chimique (par exemple, un médicament) dans un organisme vivant est le temps nécessaire pour que la moitié de cette substance soit épuisée ou éliminée du corps.

Le tritium émet des particules bêta de faible énergie, c'est-à-dire des électrons, d'une énergie moyenne de 5,7 keV (kiloélectron-volts), qui peuvent pénétrer dans l'air à une distance d'environ 6,0 mm, mais ne peuvent pas pénétrer dans le corps à travers la peau humaine. Il peut présenter un risque de radiation s'il est inhalé ou ingéré, mais n'est nocif pour l'homme qu'à de très fortes doses ».

## Une réalité beaucoup plus complexe

Dans la communauté scientifique, le débat reste très vif et ce depuis des décennies, sur la question de l'appréciation des risques liés aux rejets de tritium dans l'environnement, y compris dans l'environnement marin. Les présentations rassurantes de TEPCO et de l'AIEA doivent être analysées à la lumière des faits suivants :

1. Le tritium présent dans l'eau de mer va se diffuser très largement dans l'environnement et y persister longtemps. Il faut 12,3 ans pour que sa radioactivité soit divisée par 2, mais 10 fois plus de temps (plus de 120 ans) pour qu'elle soit divisée par 1 000. Des atomes radioactifs pourront être retrouvés à très grande distance du point de rejet et pendant des décennies. Or en matière d'exposition aux substances radioactives, il n'existe pas de seuil d'innocuité.

Fukushima Rejets des eaux contaminées - Note CRIIRAD 24-07 - Bruno CHAREYRON - 15/3/2024 - Version 1

2. Le tritium contenu dans l'eau de mer se retrouvera également dans les eaux de pluie produites par l'évaporation de l'eau de mer, et atteindra les écosystèmes terrestres.
3. S'agissant d'un isotope radioactif de l'hydrogène, et l'hydrogène étant un constituant de base de la matière vivante, le tritium va se retrouver dans l'eau constitutive du milieu cellulaire de tous les organismes vivants en contact avec l'eau tritiée (faune et flore aquatique, faune et flore terrestre).
4. Selon le CEA<sup>xlvii</sup> : « *Quelle que soit son origine, le tritium est extrêmement mobile au niveau de tous les systèmes biologiques et dans l'environnement, et s'échange avec les atomes d'hydrogène au sein de molécules biologiques (ADN, protéines...)* ».  
Une partie du tritium rejeté dans l'environnement se retrouvera sous forme de tritium organiquement lié (TOL en français ou OBT « Organically Bound Tritium » en anglais) dans les êtres vivants (incorporation par exemple lors de photosynthèse, par les végétaux terrestres, le phytoplancton, etc.). Dans ce cas, les atomes de tritium sont liés à des atomes de carbone, oxygène, azote, au sein des molécules organiques indispensables à la vie, y compris l'ADN des cellules. Son temps de résidence dans les êtres vivants ne se chiffre alors plus en dizaines de jours, mais en mois, années voire plus.
5. L'être humain sera potentiellement exposé au tritium rejeté en mer par plusieurs mécanismes : l'ingestion de produits issus de la pêche (algues, poissons, mollusques, crustacés) et de productions d'origine terrestre indirectement touchées, inhalation de vapeur d'eau et d'embruns, ingestion d'eau potable (cas de la production d'eau par dessalement d'eau de mer ou à partir des eaux de pluie), transfert cutané<sup>xlviii</sup> notamment via la vapeur d'eau tritiée.
6. Une partie du tritium incorporé par la mère traverse le placenta et se retrouve dans les tissus de l'embryon et du fœtus selon des mécanismes complexes, variables selon les espèces. Compte tenu de la radiosensibilité accrue du fœtus et de l'embryon, on peut déplorer d'ailleurs que les estimations de risques sur lesquelles se base l'AIEA pour déclarer que les risques seront négligeables ne prennent pas en compte l'exposition du fœtus.
7. Les modèles dosimétriques « classiques » utilisés pour convertir une quantité de tritium ingérée ou inhalée exprimée en Becquerels en une dose efficace exprimée en Sievert et en un niveau de risque sanitaire sont basés sur un schéma conceptuel extrêmement réducteur qui ne tient pas compte de la complexité des mécanismes physiques, physiologiques et biologiques à l'œuvre.

Pour approfondir ces sujets, le lecteur peut utilement consulter le « livre blanc tritium » publié par l'ASN et régulièrement mis à jour ou encore la récente compilation « Exploring Tritium Dangers »<sup>xlix</sup> d'Arjun Makhijani.

## Des normes insuffisamment protectrices

Comme évoqué plus haut, la valeur guide de l'OMS de **10 000 Bq/l** est régulièrement mise en avant pour banaliser la contamination des eaux de mer, eaux souterraines, eaux de surface et eau potable par le tritium rejeté par les installations nucléaires.

En 2019, la CRIIRAD a publié<sup>l</sup> une étude critique du dispositif réglementaire en vigueur en Europe, et en France, pour le contrôle de l'activité du tritium dans l'eau destinée à la consommation humaine. Elle a montré que la valeur de 10 000 Bq/l ne permet pas de garantir le niveau de protection qu'elle prétend apporter au consommateur du fait **d'une série d'anomalies méthodologiques<sup>li</sup> qui vont toutes dans le sens d'une sous-évaluation du risque.**

L'analyse critique portait aussi sur la valeur guide de **100 Bq/l** utilisée en France pour le contrôle de qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

La présentation détaillée de l'argumentaire sort du champ du présent rapport et nous renvoyons le lecteur au dossier<sup>lii</sup> disponible sur le site de la CRIIRAD.

Nous reproduisons ci-dessous deux extraits de cette étude :

*« Se référer à la valeur guide de 10 000 Bq/l conduit à accepter pour le tritium un risque plus de 300 fois supérieur à celui qui a été retenu pour les cancérigènes chimiques. La CRIIRAD demande en conséquence l'abandon de toute référence aux valeurs guides définies par l'OMS pour le tritium, et de façon générale pour tous les radionucléides artificiels (et de tous ceux qui existent également à l'état naturel mais qui sont d'origine anthropique). »*

*« La valeur guide du tritium dans l'eau potable ne devrait en aucun cas dépasser **10 Bq/l** ».*

La CRIIRAD avait alerté les ministres français de la Santé et de la Transition Écologique et Solidaire ainsi que le président de l'Autorité de Sûreté Nucléaire sur le niveau de protection insuffisant associé au dispositif de contrôle de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine en France.

S'agissant du seuil de potabilité à retenir pour le tritium, l'ASN a demandé à l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) d'analyser les arguments de la CRIIRAD. Ce travail a fait l'objet d'un rapport<sup>liii</sup>, rendu public en 2020, dans lequel l'IRSN confirme bon gré mal gré la pertinence de la plupart des arguments de la CRIIRAD.

