

SOMMAIRE

| Parti | e I - Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité | 4 |
|-----------|--|------|
| de PA | ALUEL en 2022 | 4 |
| | Contexte | |
| II. | Le CNPE de PALUEL | 4 |
| III. | Modifications apportées au voisinage du CNPE de PALUEL | 5 |
| IV. | Évolutions scientifiques susceptibles de modifier l'étude d'impact | 6 |
| V. I'e | Bilan des incidents de fonctionnement et des évènements significatifs pour nvironnement | |
| Parti | ie II - Prélèvements d'eau | 8 |
| I. | Prélèvement d'eau destinée au refroidissement | _ 10 |
| II. | Prélèvement d'eau destinée à l'usage industriel | _ 10 |
| III. | Prélèvement d'eau destinée à l'usage domestique | _ 10 |
| | Milieu de prélèvement : comparaison pluriannuelle, prévisionnel, valeurs lim maintenance | |
| Parti | ie III – Restitution et consommation d'eau | _ 13 |
| l. | Restitution d'eau | _ 13 |
| II. | Consommation d'eau | _ 14 |
| Parti | e IV - Rejets d'effluents | _ 15 |
| I. | Rejets d'effluents à l'atmosphère | _ 15 |
| II. | Rejets d'effluents liquides | _ 24 |
| III. | Rejets thermiques | _ 39 |
| Parti | le VI - Surveillance de l'environnement | _ 42 |
| l. | Surveillance de la radioactivité dans l'environnement | _ 42 |
| II. | Physico-chimie des eaux souterraines | _ 48 |
| III. | Chimie et physico-chimie des eaux de surface | _ 49 |
| IV. | Surveillance écologique et halieutique | _ 50 |
| V. | Acoustique environnementale | 55 |

| Partie VII - Évaluation de l'impact e | environnemental et sanitaire des rejets de l'installation |
|---------------------------------------|---|
| <i>56</i> | |

| Partie VIII - Gestion des déchets | 60 |
|--|----|
| I. Les déchets radioactifs | 60 |
| II. Les déchets non radioactifs | 65 |
| ABREVIATIONS | 67 |
| ANNEXE 1 : Suivi radioécologique annuel du CNPE de Paluel Année 2021 | 68 |

Partie I - Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité de PALUEL en 2022

I. Contexte

« La conformité à la réglementation en vigueur, la prévention des pollutions ainsi que la recherche d'amélioration continue de la performance environnementale » constituent l'un des engagements de la politique environnementale d'EDF.

Dans ce cadre, tous les Centres Nucléaires de Production d'Electricité (CNPE) d'EDF disposent d'un système de management de l'environnement certifié « ISO14001 ».

La maîtrise des événements, susceptibles d'avoir un impact sur l'environnement, repose sur une application stricte des règles de prévention (bonne gestion des eaux usées, des « effluents », de leurs traitements, entreposage, contrôles avant rejet, etc.) et sur un système complet de surveillance de l'environnement sur et autour des CNPE.

En application de l'article 4.4.4 de l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base, ce document présente le bilan de l'année 2022 du CNPE de Paluel en matière d'environnement.

II. Le CNPE de PALUEL

Située en bordure du littoral du Pays de Caux, dans le département de la Seine Maritime (76), la centrale nucléaire de Paluel s'étend sur une superficie de 160 hectares, entre Dieppe (35km à l'est) et Fécamp (20km à l'Ouest).

Le premier coup de pioche a été donné en décembre 1975 dans la valleuse de « Sunset », choisie pour ses caractéristiques géologiques. Le chantier de construction, qui a mobilisé plus de 5000 hommes et a duré près de dix années, était alors le plus grand chantier d'Europe.

La centrale nucléaire de Paluel emploie environ 1 422 salariés EDF et 700 salariés permanents d'entreprises industrielles. Lors des périodes d'arrêts pour maintenance, l'effectif global du site est renforcé par des équipes spécialisées d'intervenants.

Le site est organisé autour de quatre unités de production d'électricité d'origine nucléaire de 1300 MW de puissance chacune.

Dates du premier couplage au réseau des unités de production de Paluel :

Réacteur 1 : 22 juin 1984

Réacteur 2 : 14 septembre 1984

Réacteur 3 : 30 septembre 1985

Réacteur 4 : 11 avril 1986

Mise en service industrielle des réacteurs :

Réacteur 1 : 1er décembre 1985

Réacteur 2 : 1er décembre 1985

Réacteur 3 : 1er février 1986

Réacteur 4 : 1er juin 1986

Les quatre réacteurs de Paluel correspondent aux installations nucléaires de base :

- N°103 (réacteur Paluel 1)
- N°104 (réacteur Paluel 2)
- ➤ N°114 (réacteur Paluel 3)
- N°115 (réacteur Paluel 4)

En 2022, la centrale nucléaire de Paluel a produit 32,9 TWh de la production nucléaire française tout en menant à bien la maintenance annuelle de ses installations.

Localisation du site :

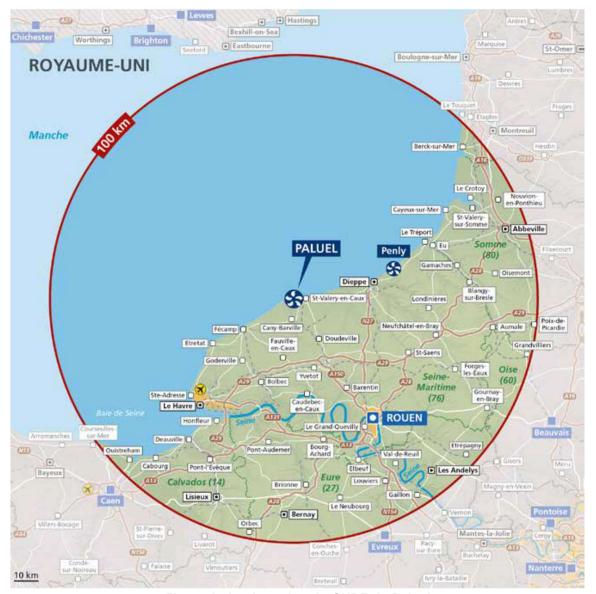


Figure 1 : Implantation du CNPE de Paluel

III. Modifications apportées au voisinage du CNPE de PALUEL

La surveillance de l'environnement industriel est réalisée en application d'une prescription interne d'EDF. Lors de l'année 2022, aucune modification notable au voisinage du CNPE de Paluel n'a été identifiée.

IV. Évolutions scientifiques susceptibles de modifier l'étude d'impact

Pour l'année 2022, aucune évolution scientifique susceptible de modifier les conclusions de l'étude d'impact n'a eu lieu.

V. Bilan des incidents de fonctionnement et des évènements significatifs pour l'environnement

En 2004, le CNPE de Paluel a été certifié, pour la première fois, ISO 14001. L'obtention de la norme ISO 14001 est une reconnaissance internationale de la prise en compte de l'environnement dans l'ensemble des activités de l'entreprise. Elle est l'assurance d'une démarche d'amélioration continue et de la mise en place d'une organisation spécifique au domaine de l'environnement.

La protection de l'environnement, sur le terrain comme en laboratoire, a toujours été une priorité pour les CNPE d'EDF. Comme pour tous les sites industriels, les exigences environnementales fixées par le CNPE de Paluel et la réglementation se sont sans cesse accrues au fil des années. Cette certification est le fruit de l'implication de l'ensemble des intervenants - personnels EDF et d'entreprises externes - dans une démarche de respect de l'environnement.