## Tenir compte du cumul des expositions

En matière d'exposition aux radiations, il n'y a pas de seuil d'innocuité, toute dose supplémentaire augmente les risques. La décision de vidanger les réservoirs d'eau contaminée dans le Pacifique rajoute des risques alors que :

### 1 / Les êtres vivants ont déjà été soumis à des niveaux de risques très élevés

Pour mémoire, les rejets dans l'**atmosphère** consécutifs à la catastrophe de Fukushima ont entraîné l'exposition de centaines de milliers de personnes à des doses de radiation significatives, parfois largement supérieures<sup>liv</sup> aux limites fixées en temps normal pour maintenir les niveaux de cancer radio induits à un niveau « *socialement acceptable* ».

Ces doses proviennent de l'inhalation d'air contaminé, de l'irradiation externe par les panaches radioactifs, puis de l'ingestion d'aliments contaminés, et de l'irradiation induite par les sols contaminés par les retombées.

Compte tenu des doses subies par un nombre considérable de citoyens Japonais, l'application des coefficients de risque officiels conduit à déduire qu'il y aura un nombre important de cancers en excès à commencer par les cancers de la thyroïde. Mais beaucoup d'efforts sont faits pour empêcher<sup>lv</sup> une évaluation quantitative correcte afin de tourner la page au plus vite. Au-delà de la question des cancers d'autres pathologies sont également à craindre.

Treize ans après la catastrophe l'exposition aux radiations reste significative dans de nombreux territoires de la préfecture de Fukushima, et au-delà.

S'agissant plus spécifiquement du **milieu marin**, la catastrophe de Fukushima a entraîné en 2011 une contamination de la faune et de la flore marine par tout un cocktail de substances radioactives.

Des niveaux de contamination en césium radioactif de plusieurs dizaines de milliers de Becquerels par kilogramme ont été mesurés par exemple en 2012 dans la chair de poissons pêchés en face de la centrale. Quelques années après la catastrophe, des substances radioactives liées à Fukushima (césium 137 et 134) ont commencé à être détectées dans des poissons pêchés sur la côte est du Pacifique aux USA et au Canada, à des niveaux certes très inférieurs aux normes sanitaires, mais permettant de rendre compte des mécanismes de contamination diffuse.

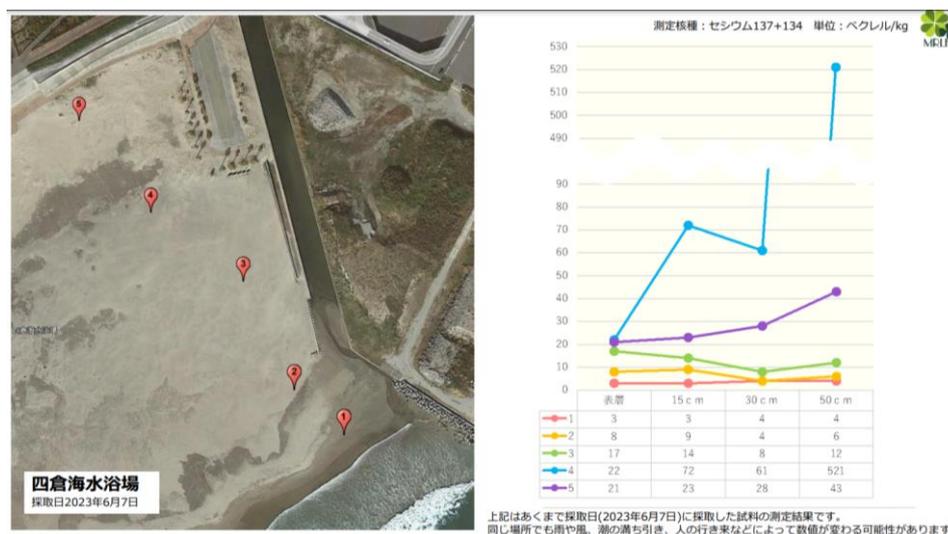
Comme indiqué au chapitre 3, des produits de la pêche en milieu marin au large de la préfecture de Fukushima, mais également des produits issus de la pêche en eau douce restent actuellement contaminés par des substances radioactives liées à la catastrophe. En 2022, la contamination en césium radioactif de certains poissons pêchés au large de Fukushima dépassait encore le millier de Becquerels par kilogramme, soit une valeur 10 fois supérieure à la norme en vigueur au Japon.

## 2 / Actuellement les transferts non maîtrisés de substances radioactives vers le Pacifique se poursuivent.

Les substances radioactives retombées sur les sols sont toujours régulièrement entraînées par ruissellement dans des cours d'eau qui se jettent dans le Pacifique. Celles accumulées dans le sable des plages, seront également en partie progressivement transférées à l'océan.

Comme le montrent les mesures récentes effectuées par le laboratoire citoyen Tarachine basé à Iwaki, la contamination des sables côtiers de la préfecture de Fukushima reste élevée (521 Bq/kg pour les radiocésiums 137 et 134 mesurés à 50 cm de profondeur en juin 2023).

### Contamination en césium 137 et 134 des sables de plage à Shikura (source laboratoire Tarachine<sup>VI</sup>)



Dans ce contexte, la réalisation par TEPCO, à partir d'août 2023 de rejets « contrôlés » de tritium (et d'autres radionucléides) dans le Pacifique, s'avère particulièrement discutable car elle rajoute une contamination « volontaire » qui va atteindre des êtres vivants déjà soumis à des niveaux de risque inacceptables et qui continuent à être soumis à la contamination liée à la catastrophe de 2011.

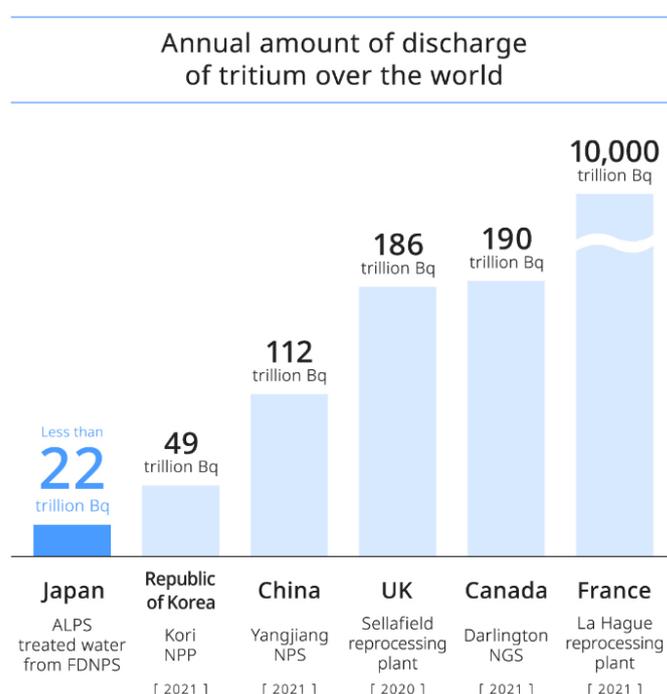
## 5 Est-il exact que le rejet de tritium par voie liquide est une pratique courante au niveau international ? Qu'en est-il en France ?

### L'usine de retraitement de la Hague prise comme référence

TEPCO et le gouvernement Japonais banalisent les rejets de tritium de la centrale de Fukushima Daiichi dans le Pacifique en les comparant à ceux effectués par des installations nucléaires en fonctionnement normal dans d'autres pays.

Le graphique ci-dessous, extrait du site de TEPCO<sup>lvii</sup> montre par exemple que la quantité maximale de tritium que la centrale de Fukushima prévoit de rejeter chaque année dans le Pacifique (22 TBq) est nettement inférieure aux rejets d'autres installations nucléaires en république de Corée, en Chine, en Angleterre, au Canada et **450 fois inférieure à la quantité rejetée en 2021 en mer Manche par l'usine de retraitement de la Hague** (10 000 Terabecquerels).

#### Rejets annuel de tritium par voie liquide à travers le monde (source : TEPCO<sup>lviii</sup>)



Created by editing the Website of the Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan  
[https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/hairo\\_osensui/english/shirou\\_alps/images/share-img\\_no2-2\\_en.png](https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/hairo_osensui/english/shirou_alps/images/share-img_no2-2_en.png)

Cette comparaison est factuellement correcte. L'usine de retraitement de la Hague, exploitée par ORANO à la pointe du Cotentin est même autorisée à rejeter chaque année 18 500 TBq de tritium en mer Manche.

Mais utiliser les rejets de la Hague pour banaliser ceux de Fukushima est discutable pour plusieurs raisons.

Cette usine est, sur le plan radiologique, une des plus polluantes au monde. La France y pratique en effet le retraitement des combustibles irradiés issus de centrales nucléaires en exploitation en France mais aussi d'origine étrangère dont certains en provenance du Japon. Le retraitement consiste à cisailier les crayons de combustible puis à les dissoudre dans l'acide pour ensuite, à l'issue de processus chimiques complexes, séparer l'uranium et le plutonium potentiellement réutilisables des produits de fission hautement radioactifs pour lesquels il n'existe pas de solution de gestion fiable à long terme. La première barrière de confinement, la gaine des crayons ne joue plus son rôle et une très grande quantité de substances radioactives est rejetée par l'usine de la Hague dans l'atmosphère et dans en mer. La France est un des rares pays au monde à pratiquer le retraitement.

En moyenne, sur la période 2017-2021, l'usine de la Hague est à l'origine de plus<sup>lix</sup> de 90% du tritium rejeté par l'ensemble des installations nucléaires civiles et militaires du territoire français.

Les rejets liquides de la Hague entraînent une contamination chronique du milieu marin par tout un cocktail de radionucléides dont le tritium.

Ceci est mis en évidence par les propres contrôles<sup>lx</sup> de l'exploitant, ORANO.

Le tritium rejeté est omniprésent dans l'eau de mer aussi bien sur la côte qu'au large (de l'ordre de 10 Bq/l), mais également dans tous les organismes vivants : **algues, crustacés** (tourteaux), **poissons ronds, poissons plats, coquilles Saint-Jacques, patelles, huîtres** (de l'ordre de 3 à 6,6 Bq/kg frais).

A noter le caractère lacunaire du suivi effectué par l'industriel. Alors que le tritium représente plus de 99 % de la radioactivité rejetée en mer par l'usine de la Hague, le rapport annuel 2022 d'ORANO ne mentionne aucun résultat de mesure du tritium organiquement lié dans les organismes marins. Quant aux mesures sur le tritium libre, elles sont parcellaires : le contrôle n'a porté que sur 1 échantillon sur 12 pour les algues et les patelles, 1 sur 3 pour les crustacés, poissons ronds et poissons plats, 1 sur 2 pour les huîtres.

Cette contamination chronique du milieu marin est détectable à très grande distance (l'iode 129 rejeté par la Hague est retrouvé jusque dans l'Arctique).

## La contamination des ressources en eau potable en France

La gestion des effluents contenant du tritium est un des talons d'Achille du nucléaire.

Compte tenu des difficultés techniques pour piéger efficacement le tritium présent dans les effluents, les industriels sont autorisés à le rejeter en quasi-totalité dans l'environnement.

Outre les usines de retraitement comme La Hague, et un certain nombre d'installations militaires, c'est également le cas des réacteurs électronucléaires civils.

Les rejets de tritium sont effectués par voie atmosphérique et par voie liquide.

À partir des données publiées dans le livre blanc tritium de l'ASN, nous avons regroupé dans le tableau page suivante les valeurs des rejets de tritium liquide des installations nucléaires de base (INB) civiles et militaires (INBS) en France dès lors qu'ils ont excédé 0,1 TBq par an (100 milliards de Becquerels).

Les données sont classées par rejets moyens décroissants. Comme indiqué précédemment, le record est détenu par l'usine de retraitement de la Hague, viennent ensuite les CNPE (Centre Nucléaire de Production d'Électricité), autrement dit les centrales électronucléaires d'EDF.

**Rejets de tritium par voie liquide effectués par un certain nombre d'installations nucléaires en France (Source : livre blanc tritium ASN).**

Installation Nucléaire	Rejets liquides (Bq)				
	2017	2018	2019	2020	2021
ORANO (usine de retraitement de La Hague)	1,19E+16	1,14E+16	1,32E+16	1,14E+16	1,00E+16
CNPE de Cattenom	9,65E+13	9,90E+13	1,17E+14	8,87E+13	1,02E+14
CNPE de Paluel	5,62E+13	9,50E+13	8,63E+13	7,43E+13	9,36E+13
CNPE de Gravelines	5,87E+13	7,06E+13	6,14E+13	5,92E+13	5,97E+13
CNPE de Civaux	5,13E+13	6,99E+13	7,00E+13	6,01E+13	3,58E+13
CNPE de Penly	5,80E+13	5,52E+13	5,34E+13	5,06E+13	4,75E+13
CNPE de Golfech	4,03E+13	6,35E+13	6,25E+13	5,24E+13	4,30E+13
CNPE de Saint-Alban	5,12E+13	4,04E+13	6,21E+13	4,86E+13	5,28E+13
CNPE de Nogent -sur-Seine	5,48E+13	5,40E+13	4,22E+13	4,72E+13	5,03E+13
CNPE Belleville-sur-Loire	4,12E+13	5,06E+13	5,21E+13	5,14E+13	4,63E+13
CNPE de Chinon	4,95E+13	5,07E+13	5,13E+13	4,16E+13	4,41E+13
CNPE de Bugey	4,89E+13	4,97E+13	5,68E+13	3,53E+13	4,26E+13
CNPE de Dampierre-en-Burly	4,75E+13	4,88E+13	4,99E+13	3,71E+13	4,20E+13
CNPE du Blayais	5,05E+13	4,66E+13	4,44E+13	3,51E+13	4,40E+13
CNPE de Chooz	3,71E+13	5,55E+13	4,92E+13	3,29E+13	3,84E+13
CNPE de Cruas	5,07E+13	4,47E+13	4,26E+13	3,21E+13	3,36E+13
CNPE de Tricastin	4,40E+13	3,47E+13	3,74E+13	3,85E+13	4,12E+13
CNPE de Flamanville	5,00E+13	4,66E+13	2,59E+13	1,55E+12	4,16E+13
CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux	2,69E+13	2,34E+13	2,46E+13	2,28E+13	1,52E+13
CNPE de Fessenheim	1,13E+13	3,12E+13	1,61E+13	1,60E+13	1,84E+12
CEA Marcoule (INBS)	2,32E+12	6,80E+11	1,55E+12	6,70E+11	2,60E+11
ILL de Grenoble	1,89E+11	1,40E+11	5,35E+10	1,81E+11	1,50E+11

Pour ce qui concerne les centrales électronucléaires exploitées en France, les rejets de tritium par voie liquide sont nettement supérieurs aux rejets à l'atmosphère (44 fois supérieurs en moyenne sur la période 2017-2021).