La norme ISO 14001 repose sur la mise en œuvre d'un Système de Management Environnemental (SME). Cela signifie que la performance en matière de protection de l'environnement est intégrée dans l'organisation, c'est-à-dire dans toutes les décisions quotidiennes du CNPE de Paluel. L'ensemble des salariés du CNPE, ainsi que le personnel intervenant pour le compte d'entreprises extérieures, sont impliqués dans le respect de l'environnement.

Dans le cadre de l'amélioration continue, le CNPE de Paluel a mis en place un système permettant de détecter, tracer, déclarer, les Événements Significatifs pour l'Environnement (ESE) à l'Autorité de Sûreté Nucléaire, de traiter ces évènements et d'en analyser les causes profondes pour les éradiquer.

La déclaration d'ESE est établie à partir de critères précis et identiques sur tout le parc nucléaire. Ces critères sont définis par l'Autorité de Sûreté Nucléaire.

1. Bilan des évènements significatifs pour l'environnement déclarés

Le tableau suivant récapitule les évènements significatifs pour l'environnement déclarés par le CNPE de Paluel en 2022.

| Typologie | Date | Description de l'évènement | Principales actions correctives |
|-----------|------------|--|--|
| ESE 6 | 23/03/2022 | Emission de fluide frigorigène – dépassement du seuil de cumul annuel (>100kg) | → Les différentes fuites (< 100 kg) ont été traitées par des actions ponctuelles de maintenance corrective : resserrage des organes, remplacement des pièces défectueuses. |

| Typologie Date Description de l'évèneme | | Description de l'évènement | Principales actions correctives | | |
|--|--|---|--|--|--|
| ESE 6 | 17/05/2022 | Emission de fluide frigorigène supérieur à 100kg | →Remplacement des pièces défectueuses (dont la garniture mécanique). →Acquisition de 2 bouteilles permettant de décharger et stocker le fluide frigorigène d'un matériel défectueux dans les meilleurs délais. →Optimisation de la maintenance préventive (prévoir le remplacement des garnitures mécaniques tous les 2 ans au lieu de 4). | | |
| ESE 6 | → Réparation de la soudure à l'origine de la fuite et contrôle de cette même soudure sur les matériels identiques du CNPE. | | | | |
| ESE 6 | 05/08/2022 | Emission de fluide frigorigène supérieure à 100kg | → Resserrage des vis à l'origine de la fuite et contrôle du serrage sur les matériels identiques. | | |
| FSF 7 13/09/2022 | | Déclenchement du portique de contrôle radiologique des véhicules en raison de la présence d'un sac de déchet non identifié comme radioactif. | → Etude pour statuer sur le classement radioprotection de la zone à l'origine de l'évènement. → Création d'une fiche reflexe comportant les aspects à aborder lors des visites terrain de préparation des chantiers. | | |
| ESE 6 05/10/2022 Emission de fluide frigorigène supérieure à 100kg | | | → Remplacement de la pièce défectueuse (garniture mécanique). → Remplacement plus fréquent de cette pièce. | | |
| ESE 6 | 13/12/2022 | Emission de fluide frigorigène supérieure à 100kg | → Mise en place d'un système de condamnation sur les bouteilles de stockage de fluide frigorigène afin d'éviter toute manipulation intempestive des robinets. → Définition et gréement d'un stock de pièces de rechange sur le CNPE afin d'optimiser les délais de réparation. | | |

2. Bilan des incidents de fonctionnement

Le CNPE de Paluel a eu, durant l'année 2022, des matériels indisponibles tels que : les dispositifs de prélèvement d'effluents liquides ou gazeux (KRS). Ces indisponibilités n'ont pas eu d'incidence sur la qualité de la surveillance environnementale compte tenu de la redondance de nos matériels, de la remise en état rapide des matériels et de la mise en œuvre de moyens palliatifs durant le délai de réparations des matériels.

Partie II - Prélèvements d'eau

L'eau est une ressource nécessaire au fonctionnement des CNPE et partagée avec de nombreux acteurs : optimiser sa gestion et concilier les usages est donc une préoccupation importante pour EDF.

Que cette eau soit prélevée en mer, dans un cours d'eau, ou dans des nappes d'eaux souterraines, son utilisation est strictement réglementée et contrôlée par les pouvoirs publics.

Dans un CNPE, l'eau est nécessaire pour :

- refroidir les installations,
- constituer des réserves pour réaliser des appoints ou disposer de stockage de sécurité dont l'alimentation des circuits de lutte contre les incendies (usage industriel),
- alimenter les installations sanitaires et les équipements de restauration des salariés (usage domestique).

Un CNPE en fonctionnement utilise trois circuits d'eau indépendants :

- le circuit primaire pour extraire la chaleur : c'est un circuit fermé parcouru par de l'eau sous pression (155 bars) et à une température de 300° C. L'eau passe dans la cuve du réacteur, capte la chaleur produite par la réaction de fission du combustible nucléaire et transporte cette énergie thermique vers le circuit secondaire au travers des générateurs de vapeur.
- le circuit secondaire pour produire la vapeur : au contact des milliers de tubes en « U » des générateurs de vapeur, l'eau du circuit primaire transmet sa chaleur à l'eau circulant dans le circuit secondaire, lui-aussi fermé. L'eau de ce circuit est ainsi transformée en vapeur qui fait tourner la turbine. Celle-ci entraîne l'alternateur qui produit l'électricité. Après son passage dans la turbine, la vapeur repasse à l'état liquide dans le condenseur ; cette eau est ensuite renvoyée vers les générateurs de vapeur pour un nouveau cycle.
- un troisième circuit, appelé « circuit de refroidissement » : pour condenser la vapeur et évacuer la chaleur, le circuit de refroidissement comprend un condenseur, appareil composé de milliers de tubes dans lesquels circule de l'eau froide prélevée dans la rivière ou la mer. Au contact de ces tubes, la vapeur se condense. Ce circuit de refroidissement est différent selon la situation géographique du CNPE :
 - o en bord de mer ou d'un fleuve à grand débit, les CNPE fonctionnent avec un circuit de refroidissement totalement ouvert.
 - De l'eau (environ 50 m³ par seconde) est prélevée pour assurer le refroidissement des équipements via le condenseur. Une fois l'opération de refroidissement effectuée, l'eau qui n'est jamais entrée en contact avec la radioactivité, est intégralement restituée dans la mer ou le fleuve, à une température légèrement plus élevée.
 - o sur les fleuves ou les rivières dont le débit est plus faible, les CNPE fonctionnent avec un circuit en partie fermé.
 - Le refroidissement de l'eau chaude issue du condenseur se fait par échange thermique avec de l'air ambiant dans une grande tour réfrigérante atmosphérique appelée « aéroréfrigérant ». Une partie de l'eau chaude se

vaporise sous forme d'un panache visible, au sommet de la tour. Cette vapeur d'eau n'est pas une fumée, elle ne contient pas de CO2. Le reste de l'eau refroidie retourne dans le condenseur. Ce système avec aéroréfrigérants permet donc de réduire considérablement les prélèvements d'eau qui sont de l'ordre de 2 m3 par seconde.