Mais pour certaines installations nucléaires très spécifiques ce sont les rejets de tritium par voie atmosphérique qui sont prépondérants. C'est le cas par exemple du site nucléaire militaire qu'exploite le Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) à Valduc en Côte d'Or. Cet établissement qui participe à la fabrication des têtes nucléaires a rejeté à l'atmosphère 224 TBq de tritium en moyenne sur la période 2017-2021, soit les 2/3 des rejets effectués dans l'Hexagone par voie atmosphérique. Le tritium rejeté par cette voie se retrouve dans les précipitations, puis les cours d'eau et dans un grand nombre d'espèces de la faune et de la flore terrestre et aquatique.

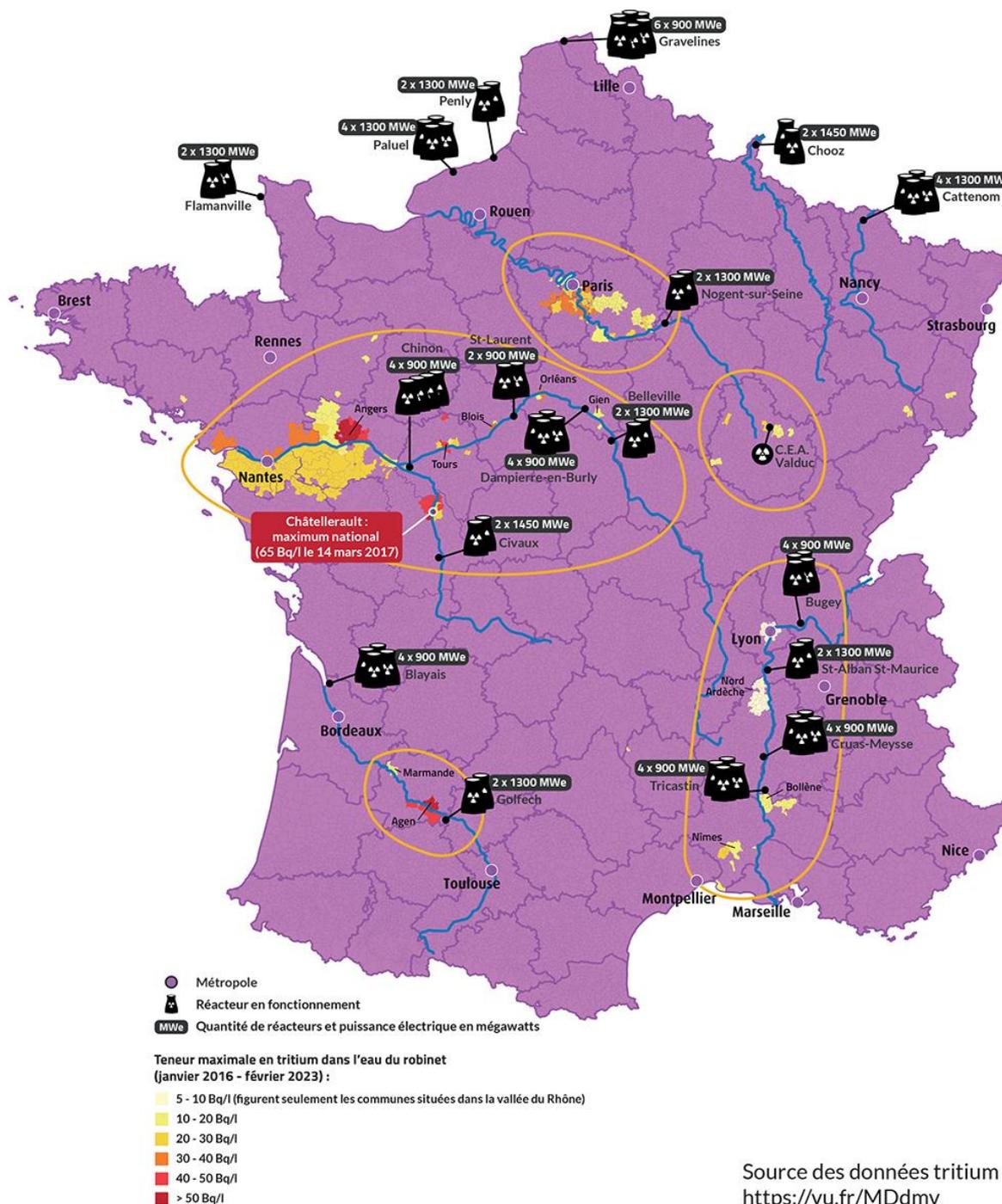
La CRIIRAD avait démontré en 1994 que sur un tiers<sup>lxi</sup> du département de la côte d'Or, des eaux douces et eaux du robinet étaient contaminées par les rejets de tritium du site de Valduc.

Plus récemment, une compilation des données (période 2016 -2023) de surveillance officielles de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine a permis à la CRIIRAD<sup>lxii</sup> de démontrer que le tritium rejeté par les installations nucléaires impacte l'eau distribuée à la population d'au moins<sup>lxiii</sup> **2 000 communes dans 26 départements.**

Les communes impactées sont celles qui produisent des eaux de consommation à partir de ressources contaminées par les rejets. Elles sont situées sur les bassins versants de la Seine, de la Loire, de la Vienne, du Rhône et de la Garonne (impact des rejets des centrales EDF), ainsi qu' en Côte d'Or (rejets de Valduc).

Ceci est illustré par la carte ci-dessous<sup>lxiv</sup> où figurent les communes où le tritium a été détecté au moins deux fois entre 2016 et 2023, et où la valeur maximale a dépassé 10 Bq/l, excepté dans la vallée du Rhône où le seuil retenu est de 5 Bq/l.

**Communes dont les ressources en eau potable sont contaminées par du tritium lié au rejet d'installations nucléaires (source : CRIIRAD).**



## Les efforts internationaux pour diminuer les rejets de tritium

Le rejet dans l'environnement d'une substance radioactive, à période relativement longue (12,3 ans), qui va impacter l'ensemble du cycle de l'eau et a la propriété de s'immiscer au cœur de la matière vivante est une pratique certes légale mais dont la légitimité est de plus en plus contestée de par le monde.

**Aux États Unis**, par exemple, ces derniers mois, les autorités des États du Massachusetts et de New York se sont opposées fermement aux projets de rejets de plusieurs millions de litres d'effluents radioactifs contaminés par du tritium et issus du démantèlement des réacteurs nucléaires de Pilgrim et Indian Point.