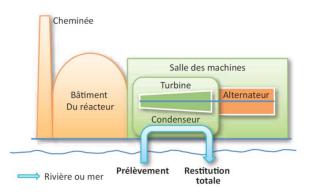


Figure 1 : Schéma d'un CNPE avec un circuit de refroidissement ouvert

Annuellement, en moyenne, le volume d'eau nécessaire au fonctionnement du circuit de refroidissement d'un réacteur est compris entre 50 millions de mètres cubes (si le refroidissement est assuré par un aéroréfrigérant) et 1 milliard de mètres cubes (si l'eau est rejetée directement dans le milieu naturel) soit respectivement un besoin de 6 à 160 litres d'eau prélevés pour produire 1 kWh.

Que les CNPE soient en fonctionnement ou à l'arrêt, la grande majorité de l'eau prélevée est restituée à sa source, c'est-à-dire au milieu naturel à proximité du point de prélèvement. Plus précisément, quasiment 100% de l'eau prélevée est restituée à la mer pour les installations en circuit ouvert.

Les besoins en eau d'un CNPE servent majoritairement à assurer son refroidissement et, donc, à produire de l'électricité. Cependant, comme tous les sites industriels, un CNPE a besoin d'eau pour :

- faire face, si besoin, à un incendie : l'ensemble des CNPE d'EDF est équipé d'un important réseau d'eau sous pression permettant aux équipes des services de conduite et de la protection des CNPE d'EDF d'intervenir dès la détection d'un incendie jusqu'à l'arrivée des secours externes, et ainsi en limiter sa propagation. Ces réseaux sont régulièrement testés afin de s'assurer de leur fonctionnement et de leur efficacité.
- se laver, boire et se restaurer : selon leur importance (de 2 à 6 réacteurs), les CNPE d'EDF accueillent de 600 à 2 000 salariés permanents (EDF et entreprises extérieures) auxquels s'ajoutent, lors d'un arrêt d'un réacteur pour maintenance, près de 1000 personnes supplémentaires. Les besoins en eau potable sont en permanence adaptés aux effectifs de salariés permanents et temporaires, tant pour les sanitaires que pour la restauration. Les CNPE d'EDF peuvent être reliés aux réseaux d'eau potable des communes sur lesquelles elles sont implantées.

I. Prélèvement d'eau destinée au refroidissement

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel du prélèvement d'eau destinée au refroidissement de l'année 2022.

| | Prélèvement d'eau (en millions de m³) |
|-----------|---------------------------------------|
| Janvier | 471 |
| Février | 425 |
| Mars | 449 |
| Avril | 307 |
| Mai | 234 |
| Juin | 227 |
| Juillet | 278 |
| Août | 353 |
| Septembre | 403 |
| Octobre | 470 |
| Novembre | 456 |
| Décembre | 471 |
| TOTAL | 4544 |

II. Prélèvement d'eau destinée à l'usage industriel

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel du prélèvement d'eau du fleuve Durdent et d'eau de mer destinées à l'usage industriel de l'année 2022.

| | Prélèvement d'eau du fleuve Durdent (en milliers de m³) | Prélèvement d'eau de mer (en milliers de m³) hors eau de refroidissement |
|-----------|---|--|
| Janvier | 48,0 | 2 347 |
| Février | 46,1 | 2 152 |
| Mars | 37,0 | 2 282 |
| Avril | 36,9 | 1 778 |
| Mai | 22,4 | 1 787 |
| Juin | 39,0 | 1 612 |
| Juillet | 70,2 | 1 803 |
| Août | 61,2 | 2 003 |
| Septembre | 70,7 | 2 267 |
| Octobre | 56,4 | 2 356 |
| Novembre | 39,7 | 2 279 |
| Décembre | 33,0 | 2 413 |
| TOTAL | 560,6 | 25 078 |

III. Prélèvement d'eau destinée à l'usage domestique

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel d'eau potable destiné à l'usage domestique de l'année 2022.

| | Prélèvement d'eau (en m³) |
|--------------|---------------------------|
| Janvier | 2329 |
| Février 2217 | |
| Mars 2906 | |
| Avril | 2969 |
| Mai 2743 | |
| Juin | 2691 |
| Juillet | 2827 |
| Août | 2488 |

| | Prélèvement d'eau (en m³) | | |
|---------------|---------------------------|--|--|
| Septembre | 2498 | | |
| Octobre 1892 | | | |
| Novembre 2004 | | | |
| Décembre 1910 | | | |
| TOTAL | 29 474 | | |

IV. Milieu de prélèvement : comparaison pluriannuelle, prévisionnel, valeurs limites et maintenance

1. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel des prélèvements d'eau pour 2022.

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de prélèvement des années 2020 à 2022 avec la valeur du prévisionnel 2022.

| Année | Milieu | Volume (millions de m³) |
|-------------------|--|-------------------------|
| 2020 | Fau do mar (agu do | 4 117 |
| 2021 | Eau de mer (eau de refroidissement + eau à usage | 4 799 |
| 2022 | industrielle CFI) | 4 569 |
| Prévisionnel 2022 | | 5 000 |
| Année | Milieu | Volume (milliers de m³) |
| 2020 | | 599 |
| 2021 | Durdent | 725 |
| 2022 | Dardent | 561 |
| Prévisionnel 2022 | | 680 |
| Année | Milieu | Volume (m³) |
| 2020 | | 32 572 |
| 2021 | Eau potable | 40 721 |
| 2022 | | 29 474 |

<u>Commentaires</u> Compte tenu du temps effectif de fonctionnement des tranches durant l'année, le volume annuel d'eau prélevé est cohérent avec le prévisionnel qui avait été définit pour 2022.

Pour ce qui concerne le prélèvement d'eau de la Durdent, le volume d'eau prélevé en 2022 est inférieur au prévisionnel annoncé. En effet, le volume annuel prélevé s'élève à 560 564 m3 pour un prévisionnel de 680 000 m3. La diminution observée est liée à une optimisation des mouvements d'eau réalisés lors des phases de mise à l'arrêt et de redémarrage des tranches du CNPE. Il en est de même pour les périodes d'exploitation à pleine puissance durant lesquelles les phases d'appoint et de rejet ont été réduites au stricte nécessaire des besoins de conditionnement des circuits de l'installation.

Il est à noter par ailleurs que la prolongation des arrêts de la tranche 4 puis de la tranche 2 a également influencé à la baisse le bilan des prélèvements d'eau de mer et d'eau de la Durdent réalisés sur l'année

2. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des débits instantanés et des volumes d'eau prélevés dans la Durdent cette année avec les valeurs limites de prélèvement fixées par la décision ASN n° 2019-DC-0677.

| | Limites de prélèvement | | Prélèvement | | |
|--------------------|------------------------|-----------|--------------------|-------------------|-------|
| Milieu | Prescriptions | Valeur | Valeur maximale | Valeur moyenne | Unité |
| Eau douce | Débit instantané | 610 | 589 | 298 | m³/ h |
| prélevée | Volume journalier | 14 500 | 8460 | 1762 | m³ |
| dans la Durdent | Volume annuel | 1 500 000 | 560 564* | S.O. | m³ |

^{*}Correspond au volume annuel prélevé

Commentaires: Les valeurs maximales observées sont inférieures aux limites autorisées.

3. Principales opérations de maintenance intervenues sur les équipements et ouvrages de prélèvements

L'année 2022 n'a pas été concernée par des actions de maintenance (hors maintenance programmée) et aucune intervention ou opération de maintenance anticipée n'ont été nécessaires.

4. Opérations exceptionnelles de prélèvements

Le CNPE de Paluel n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de prélèvement d'eau dans la Durdent et en mer en 2022.

Partie III – Restitution et consommation d'eau

I. Restitution d'eau

La restitution d'eau du CNPE de Paluel pour l'année 2022 est présentée dans le tableau cidessous.

Il comprend le bilan mensuel des volumes d'eau restitués dans le milieu marin :

- Eau de refroidissement : eau de mer
- Rejets radioactifs : Vidange des réservoirs SEK (Ex), KER (T) et TER(S)
- Rejets industriels :
 - Eau rejetée en sortie de la station d'épuration des eaux usées après traitement
 - Eau rejetée en sortie de la station de production d'eau déminéralisée
 - Volume d'eau de mer utilisé pour le maintien de l'étanchéité des pompes de circulation de l'eau de mer.
 - Volume d'eau de mer utilisé pour le lavage des systèmes de filtration des circuits des eaux de refroidissement.

Le pourcentage de restitution correspond à la différence entre la quantité d'eau prélevée (eau de mer, eau de la Durdent et eau potable) avec l'eau restituée dans la Manche (Eau de refroidissement, Rejets radioactifs et Rejets industriels).

| | | Restitution d'eau | | | |
|-------------|---|-------------------|---|-------------|-------------------|
| | | Eau de | Rejets | Rejets | Unités |
| | | refroidissement | radioactifs | industriels | Unites |
| | Janvier | 470 614 | 12,299 | 2 358 | |
| | Février | 424 882 | 13,198 | 2 164 | |
| | Mars | 449 231 | 15,034 | 2 295 | |
| | Avril | 307 411 | 12,028 | 1 792 | |
| | Mai | 233 785 | 13,933 | 1 795 | |
| Restitution | Juin | 227 465 | 7,607 | 1 624 | milliers de |
| mensuelle | Juillet | 278 019 | 19,701 | 1 823 | m³ |
| | Août | 353 088 | 17,767 | 2 022 | |
| | Septembre | 402 575 | 23,064 | 2 288 | |
| | Octobre | 470 292 | 17,564 | 2 373 | |
| | Novembre | 455 501 | 14,347 | 2 294 | |
| | Décembre | 470 684 | 12,841 | 2 425 | |
| | Restitution au milieu aquatique | | prélevé : 4 569 2 restitué : 4 568 9 | | milliers de m³ |
| TOTAL | Pourcentage de restitution d'eau au milieu aquatique par rapport au prélèvement | 99,99 | | % | |

II. Consommation d'eau

1. Cumul mensuel

La consommation d'eau correspond à la différence entre la quantité d'eau prélevée (eau de mer à usage de refroidissement, eau de mer à usage industrielle (CFI), eau de la Durdent et eau potable) et la quantité d'eau restituée au milieu aquatique (eau de mer à usage de refroidissement, eau de mer à usage industrielle (CFI), eau rejetée en sortie de la station d'épuration des eaux usées, eau rejetée en sortie de la station de production d'eau déminéralisée, volume d'eau de mer utilisé pour le maintien de l'étanchéité des pompes de circulation de l'eau de mer (Pompes Exhaures) et les vidanges des réservoirs SEK (Ex), KER (T) et TER (S)).

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel de consommation d'eau de l'année 2022.

| | Consommation d'eau (en milliers de m3) |
|-----------|--|
| Janvier | 27,089 |
| Février | 22,789 |
| Mars | 11,868 |
| Avril | 14,419 |
| Mai | 2,472 |
| Juin | 21,944 |
| Juillet | 33,367 |
| Août | 26,107 |
| Septembre | 28,732 |
| Octobre | 23,520 |
| Novembre | 12,506 |
| Décembre | 9,770 |
| TOTAL | 234,584 |

Partie IV - Rejets d'effluents

Comme beaucoup d'autres activités industrielles, l'exploitation d'un CNPE entraîne des rejets d'effluents à l'atmosphère et par voie liquide. Une réglementation stricte encadre ces différents rejets, qu'ils soient radioactifs ou non.

Chaque CNPE a mis en place une organisation afin d'assurer une gestion optimisée des effluents visant notamment à :

- réduire à la source la production d'effluents, notamment par le recyclage,
- réduire les rejets de substances radioactives ou chimiques au moyen de traitements appropriés,
- optimiser la production de déchets et valoriser les déchets conventionnels qui peuvent l'être.

Les rejets d'effluents se présentent sous différentes formes :

- les rejets radioactifs liquides et atmosphériques, qui peuvent contenir :
 - o Tritium,
 - o Carbone 14,
 - o lode,
 - o Autres produits de fission ou d'activation,
 - Gaz rares.
- les rejets chimiques liquides classés en deux catégories :
 - les rejets de substances chimiques associées aux effluents radioactifs liquides ou eaux non radioactives issues des salles des machines,
 - les rejets de produits issus des autres circuits non radioactifs (circuit de refroidissements des condenseurs, station de déminéralisation, station d'épuration).
- les rejets chimiques atmosphériques : un CNPE émet peu de substances chimiques par voie atmosphérique. Les émissions proviennent des groupes électrogènes de secours constitués de moteurs diesels ou de turbines à combustion consommant du gasoil, de pertes de fluides frigorigènes, du renouvellement de calorifuges dans le bâtiment réacteur et d'émanations de certaines substances volatiles utilisées pour la protection et le traitement des circuits.
- les rejets thermiques : quel que soit le mode de refroidissement (ouvert ou fermé) d'un CNPE, l'échauffement du milieu aquatique est limité par la réglementation propre à chaque CNPE.

Optimisés, réduits, traités et surveillés, les rejets d'effluents radioactifs atmosphériques et liquides génèrent une exposition des populations plus de 100 fois inférieure à la limite réglementaire d'exposition reçue par une personne du public fixée à 1mSv/an dans l'article R1333-8 du code de la santé publique

I. Rejets d'effluents à l'atmosphère

1. Rejets d'effluents à l'atmosphère radioactifs

Il existe deux sources de rejets d'effluents radioactifs à l'atmosphère :

- les effluents dits « hydrogénés » proviennent du dégazage des effluents liquides issus du circuit primaire. Afin d'éviter tout mélange avec l'oxygène de l'air, ces effluents

hydrogénés sont collectés et stockés, au minimum 30 jours dans des réservoirs où une surveillance régulière est effectuée. Durant ce temps, la radioactivité décroît naturellement, ce qui réduit d'autant l'impact environnemental. Les effluents sont contrôlés avant leur rejet. Pendant leur rejet, ils subissent systématiquement des traitements tels que la filtration à Très Haute Efficacité (filtres THE) qui permet de retenir les poussières radioactives. Ces rejets occasionnels sont dits « concertés ».

Les effluents dits « aérés » qui proviennent de la collecte des évents des circuits de traitement des effluents liquides radioactifs, de la dépressurisation du bâtiment du réacteur ainsi que de l'air de la ventilation des locaux de l'îlot nucléaire. La ventilation maintient les locaux en légère dépression par rapport à l'extérieur et évite ainsi les pertes de gaz ou de poussières contaminées vers l'environnement. Les opérations de dépressurisation de l'air du bâtiment réacteur conduisent à des rejets dits « concertés ». L'air de ventilation transite par des filtres THE et, dans certains circuits, sur des pièges à iodes à charbon actif avant d'être rejeté en continu à la cheminée. Ces rejets sont dits « permanents ».