**En Europe**, le 25 mars 1998, entrant en vigueur la Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du nord-est, dite Convention OSPAR. Réunis à Sintra, dans le cadre de cette convention, les ministres concernés déclaraient<sup>lxv</sup> en particulier :

*« NOUS CONVENONS de plus d'empêcher que la zone maritime ne soit polluée par des radiations ionisantes, ceci par des réductions progressives et substantielles des rejets, émissions et pertes de substances radioactives, le but étant en dernier ressort de parvenir à des teneurs, dans l'environnement, proches des teneurs ambiantes dans le cas des substances radioactives présentes à l'état naturel, et proches de zéro dans le cas des substances radioactives artificielles. »*

*« NOUS FERONS EN SORTE que les rejets, émissions et pertes de substances radioactives soient, d'ici l'an 2020, ramenés à des niveaux tels que, par rapport aux niveaux historiques, les concentrations additionnelles résultant desdits rejets, émissions et pertes soient proches de zéro ».*

Les échéances ont été repoussées depuis à l'horizon 2030, mais l'objectif de réduction des rejets de tritium est maintenu. La secrétaire adjointe de l'organisation OSPAR précisait<sup>lxvi</sup> à la CRIIRAD en 2022, que le Comité sur les Substances Radioactives (CSR) n'a pas recommandé la suppression du tritium de la stratégie OSPAR. La nouvelle Stratégie environnementale pour le Nord-Est à l'horizon 2030, comme la précédente, s'applique à toutes les substances radioactives. Bien que le tritium ne soit pas explicitement mentionné, il est inclus dans l'objectif opérationnel S3.01 "OSPAR préviendra davantage, réduira progressivement ou, lorsque cela n'est pas réalisable, minimisera les rejets de substances radioactives par l'application des meilleures techniques disponibles (BAT), en tenant compte de la faisabilité technique, de l'impact radiologique et des utilisations légitimes de la mer.

La tendance au niveau mondial est de protéger l'environnement des contaminations d'origine humaine par les substances qui affectent le vivant, le tritium fait partie de ces substances. En décidant de valider la vidange des réservoirs de Fukushima dans le Pacifique, TEPCO, les autorités compétentes au Japon et l'AIEA ne vont pas dans le bon sens.

## Conclusion et synthèse

Le 11 mars 2011, un séisme, puis un tsunami étaient à l'origine d'une des plus grandes catastrophes nucléaires de l'histoire, entraînant la fusion de 3 des 6 réacteurs nucléaires de la centrale de Fukushima Daiichi au Japon.

Douze ans plus tard, la question du rejet des eaux contaminées dans le Pacifique a fortement retenu l'attention des médias et du grand public. Le discours officiel est pourtant catégorique : les rejets ne contiennent que du tritium, un élément radioactif parmi les moins dangereux, qui ne s'accumule pas dans le milieu marin et se désintègre relativement rapidement, et le niveau de radioactivité au point de rejet est très inférieur aux valeurs recommandées par l'Organisation Mondiale de la Santé pour les eaux destinées à la consommation humaine ; le rejet de tritium dans le milieu aquatique est en outre une pratique courante dans le monde et la quantité de tritium rejetée par le site de Fukushima Daiichi est des centaines de fois inférieure aux rejets de l'usine de retraitement de la Hague en France.

Le groupe des Verts ALE au Parlement Européen a demandé à la CRIIRAD d'effectuer une analyse critique sommaire du dossier, en vue de répondre, de manière synthétique à un certain nombre de questions régulièrement posées par le public.

En mars 2011, la perte des capacités de refroidissement a conduit à la fusion du cœur de 3 réacteurs. Depuis, TEPCO, l'exploitant de la centrale accidentée, doit relever en permanence les défis de la sécurisation du site et de la préparation à son démantèlement. Il faudra récupérer et confiner de l'ordre de 880 tonnes de corium, mélange de combustible fondu hautement radioactif et de structures métalliques. Pour l'instant, les tentatives de récupérer ne serait-ce quelques grammes de cette matière pour la caractériser sont infructueuses.

La gestion des eaux utilisées pour refroidir en permanence les coriums est également d'une grande complexité. Ces eaux, ainsi que celles qui s'infiltrent naturellement dans les sous-sols de la centrale accidentée se chargent en permanence d'un cocktail de substances radioactives que TEPCO a beaucoup de difficultés à traiter. En octobre 2023, 4 opérateurs ont subi une contamination corporelle suite à l'expulsion de liquides radioactifs au cours d'une opération de maintenance. En février 2024, 1 500 litres d'eau radioactive se sont écoulés par un événement à 5 mètres au-dessus du sol.

Plus de 1,3 millions de tonnes d'eau contaminée s'accumulent actuellement dans plus de 1 000 réservoirs et les capacités de stockage arrivent à saturation (97 % à fin 2023). Par ailleurs, environ 70% des eaux déjà traitées devront l'être à nouveau, car elles restent trop contaminées pour être rejetées.

TEPCO a décidé de procéder à la vidange progressive des réservoirs les moins contaminés dans l'océan Pacifique. Leur teneur en tritium (plus de 100 000 Bq/l) reste cependant supérieure aux normes de rejet. Pour contourner la difficulté, l'exploitant a proposé de les diluer préalablement avec de l'eau de mer et de les rejeter par campagnes successives pendant plusieurs décennies. Ce projet a été validé par les autorités japonaises et par l'AIEA, l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique, et les rejets ont débuté en août 2023.

Malgré les efforts déployés, ces eaux contiennent encore des substances radioactives dont des radionucléides à longue, voire très longue, période physique comme le césium 137 et le strontium 90 (30 ans), le nickel 63 (100 ans), le carbone 14 (5 730 ans), le technétium 99 (211 000 ans), l'iode 129 (16 millions d'années) ainsi que des transuraniens comme du plutonium

(24 100 ans pour le plutonium 239 par exemple). L'analyse des intercomparaisons organisées par l'AIEA montre que les moyens métrologiques déployés par TEPCO ne lui permettent pas de détecter et quantifier toutes les substances présentes.

La catastrophe de Fukushima a été, pour les organismes aquatiques, un des épisodes de contamination radioactive les plus intenses de l'histoire. La contamination diminue progressivement, mais elle n'a pas disparu et les transferts incontrôlés de substances radioactives vers l'océan se poursuivent (ruissellement sur les sols contaminés, remobilisation à partir des sables, etc.).

En examinant les résultats des bases de données de la Japan Fisheries Agency (JFA) on constate qu'en 2022, 99,4 % des cas pour lesquels la contamination en césium radioactif des produits de la pêche est comprise entre 10 et 100 becquerels par kilogramme (Bq/kg) sont des produits issus de la pêche en eau douce (lacs et rivières).

Il s'agit de nombreux types de poissons (saumons, truites, ayu, carpes, anguilles, poissons chats, silures, etc.) mais aussi de crevettes d'eau douce, crabes, écrevisses.