Ces deux types d'effluents sont rejetés dans l'atmosphère par une cheminée dédiée à la sortie de laquelle est réalisé, en permanence, un contrôle de l'activité rejetée.

Les cinq catégories de radionucléides réglementés dans les rejets d'effluents à l'atmosphère sont les gaz rares, le tritium, le carbone 14, les iodes et les autres produits de fission (PF) et produits d'activation (PA) :

- Les principaux gaz rares issus de la réaction de fission sont le xénon 133, le xénon 135, le krypton 85 et le xénon 131. Ce sont des gaz inertes, ils ne sont donc pas retenus par les systèmes de filtration (filtres très haute efficacité THE et pièges à iodes).
- Le tritium est un isotope radioactif de l'hydrogène. C'est un émetteur bêta (électron) de faible énergie. Il est rejeté par les CNPE est très majoritairement issu de l'activation neutronique d'éléments tels que le bore 10 et le lithium 6 présents dans le fluide primaire.
- Le carbone 14 présent dans les rejets des CNPE est produit essentiellement par activation de l'oxygène 17 présent dans l'eau du circuit primaire. Une part plus faible est produite par l'activation de l'azote 14 dissous dans l'eau du circuit primaire.
- Les iodes présents dans les rejets d'effluents radioactifs du CNPE (principalement l'iode 131 et l'iode 133) sont des produits de fission, créés dans le combustible par fission des atomes d'uranium ou de plutonium.
- Les autres produits de fission (PF) et produits d'activation (PA) émetteurs β ou γ , correspondent principalement au césium et au cobalt.

a. Règles spécifiques de comptabilisation

Ces règles s'appuient en premier lieu sur la définition de « spectres de référence », en fonction du type de rejet (liquides ou atmosphériques). Ces rejets sont constitués d'une liste de radionucléides à identifier par les moyens de mesure adéquats. Cette liste a été déterminée par une étude réalisée de 1996 à 1999 sur l'ensemble du parc des CNPE d'EDF. Toutes les substances figurant dans plus de 90 % des analyses figurent dans cette liste. Des radionucléides comme l'iode, peu présent dans les rejets, figurent également dans cette liste, mais pour des raisons historiques.

La deuxième règle fondamentale consiste à déclarer obligatoirement une activité rejetée pour les radionucléides appartenant à ces différents « spectres de référence ». Les radionucléides

dont l'activité mesurée est inférieure au seuil de décision (SD) donnent lieu à une comptabilisation d'activité rejetée égale au SD.

Les cumuls mensuels sont établis par sommation des activités rejetées pour chacun des rejets d'effluents du mois considéré. Les cumuls annuels sont égaux à la somme des cumuls mensuels.

Spectre de référence des rejets radioactifs à l'atmosphère b.

Le bilan des rejets d'effluents réalisés à l'atmosphère est déterminé pour chacune des cinq familles de radionucléides réparties comme suit :

- les gaz rares,
- le Tritium,
- le Carbone 14.
- les lodes.
- les autres produits de fission ou d'activation émetteurs bêta et/ou gamma (PF-PA).

Le tableau ci-dessous est un rappel du spectre de référence des rejets radioactifs à l'atmosphère.

| Paramètres | Radionucléide | | |
|------------------------|--------------------|--|--|
| | ⁴¹ Ar | | |
| | ⁸⁵ Kr | | |
| Gaz rares | ^{131m} Xe | | |
| | ¹³³ Xe | | |
| | ¹³⁵ Xe | | |
| Tritium | ³ H | | |
| Carbone 14 | ¹⁴ C | | |
| lodes | 131 | | |
| iodes | 133 | | |
| | ⁵⁸ Co | | |
| Produits de fission et | ⁶⁰ Co | | |
| d'activation | ¹³⁴ Cs | | |
| | ¹³⁷ Cs | | |

¹ D'après le Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de l'IRSN : « Le seuil de décision est la valeur minimale que doit avoir la mesure d'un échantillon pour que le métrologiste puisse « décider » que cette activité est présente et donc mesurée. En dessous de cette valeur, l'activité de l'échantillon est donc trop faible pour être estimée. Ce seuil de décision dépend de la performance et du rayonnement ambiant autour des moyens métrologiques utilisés. »

a. Cumul mensuel

Les cumuls mensuels des rejets d'effluents radioactifs à l'atmosphère sont donnés dans le tableau suivant.

| | 131I (GBq) | 133I (GBq) | 131mXe (GBq) | 133Xe (GBq) | 135Xe (GBq) | 41Ar (GBq) | 85Kr (GBq) | 134Cs (GBq) | 137Cs (GBq) | 58Co (GBq) | 60Co (GBq) | 75Se (GBq) |
|-----------------|---------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Janvier | 3,706E-04 | 2,079E-03 | 7,875E-04 | 3,136E+01 | 1,189E+01 | 4,081E+00 | 3,264E-01 | 8,335E-05 | 8,548E-05 | 8,369E-05 | 1,155E-04 | 1 |
| Février | 3,457E-04 | 1,884E-03 | 8,721E-04 | 2,665E+01 | 1,021E+01 | 4,137E+00 | 1,597E-01 | 8,336E-05 | 8,679E-05 | 8,785E-05 | 1,310E-04 | 1 |
| Mars | 3,394E-04 | 1,992E-03 | 5,804E-04 | 3,066E+01 | 1,081E+01 | 4,210E+00 | 4,201E-03 | 8,364E-05 | 8,023E-05 | 8,301E-05 | 1,143E-04 | 1 |
| Avril | 3,103E-04 | 1,998E-03 | 1,150E-03 | 3,111E+01 | 1,153E+01 | 3,175E+00 | 2,778E-02 | 8,806E-05 | 8,893E-05 | 8,985E-05 | 1,201E-04 | 1 |
| Mai | 4,129E-04 | 2,219E-03 | 1 | 3,093E+01 | 1,152E+01 | 1,562E+00 | 1 | 9,540E-05 | 9,511E-05 | 9,623E-05 | 1,424E-04 | 1 |
| Juin | 4,690E-04 | 1,986E-03 | 1,341E-03 | 2,884E+01 | 1,033E+01 | 1,785E+00 | 1,757E-01 | 9,143E-05 | 8,912E-05 | 8,623E-05 | 1,253E-04 | 1 |
| Juillet | 1,058E-03 | 1,863E-03 | 1,910E-04 | 2,991E+01 | 1,162E+01 | 2,657E+00 | 5,191E-02 | 8,580E-05 | 8,971E-05 | 2,573E-04 | 1,287E-04 | 3,745E-05 |
| Août | 8,097E-04 | 2,106E-03 | 9,062E-04 | 2,901E+01 | 1,078E+01 | 2,693E+00 | 5,150E-02 | 8,895E-05 | 9,489E-05 | 8,774E-05 | 1,392E-04 | 1 |
| Septembre | 4,248E-04 | 1,750E-03 | 1,712E-03 | 2,694E+01 | 1,031E+01 | 1,713E+00 | 3,217E-02 | 8,957E-05 | 8,983E-05 | 1,368E-04 | 1,235E-04 | 1 |
| Octobre | 8,588E-04 | 2,007E-03 | 1 | 3,051E+01 | 1,158E+01 | 2,432E+00 | 1 | 9,202E-05 | 9,019E-05 | 8,990E-05 | 1,400E-04 | 1 |
| Novembre | 9,864E-04 | 2,374E-03 | 9,554E-05 | 3,811E+01 | 1,344E+01 | 3,187E+00 | 8,821E-04 | 1,072E-04 | 1,092E-04 | 1,138E-04 | 1,581E-04 | / |
| Décembre | 1,303E-03 | 3,039E-03 | 1,571E-03 | 4,124E+01 | 1,473E+01 | 3,121E+00 | 5,550E-02 | 1,057E-04 | 1,148E-04 | 1,306E-04 | 1,594E-04 | / |
| TOTAL ANNUEL | 7,69E-03 | 2,53E-02 | 9,21E-03 | 3,75E+02 | 1,39E+02 | 3,48E+01 | 8,86E-01 | 1,09E-03 | 1,11E-03 | 1,34E-03 | 1,60E-03 | 3,75E-05 |

| | Volumes | lodes | Gaz rares | Autres PF | Tritium | Carbone 14 |
|-----------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | rejetés | (GBq) | (GBq) | et PA | (GBq) | (GBq) |
| | (m3) | | | (GBq) | | |
| Janvier | 8,38E+08 | 2,450E-03 | 4,766E+01 | 3,680E-04 | 1,656E+02 | 2,348E+02 |
| Février | 7,64E+08 | 2,229E-03 | 4,116E+01 | 3,890E-04 | 1,595E+02 | 1 |
| Mars | 8,25E+08 | 2,331E-03 | 4,568E+01 | 3,611E-04 | 1,620E+02 | 1 |
| Avril | 8,48E+08 | 2,308E-03 | 4,584E+01 | 3,869E-04 | 1,757E+02 | 2,897E+02 |
| Mai | 8,47E+08 | 2,632E-03 | 4,401E+01 | 4,292E-04 | 1,963E+02 | 1 |
| Juin | 8,39E+08 | 2,455E-03 | 4,113E+01 | 3,921E-04 | 1,786E+02 | 1 |
| Juillet | 8,54E+08 | 2,922E-03 | 4,423E+01 | 5,990E-04 | 1,925E+02 | 3,250E+02 |
| Août | 8,51E+08 | 2,915E-03 | 4,254E+01 | 4,108E-04 | 1,986E+02 | / |
| Septembre | 7,54E+08 | 2,175E-03 | 3,899E+01 | 4,396E-04 | 1,714E+02 | / |
| Octobre | 8,09E+08 | 2,866E-03 | 4,452E+01 | 4,121E-04 | 1,854E+02 | 1,445E+02 |
| Novembre | 8,11E+08 | 3,360E-03 | 5,474E+01 | 4,883E-04 | 1,894E+02 | / |
| Décembre | 8,51E+08 | 4,341E-03 | 5,915E+01 | 5,105E-04 | 1,569E+02 | / |
| TOTAL ANNUEL | 9,89E+09 | 3,30E-02 | 5,50E+02 | 5,19E-03 | 2,13E+03 | 9,94E+02 |

Il a été vérifié que les rejets ne présentent pas d'activité volumique alpha globale d'origine artificielle supérieure aux seuils de décision.

Il a été vérifié que les rejets au niveau des cheminées annexes (ventilation de la laverie et du laboratoire de chimie) ne présentent pas d'activité volumique bêta globale d'origine artificielle supérieure à 1 E-3 Bq/m3.

b. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2022.

| | | Rejets par o | catégorie de radionucléides (GBq) | | | | |
|----------------------|-----------|--------------|-----------------------------------|-----------|--|--|--|
| Année | Gaz rares | Tritium | Carbone 14 | lodes | Autres produits de fission et d'activation | | |
| 2020 | 9,51 E+02 | 1,58 E+03 | 6,52 E+02 | 3,15 E-02 | 5,95 E-03 | | |
| 2021 | 5,64 E+02 | 2,08 E+03 | 9,35 E+02 | 2,87 E-02 | 5,00 E-03 | | |
| 2022 | 5,50 E+02 | 2,13 E+03 | 9,94 E+02 | 3,30 E-02 | 5,19 E-03 | | |
| Prévisionnel 2022 | 7,00 E+02 | 2,00 E+03 | 1,00 E+03 | 4,00 E-02 | 7,00 E-03 | | |

<u>Commentaires</u>: Les rejets radioactifs à l'atmosphère sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2022.

On observe toutefois un faible dépassement du prévisionnel tritium gazeux en lien avec la gestion du traitement des effluents et notamment la répartition des rejets sous forme liquide et gazeuse. En effet, le bilan rejet annuel 2022 s'élève à 2,13 E+03 GBq pour un prévisionnel annoncé de 2,00 E3 GBq.

c. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la ASN n° 2019-DC-0676.

| | | Limites annuelle | es de rejet | Rejet |
|-----------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|-----------------|
| Paramètres | Localisation prélèvement | Prescriptions | Valeur | Valeur maximale |
| | Installation | Activité annuelle rejetée (GBq) | 4,800 E+04 | 5,50 E+02 (*) |
| 0 | Cheminée n° 1 | Débit instantané (Bq/s) | 4,50 E+06 ⁽²⁾ | 2,43 E+05 |
| Gaz rares | Cheminée n° 2 | Débit instantané (Bq/s) | 4,50 E+06 ⁽²⁾ | 1,86 E+05 |
| | Cheminée n° 3 | Débit instantané (Bq/s) | 4,50 E+06 ⁽²⁾ | 1,54 E+05 |
| | Cheminée n° 4 | Débit instantané (Bq/s) | 4,50 E+06 ⁽²⁾ | 2,09 E+05 |
| Carbone 14 | Installation | Activité annuelle rejetée (GBq) | 2,80 E+03 | 9,94 E+02 (*) |
| | Installation | Activité annuelle rejetée (GBq) | 8,00 E+03 | 2,13 E+03 (*) |
| - | Cheminée n° 1 | Débit instantané (Bq/s) | 5,00 E+05 ⁽¹⁾ | 2,29 E+04 |
| Tritium | Cheminée n° 2 | Débit instantané (Bq/s) | 5,00 E+05 ⁽¹⁾ | 2,68 E+04 |
| | Cheminée n° 3 | Débit instantané (Bq/s) | 5,00 E+05 ⁽¹⁾ | 3,73 E+04 |
| | Cheminée n° 4 | Débit instantané (Bq/s) | 5,00 E+05 ⁽¹⁾ | 3,45 E+04 |
| | Installation | Activité annuelle rejetée (GBq) | 1,20 E+00 | 3,30 E-02 (*) |
| la da a | Cheminée n° 1 | Débit instantané (Bq/s) | 5,00 E+01 ⁽³⁾ | 1,30 E+00 |
| lodes | Cheminée n° 2 | Débit instantané (Bq/s) | 5,00 E+01 ⁽³⁾ | 7,08 E-01 |
| | Cheminée n° 3 | Débit instantané (Bq/s) | 5,00 E+01 ⁽³⁾ | 8,20 E-01 |
| | Cheminée n° 4 | Débit instantané (Bq/s) | 5,00 E+01 ⁽³⁾ | 6,12 E-01 |
| Autres | Installation | Activité annuelle rejetée (GBq) | 2,00 E-01 | 5,19 E-03 (*) |
| produits de | Cheminée n° 1 | Débit instantané (Bq/s) | 5,00 E+01 ⁽³⁾ | 7,65 E-02 |
| fission et | Cheminée n° 2 | Débit instantané (Bq/s) | 5,00 E+01 ⁽³⁾ | 8,62 E-02 |
| produits d'activation | Cheminée n° 3 | Débit instantané (Bq/s) | 5,00 E+01 ⁽³⁾ | 5,36 E-02 |
| u activation | Cheminée n° 4 | Débit instantané (Bq/s) | 5,00 E+01 ⁽³⁾ | 2,00 E-01 |

⁽¹⁾ Ce débit d'activité peut être dépassé sans toutefois que le débit d'activité pour l'ensemble du site de Paluel ne dépasse 2.10⁶ Bq/s.