Pour les produits issus de la mer, la contamination en césium radioactif a fortement diminué au cours des années. Elle peut cependant dépasser encore ponctuellement les normes sanitaires (100 Bq/kg). Une contamination 13 fois supérieure à la norme est notamment relevée dans des *Sebastes schlegeli*, ou « sébastes noirs », poissons pélagiques carnivores pêchés en 2022 (*a priori* à une quarantaine de kilomètres au nord de la centrale de Fukushima). Curieusement, les graphiques de synthèse de la JFA ne font apparaître aucun dépassement des normes pour les produits issus de la pêche en mer pour l'année 2022.

Plus globalement, force est de constater que les programmes de surveillance souffrent de nombreuses insuffisances, qu'il s'agisse de la nature et du nombre d'espèces contrôlées, de leur localisation ou de la liste des substances radioactives recherchées. Par exemple, pour les algues comestibles « *Hizikia fusiformis* » récoltées sur les côtes de la préfecture de Fukushima, la base de données de la JFA ne fait état que de 3 contrôles en 13 ans, dont 2 présentaient une contamination en césium radioactif. Aucun résultat de mesure du radionucléide strontium 90 n'est répertorié. Aucune donnée de recherche du plutonium ne figure pour les mollusques récoltés au large de la préfecture de Fukushima et plus globalement pour les mollusques filtreurs (huîtres, moules) des côtes de l'est du Japon, etc.

L'attention du public a été portée sur le tritium qui est l'élément radioactif prépondérant dans les eaux rejetées par TEPCO dans le Pacifique. Entre fin août 2023 et fin mars 2024, 4 campagnes de rejet ont été effectuées. Les données de TEPCO montrent que les limites ont été respectées, à la fois pour la concentration en tritium au point de rejet (abaissée par dilution avec de l'eau de mer de plus de 100 000 Bq/l à moins de 300 Bq/l) et pour la quantité cumulée de tritium rejeté : inférieure à 5 000 milliards de Bq (5 TBq) pour une limite légale de 22 TBq par an.

Sur la période 2013-2023, pour la zone des 3 kilomètres au large de la centrale, les niveaux de tritium dans l'eau de mer compilés par la NRA (Nuclear Regulation Authority) sont restés inférieurs à 2 Bq/l mais les valeurs sont plus élevées en fin d'année 2023 par rapport à 2022, ce qui pourrait suggérer un impact des rejets. L'interprétation fine de ces variations nécessiterait de prendre en compte tous les termes sources et d'effectuer des modélisations en fonction de la dynamique des apports et de la courantologie locale.

S'agissant de la contamination des organismes marins par le tritium, il est trop tôt pour tirer un bilan. Les résultats des contrôles effectués entre le 29 juin 2022 et le 21 janvier 2024 et publiés

par la NRA sur des produits issus de la pêche en milieu marin sur les côtes d'une dizaine de préfectures ne font pas apparaître d'anomalie (activité du tritium inférieure à la limite de détection < 0,5 Bq/kg). Mais le document ne précise pas s'il s'agit du tritium libre ou du tritium organiquement lié, qui est fixé plus durablement et dont la radiotoxicité est supérieure.

Il est possible que, compte tenu de la dilution, le tritium rejeté soit, dans l'eau de mer, à des niveaux inférieurs aux limites de détection au-delà de quelques kilomètres. Il n'en reste pas moins que sa diffusion dans l'environnement va entraîner une contamination de la matière vivante de nombreux organismes marins et terrestres. Il faut plus de 120 ans pour que sa radioactivité soit divisée par 1 000.

Isotope radioactif de l'hydrogène, le tritium se retrouvera au cœur des cellules et du génome de nombre de créatures vivantes. Une partie, métabolisée sous forme de tritium organiquement lié, peut persister des mois voire des années au cœur des cellules. Les modèles officiels d'évaluation des risques sanitaires liés au tritium sont fortement débattus dans la communauté scientifique, en particulier les effets sur le fœtus

Nombre d'observateurs banalisent les rejets de tritium de Fukushima en les comparant à ceux de l'usine de retraitement de la Hague, qui sont effectivement des centaines de fois plus élevés. Or cette usine ne saurait être prise en exemple. Il s'agit d'une des installations nucléaires les plus polluantes au monde. Elle est à l'origine de plus de 90% du tritium rejeté par l'ensemble des installations nucléaires civiles et militaires du territoire français. Les rejets de la Hague entraînent une contamination chronique du milieu marin par tout un cocktail de radionucléides dont le tritium, que l'on retrouve dans l'eau de mer aussi bien sur la côte qu'au large (de l'ordre de 10 Bq/l), mais également dans tous les organismes vivants : algues, crustacés (tourteaux), poissons ronds, poissons plats, coquilles Saint-Jacques, patelles, huîtres (de l'ordre de 3 à 6,6 Bq/kg frais).

De manière plus générale, en France, les rejets de tritium des installations nucléaires impactent l'eau distribuée à la population d'au moins 2 000 communes (dans 26 départements). Ce sont celles qui produisent des eaux de consommation à partir de cours d'eau ou de nappes contaminés par les rejets des centrales EDF (bassins versants de la Seine, de la Loire, de la Vienne, du Rhône et de la Garonne), et, en Côte d'Or, par le site nucléaire militaire de Valduc.

En effet, l'industrie nucléaire n'est pas en capacité de piéger efficacement le tritium présent dans ses effluents. Il est le plus souvent directement rejeté dans l'environnement. Le rejet d'une substance radioactive, à demi-vie relativement longue (12,3 ans), qui va impacter l'ensemble du cycle de l'eau et a la propriété de s'immiscer au cœur de la matière vivante est une pratique certes légale, mais dont la légitimité est de plus en plus contestée de par le monde. En décidant de valider la vidange des réservoirs de Fukushima dans le Pacifique, TEPCO, les autorités compétentes au Japon et l'AIEA ne vont pas dans le bon sens. D'autant que ces rejets rajoutent une contamination « volontaire » qui va atteindre des êtres vivants déjà exposés en 2011 à des niveaux de risque inacceptables et qui continuent depuis à être soumis à des expositions tout à fait anormales.