<u>Commentaires</u>: Les rejets radioactifs à l'atmosphère respectent les valeurs limites de rejets de la décision ASN n°2019-DC-0676. Les débits instantanés ont respecté les valeurs de la décision ASN tout au long de l'année 2022.

⁽²⁾ Ce débit d'activité peut être dépassé sans toutefois que le débit d'activité pour l'ensemble du site de Paluel ne dépasse 1,8.10⁷ Bg/s.

⁽³⁾ Ce débit d'activité peut être dépassé sans toutefois que le débit d'activité pour l'ensemble du site de Paluel ne dépasse 2.10² Bq/s.

^{*}Correspond à l'activité annuelle rejetée

2. Evaluation des rejets diffus d'effluents radioactifs à l'atmosphère

Les rejets radioactifs diffus ont notamment pour origine :

- les évents de réservoirs d'entreposage des effluents radioactifs (T, S), le réservoir de stockage de l'eau borée pour le remplissage des piscines,
- les rejets de vapeur du circuit secondaire par le système de décharge à l'atmosphère, susceptibles de renfermer de la radioactivité en cas d'inétanchéité des tubes de générateurs de vapeur.

Ces rejets, ne transitant pas par la cheminée instrumentée, sont dits « diffus », et font l'objet d'une estimation mensuelle par calcul visant notamment à s'assurer de leur caractère négligeable.

Les cumuls mensuels des rejets diffus d'effluents radioactifs à l'atmosphère est donnée dans le tableau suivant.

| | | | | Rejets au ni | veau des évents des | | |
|-----------------|----------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------|--|--|
| | | Rejets de vapeu | Rejets de vapeur du circuit | | au de refroidissement | | |
| | Volume | seconda | ire | des piscines et d'entreposage des | | | |
| | (m³) | | | efflu | ents liquides | | |
| | | Tritium (Bq) | lodes | Tritium | lodes (Bq) | | |
| | | midaii (Bq) | (Bq) | (Bq) | loues (Bq) | | |
| Janvier | 1,23E+04 | / | 1 | 6,829E+07 | 0,000E+00 | | |
| Février | 1,82E+04 | 3,155E+09 | 1 | 1,554E+08 | 0,000E+00 | | |
| Mars | 2,00E+04 | 7,000E+08 | 1 | 1,145E+08 | 0,000E+00 | | |
| Avril | 1,70E+04 | 9,000E+08 | 1 | 1,083E+08 | 0,000E+00 | | |
| Mai | 1,39E+04 | / | / | 1,600E+08 | 0,000E+00 | | |
| Juin | 7,60E+03 | / | / | 1,827E+07 | 0,000E+00 | | |
| Juillet | 2,47E+04 | 1,250E+08 | 1 | 8,535E+07 | 0,000E+00 | | |
| Août | 2,28E+04 | 6,400E+08 | 1 | 7,843E+07 | 0,000E+00 | | |
| Septemb | 2,81E+04 | 9,000E+08 | / | 9,310E+07 | 0,000E+00 | | |
| re | | | | | | | |
| Octobre | 2,25E+04 | 1,850E+08 | / | 8,962E+07 | 0,000E+00 | | |
| Novembr | 1,94E+04 | 2,500E+08 | 1 | 6,258E+07 | 0,000E+00 | | |
| е | | | | | | | |
| Décembr | 1,28E+04 | / | 1 | 8,256E+07 | 0,000E+00 | | |
| е | | | | | | | |
| TOTAL ANNUEL | 2,04E+05 | 6,86E+09 | 1 | 1,12E+09 | 0,00E+00 | | |

3. Evaluation des rejets diffus d'effluents à l'atmosphère non radioactifs

Les CNPE engendrent également des rejets d'effluents à l'atmosphère non radioactifs dont les origines sont :

- Le lessivage chimique des générateurs de vapeur : l'encrassement des générateurs de vapeur peut nécessiter un lessivage chimique à l'origine de rejets chimiques à l'atmosphère (ammoniac...) qui nécessitent une autorisation administrative ; ces rejets sont, soit mesurés, soit estimés par calcul en fonction des quantités de produits chimiques utilisés.
- Les émissions des groupes électrogènes de secours : les groupes électrogènes de secours composés de moteurs diesel, les Turbines à Combustion (TAC) et les Diesels d'Ultime Secours (DUS) fonctionnant au gasoil sont destinés uniquement à alimenter des systèmes de sécurité et/ou à prendre le relais de l'alimentation électrique principale en cas de défaillance de celle-ci. Ils ont donc un rôle majeur en termes de sûreté nucléaire. Les émissions des gaz de combustion (SO2, NOX) de ces matériels de petites puissances sont faibles sachant qu'ils ne fonctionnent que peu de temps (moins de 50 h/an par diesel) lors des essais périodiques ou d'incidents.
- Les émissions de fluides frigorigènes. En effet, un CNPE est équipée de groupes frigorifiques pour assurer la production d'eau glacée et pour la réfrigération des locaux techniques et administratifs. Ces matériels utilisent des produits pouvant accroître l'effet de serre. Le fonctionnement des matériels et les opérations de maintenance conduisent à des émissions de fluides frigorigène. Ces émissions sont réglementairement déclarées et comptabilisées et des actions sont prises pour remédier à la situation.
- Les opérations de maintenance effectuées dans les bâtiments réacteur des CNPE : Lors de ces opérations, une quantité plus ou moins importante de calorifuges est changée par des produits neufs. Pendant les phases de montée en température correspondant à la remise en service des installations, certains types de calorifuges émettent, par dégradation thermique, des vapeurs formolées dans l'enceinte, qui peuvent être à l'origine de rejets de monoxyde de carbone.
- Le conditionnement de circuit à l'arrêt : à l'occasion des arrêts de tranche pour une durée supérieure à une semaine, la conservation humide des générateurs de vapeur permet de s'affranchir du risque de corrosion des matériaux constitutifs et de disposer d'une barrière biologique (écran d'eau) pour réaliser des travaux environnants. Les générateurs de vapeur sont alors remplis avec de l'eau déminéralisée conditionnée à l'hydrazine et additionnée avec de l'ammoniaque dans des proportions définies dans les spécifications chimiques de conservation à l'arrêt.

a. Rejets d'oxyde de soufre et d'azote

La quantité annuelle évaluée d'oxyde de soufre (SOx) et d'azote (NOx) rejetée dans l'atmosphère lors du fonctionnement périodique des groupes électrogènes de secours (moteurs Diesels) ayant fonctionné pendant environ 521 heures, des turbines à combustion (TAC) ayant fonctionné pendant environ 38 heures et diesels d'ultime secours (DUS) ayant fonctionné pendant environ 60 heures, au total sur les 4 tranches pour 2022 est de :

| Paramètre | Unité | Groupes électrogènes | TAC DUS | TOTAL |
|-----------|-------|-------------------------|------------|--------|
| SOx | kg | 5 | 1 | 6 |
| NOx | kg | 105 784 | 42131 | 147915 |

b. Rejets de formaldéhyde et de monoxyde de carbone

En 2022, 251 m³ de calorifuges dans les enceintes des bâtiments réacteurs 2 et 4 ont été renouvelés. Ce volume donne une estimation des concentrations maximales ajoutées dans l'atmosphère.