## Annexe : notes et références

<sup>i</sup> Note d'information CRIIRAD N°16-32 : « la situation est-elle sous-contrôle à la centrale de Fukushima Daiichi ? » (mars 2016, B. Chareyron)

<sup>ii</sup> TEPCO, Outline of Decommissioning, Contaminated Water and Treated Water Management, January 25, 2024, page 5/8. <https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/information/committee/index-e.html>

<sup>iii</sup> TEPCO, Outline of Decommissioning, Contaminated Water and Treated Water Management, January 25, 2024, page 4/8. <https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/information/committee/index-e.html>

<sup>iv</sup> TEPCO, Outline of Decommissioning, Contaminated Water and Treated Water Management, January 25, 2024, page 2/8. <https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/information/committee/index-e.html>

<sup>v</sup> La date de mesure n'est pas précisée, voir TEPCO, Outline of Decommissioning, Contaminated Water and Treated Water Management, January 25, 2024, page 4/8. <https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/information/committee/index-e.html>

<sup>vi</sup> Asahi Shimbun du 26 janvier 2024 <https://www.asahi.com/ajw/articles/15132092>

<sup>vii</sup> Interview par l'Associated Press, le 6 mars 2024, de monsieur Akira Ono, président de la Fukushima Daiichi Decontamination and Decommissioning Engineering Company of Tokyo Electric Power Company,

<sup>viii</sup> TEPCO, Outline of Decommissioning, Contaminated Water and Treated Water Management, January 25, 2024, page 2/8. <https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/information/committee/index-e.html>

<sup>ix</sup> [https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/information/newsrelease/reference/pdf/2024/reference\\_20240207\\_01-e.pdf](https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/information/newsrelease/reference/pdf/2024/reference_20240207_01-e.pdf)

<sup>x</sup> [https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/information/newsrelease/reference/pdf/2024/reference\\_20240215\\_01-e.pdf](https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/information/newsrelease/reference/pdf/2024/reference_20240215_01-e.pdf)

<sup>xi</sup> <https://www.lefigaro.fr/flash-actu/fuite-radioactive-a-fukushima-un-incident-mineur-selon-le-chef-de-l-aiea-20240314>

<sup>xii</sup> [https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/information/newsrelease/reference/pdf/2023/reference\\_20231116\\_01-e.pdf](https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/information/newsrelease/reference/pdf/2023/reference_20231116_01-e.pdf)

<sup>xiii</sup> <https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/information/committee/index-e.html>

<sup>xiv</sup> Déduction à partir du code couleur de la carte des mesures de février 2023 publiée page 6 de la « roadmap » du 29 février 2024.

[https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/information/committee/pdf/2024/roadmap\\_20240229\\_01-e.pdf](https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/information/committee/pdf/2024/roadmap_20240229_01-e.pdf)

<sup>xv</sup> [https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/information/newsrelease/exposure/pdf/2024/exposure\\_20240229-e.pdf](https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/information/newsrelease/exposure/pdf/2024/exposure_20240229-e.pdf)

<sup>xvi</sup> [https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/information/newsrelease/reference/pdf/2023/reference\\_20231214\\_01-e.pdf](https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/information/newsrelease/reference/pdf/2023/reference_20231214_01-e.pdf)

<sup>xvii</sup> [https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/information/newsrelease/reference/pdf/2024/reference\\_20240208\\_01-e.pdf](https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/information/newsrelease/reference/pdf/2024/reference_20240208_01-e.pdf)

<sup>xviii</sup> <https://www.tepco.co.jp/en/decommission/progress/treated-water-lan/index-e.html> consulté le 23 février 2024 :

« TEPCO has therefore installed the Advanced Liquid Processing System to remove 62 types of radioactive materials from the vast amount of water. Although there is residual tritium even after this long purification process, the water is then further diluted, thereby meeting and actually falling below the concentration levels as stipulated by Japan and other countries' regulatory standards for radioactive materials in the water. (\*1) This water is referred to as "ALPS treated water" to distinguish it from contaminated water that has not yet been purified.

The radiation emitted by tritium is extremely weak, and can be blocked with a single sheet of paper. It also does not accumulate in the body tissues of humans. (\*2) Water containing tritium has been regularly released from nuclear facilities around the world for many years. It has been consistently determined that the releases pose no danger to the environment or human health. »

<sup>xix</sup> Site de l'AIEA consulté le 1<sup>er</sup> mars 2024 <https://www.iaea.org/topics/response/fukushima-daiichi-nuclear-accident/fukushima-daiichi-alps-treated-water-discharge/faq>

« ALPS is a pumping and filtration system, which uses a series of chemical reactions to remove 62 radionuclides from contaminated water. However, ALPS is not able to remove tritium from the contaminated water. »

<sup>xx</sup> <https://www.tepco.co.jp/en/decommission/progress/treated-water-lan/index-e.html>

Fukushima Rejets des eaux contaminées - Note CRIIRAD 24-07 – Bruno CHAREYRON – 15/3/2024 – Version 1

- xxi <https://www4.tepco.co.jp/en/decommission/progress/watertreatment/alpsstate/index-e.html> (consulté le 23 mars 2024)
- xxii IAEA Review of Safety Related Aspects of Handling ALPS-Treated Water at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station / Second Interlaboratory Comparison on the Determination of Radionuclides in ALPS Treated Water, January 2024.
- xxiii [https://www4.tepco.co.jp/decommission/progress/watertreatment/\\_assets/images/en/dischargefacility/dscharge\\_plan-e.pdf](https://www4.tepco.co.jp/decommission/progress/watertreatment/_assets/images/en/dischargefacility/dscharge_plan-e.pdf) (page 2, consulté le 23 mars 2024).
- xxiv [https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/data/analysis/pdf/2024/measurement\\_confirmation\\_240226-e.pdf](https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/data/analysis/pdf/2024/measurement_confirmation_240226-e.pdf)
- xxv IAEA Review of Safety Related Aspects of Handling ALPS-Treated Water at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station / Second Interlaboratory Comparison on the Determination of Radionuclides in ALPS Treated Water, January 2024.
- xxvi IAEA Review of Safety Related Aspects of Handling ALPS-Treated Water at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station / Second Interlaboratory Comparison on the Determination of Radionuclides in ALPS Treated Water, January 2024.
- xxvii IAEA Review of Safety Related Aspects of Handling ALPS-Treated Water at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station / Second Interlaboratory Comparison on the Determination of Radionuclides in ALPS Treated Water, January 2024.
- xxviii <https://www.tepco.co.jp/en/decommission/progress/treated-water-lan/index-e.html>
- xxix <https://www.tepco.co.jp/en/decommission/progress/watertreatment/news/index-e.html>
- xxx [https://www.jma.go.jp/bosai/map.html#6/38.156/139.735/&elem=int&contents=earthquake\\_map&lang=en](https://www.jma.go.jp/bosai/map.html#6/38.156/139.735/&elem=int&contents=earthquake_map&lang=en)
- xxxi <https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/data/alpsrtmonitoring/graph02/index-e.html#anc03> (consulté le 17 mars 2024).
- xxxii [https://www4.tepco.co.jp/decommission/progress/watertreatment/\\_assets/images/en/dischargefacility/dscharge\\_plan-e.pdf](https://www4.tepco.co.jp/decommission/progress/watertreatment/_assets/images/en/dischargefacility/dscharge_plan-e.pdf) (page 3, consulté le 23 mars 2024).
- xxxiii <https://radioactivity.nra.go.jp/en/contents/17000/16052/24/Concentration%20ranges%20of%20Tritium%20in%20%20sea-water%20near%20and%20offshore%20of%20Fukushima%20Daiichi%20NPP.pdf>
- xxxiv <https://radioactivity.nra.go.jp/en/contents/17000/16052/24/Concentration%20ranges%20of%20Tritium%20in%20%20sea-water%20near%20and%20offshore%20of%20Fukushima%20Daiichi%20NPP.pdf>
- xxxv <https://www.jfa.maff.go.jp/e/inspection/attach/img/index-30.png>
- xxxvi <https://tarachineiwaki.org/radiation/result>
- xxxvii <https://www.jfa.maff.go.jp/e/inspection/index.html#Internationally>
- xxxviii Consultation du tableau Excel fourni par la JFA [Press releases in March 2011~February 2024\(EXCEL : 15,335KB\)](#)
- xxxix <https://www.jfa.maff.go.jp/e/inspection/index.html#a2>
- xl <https://www.jfa.maff.go.jp/e/inspection/index.html#a2>
- xli [https://fr.wikipedia.org/wiki/Hijiki#/media/Fichier:Hijiki,\\_at\\_The\\_Meshiya\\_\(2014-10-18\).JPG](https://fr.wikipedia.org/wiki/Hijiki#/media/Fichier:Hijiki,_at_The_Meshiya_(2014-10-18).JPG)
- xlii <https://fr.wikipedia.org/wiki/Hijiki>
- xliiii <https://www.jfa.maff.go.jp/e/inspection/attach/pdf/index-298.pdf> (consulté le 15 mars 2024)
- xliv [https://www.tepco.co.jp/en/decommission/progress/treated-water-lan/index-e.html#content\\_5](https://www.tepco.co.jp/en/decommission/progress/treated-water-lan/index-e.html#content_5)
- xlv [https://www.tepco.co.jp/en/decommission/progress/treated-water-lan/index-e.html#content\\_4](https://www.tepco.co.jp/en/decommission/progress/treated-water-lan/index-e.html#content_4)
- xlvi <https://www.iaea.org/topics/response/fukushima-daiichi-nuclear-accident/fukushima-daiichi-alps-treated-water-discharge/faq>
- xlvii Livre blanc tritium ASN (23 janvier 2024) page 244 : « Effets du tritium in utero », article de L. Lebaron-Jacobs et A. Flury-Hérard, CEA, direction des sciences du vivant, <https://www.asn.fr/sites/tritium/>
- xlviii Pour une personne exposée à un « nuage » contenant de la vapeur d'eau tritiée, l'incorporation par absorption à travers la peau sera à peu près la moitié de celle associée à l'inhalation. Cf Human Health Fact Sheet « tritium », August 2005, Argonne National Laboratory.
- xliv <https://ieer.org/wp/wp-content/uploads/2023/02/Exploring-Tritium-Dangers.pdf>
- <sup>1</sup> Voir les éléments regroupés dans <https://www.criirad.org/eau-potable-et-radioactivite/> ainsi que les articles rédigés par Corinne Castanier dans la revue destinée aux adhérents de la CRIIRAD : Traits d'Union n°83 (octobre 2019) et 84 (décembre 2019).
- <sup>ii</sup> [https://www.criirad.org/wp-content/uploads/2019/08/2019-07-1\\_H3\\_10.000-Bq\\_1.pdf](https://www.criirad.org/wp-content/uploads/2019/08/2019-07-1_H3_10.000-Bq_1.pdf)
- <sup>iii</sup> <https://www.criirad.org/eau-potable-et-radioactivite/>

<sup>liii</sup> [https://www.irsn.fr/sites/default/files/documents/expertise/rapports\\_expertise/IRSN\\_Rapport-Tritium-2020\\_PSE-ENV-2020-00002.pdf](https://www.irsn.fr/sites/default/files/documents/expertise/rapports_expertise/IRSN_Rapport-Tritium-2020_PSE-ENV-2020-00002.pdf)

<sup>liv</sup> <https://www.criirad.org/wp-content/uploads/2017/08/12-11-05CRIIRADF.pdf>

<sup>lv</sup> Alors qu'il y a une forte augmentation des pathologies thyroïdiennes pour la population la plus exposée aux retombées de Fukushima, certains continuent à nier qu'il y a un lien avec l'exposition aux radiations. Ce négationnisme est dénoncé par exemple par madame Hisako Sakiyama, Docteure en médecine et Directrice du Fonds pour les enfants du 11 mars victimes de cancers de la thyroïde. Voir son intervention lors du webinaire organisé par la CRIIRAD le 6 mars 2021 :

<https://www.youtube.com/watch?v=vcyV2SWVZtU>

<sup>lvi</sup> [https://tarachineiwaki.org/wpcms/wp-content/uploads/sunahama\\_sokutei\\_2023.pdf](https://tarachineiwaki.org/wpcms/wp-content/uploads/sunahama_sokutei_2023.pdf)

<sup>lvii</sup> <https://www.tepco.co.jp/en/decommission/progress/treated-water-1an/index-e.html> Consulté le 13 mars 2024.

<sup>lviii</sup> [https://www.tepco.co.jp/en/decommission/progress/treated-water-1an/index-e.html#content\\_4](https://www.tepco.co.jp/en/decommission/progress/treated-water-1an/index-e.html#content_4)

<sup>lix</sup> Valeur calculée par la CRIIRAD à partir des tableaux de synthèse du « libre blanc tritium » de l'Autorité de Sûreté Nucléaire : <https://www.asn.fr/sites/tritium/>

<sup>lx</sup> Rapport annuel de surveillance de l'environnement Orano La Hague, Edition 2022

<sup>lxi</sup> <https://www.criirad.org/wp-content/uploads/2017/08/valduc-nov1995.pdf>

<sup>lxii</sup> Trait d'Union N°100 (décembre 2023), pp 13-30, « Tritium dans l'eau potable : la CRIIRAD publie les données », J Syren.

<sup>lxiii</sup> « Le contrôle de la teneur en tritium des eaux potables n'est obligatoire que depuis 2005 en France. Sur la période 2016-2023, il a été détecté dans près de 2 000 communes. Ce chiffre est sous-estimé : les techniques employées ne sont pas suffisamment précises pour détecter les cas de faible contamination (les limites de détection dépassent généralement 7 Bq/l). De plus, pour près de 4 000 communes les bases officielles ne comportent aucun résultat d'analyse ». cf Panneau «Le Nucléaire pollue l'eau du robinet » (J Syren), issu de l'exposition CRIIRAD : « Nucléaire et Eau » (mars 2024).

<sup>lxiv</sup> Panneau «Le Nucléaire pollue l'eau du robinet » (J Syren), issu de l'exposition CRIIRAD : « Nucléaire et Eau » (mars 2024).

<sup>lxv</sup> [https://www.ospar.org/site/assets/files/36552/98\\_sintra\\_statement\\_french.pdf](https://www.ospar.org/site/assets/files/36552/98_sintra_statement_french.pdf)

<sup>lxvi</sup> Extrait de la réponse de madame Laura De La Torre (secrétaire adjointe OSPAR) à madame Corinne Castanier (CRIIRAD) en date du 23 septembre 2022 : « RSC has not recommended the removal of tritium from the OSPAR Strategy. The new North-East Environment Strategy 2030, like the previous strategy, applies to all radioactive substances. Although tritium is not explicitly referred to, it is included under operational objective S3.01 "on an ongoing basis OSPAR will further prevent, progressively reduce or, where that is not practicable, minimise discharges of radioactive substances through the application of Best Available Techniques (BAT), taking into account technical feasibility, radiological impact and legitimate uses of the sea".