| Concentration calculée | Unité | Paramètres | EBA | ETY |
|---------------------------|-------|---------------------|----------|----------|
| Concentration maximale | | Formaldéhyde | 4,47E-03 | 1,01E-04 |
| ajoutée dans l'atmosphère | mg/m³ | Monoxyde de carbone | 4,17E-03 | 9.42E-05 |

c. Rejets de substances volatiles en lien avec le conditionnement de circuits à l'arrêt

L'estimation du rejet des espèces volatiles est la suivante :

| Paramètre | Unité | TOTAL |
|-----------|-------|-------|
| Ammoniac | kg | 182 |

d. Bilan des émissions gaz à effet de serre et de fluides frigorigènes

Un bilan des émissions de gaz à effet de serre et de fluides frigorigènes est réalisé annuellement par le CNPE de Paluel. L'estimation des émissions de gaz à effet de serre et de fluides frigorigènes est la suivante :

| Paramètre | Masse en kg | Tonne équivalent CO ₂ |
|---------------------------------------|-------------|----------------------------------|
| Chloro-fluoro-carbone (CFC) | 0 | 0 |
| Hydrogéno-chloro-fluor-carbone (HCFC) | 0 | 0 |
| Hydrogéno-fluoro-carbone (HFC) | 1214,04 | 1742,90 |
| Hexafluorure de soufre (SF6) | 82,66 | 1942,51 |
| Total des émissions de GES en tonne e | 3685,41 | |

Dans le respect de la règlementation relative aux systèmes d'échanges de quota d'émissions de gaz à effet de serre, le CNPE déclare chaque année les émissions de CO₂ provenant de l'activité de combustion de combustibles dans les installations dont la puissance thermique totale de combustion est supérieure à 20 MW. Pour l'année 2022, les émissions liées à cette activité représentent 999,42 tonne équivalent CO₂.

L'équivalent CO₂ total des émissions de GES du CNPE constituées des pertes de fluides frigorigène et SF6 et de la combustion des diesels de secours, représente 1,42 gCO₂ / kWh électrique produit, la production annuelle nette d'électricité ayant été de 32,9 TWh sur l'année 2022.

<u>Commentaire</u>: Le CNPE de Paluel enregistre pour 2022 une émission de fluides frigorigènes plus importantes que les années précédentes. Ces émissions résultent de plusieurs

évènements décrit dans le paragraphe V.1. Des actions de maintenance et de remplacement de pièces ont été mises en place.

4. Principales opérations de maintenance intervenues sur les équipements et ouvrages de rejets d'effluents à l'atmosphère

L'année 2022 n'a pas été concernée par des actions de maintenance (hors maintenance programmée) et aucune intervention ou opération de maintenance anticipée n'ont été nécessaires.

5. Opérations exceptionnelles de rejets d'effluents à l'atmosphère

Le CNPE de Paluel n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de rejets d'effluents à l'atmosphère en 2022.

II. Rejets d'effluents liquides

1. Rejets d'effluents liquides radioactifs

Lorsque l'on exploite un CNPE, des effluents liquides radioactifs sont produits :

- Les effluents provenant du circuit primaire dits « effluents primaires hydrogénés » contiennent des gaz de fission (xénons, iodes, césiums, ...) et des produits d'activation (cobalts, manganèse, tritium, carbone 14...) et de fission. Ces effluents sont essentiellement produits en phase d'exploitation du fait des mouvements d'eau primaire effectués lors des variations de puissance ou de l'ajustement des paramètres chimiques de l'eau du réacteur...).
- Les effluents issus des circuits auxiliaires dits « effluents usés » constituent le reste des effluents. Ils résultent principalement des opérations de maintenance nécessitant des vidanges de circuit (filtres, déminéraliseurs, échangeurs...), des opérations d'évacuation du combustible usé et de conditionnement des résines usées, des actions de maintien de la propreté des installations (lavage du sol et du linge).

La totalité de ces effluents est collectée, puis traitée, pour retenir l'essentiel de la radioactivité.

Les effluents issus du circuit primaire sont dirigés vers le circuit de Traitement des Effluents Primaires (TEP). Celui-ci comprend une chaîne de filtration et de déminéralisation, un dégazeur permettant d'envoyer les gaz dissous vers le système de Traitement des Effluents Gazeux (TEG), et une chaîne d'évaporation permettant de séparer l'effluent traité en un distillat (eau) d'activité volumique faible pouvant être recyclé ou rejeté le cas échéant, et en un concentrat renfermant le bore, qui est généralement recyclé vers le circuit primaire.

Les effluents liquides oxygénés recueillis dans les puisards des différents locaux sont dirigés vers le circuit de Traitement des Effluents Usés (TEU) où ils sont traités. Collectés sélectivement suivant plusieurs catégories (résiduaires, chimiques, planchers, servitudes), le traitement de ces effluents, approprié à leurs caractéristiques physico-chimiques, peut se faire:

- par filtration et déminéralisation (résines échangeuses d'ions) permettant de retenir l'essentiel de la radioactivité,
- sur chaîne d'évaporation, permettant d'obtenir d'une part un distillat épuré chimiquement et d'activité faible, et d'autre part un concentrat composé principalement d'acide borique,
- par filtration pour les drains de planchers et servitudes (laverie, douches...) peu radioactifs.

Les effluents sont ensuite acheminés vers des réservoirs d'entreposage dénommés réglementairement T ou S, où ils sont analysés, sur le plan radioactif et sur le plan chimique, avant d'être rejetés, en respectant la réglementation.

Les eaux issues des salles des machines (groupe turbo-alternateur) ne sont pas considérées comme des effluents radioactifs au sens de la réglementation (article 2.3.3 de la décision n°2017-DC-0588). Ces eaux sont collectées sans traitement préalable vers des réservoirs dénommés réglementairement Ex où elles sont contrôlées avant d'être rejetées.

a. Règles spécifiques de comptabilisation

Ces règles s'appuient en premier lieu sur la définition de « spectres de référence », en fonction du type de rejet (liquides ou atmosphériques). Ces rejets sont constitués d'une liste de radionucléides à identifier par les moyens de mesure adéquats. Cette liste a été déterminée par une étude réalisée de 1996 à 1999 sur l'ensemble du parc des CNPE d'EDF. Toutes les substances figurant dans plus de 90 % des analyses figurent dans cette liste. Des radionucléides comme l'iode, peu présent dans les rejets, figurent également dans cette liste, mais pour des raisons historiques.

La deuxième règle fondamentale consiste à déclarer obligatoirement une activité rejetée pour les radionucléides appartenant à ces différents « spectres de référence ». Les radionucléides dont l'activité mesurée est inférieure au seuil de décision¹ (SD) donnent lieu à une comptabilisation d'activité rejetée égale au SD.

Les cumuls mensuels sont établis par sommation des activités rejetées pour chacune des catégories d'effluents du mois considéré (T, S, Ex). Les cumuls annuels sont égaux à la somme des cumuls mensuels.

b. Spectre de référence des rejets d'effluents radioactifs liquides

Le bilan des rejets d'effluents radioactifs liquides est déterminé pour chacune des quatre familles de radionucléides réparties comme suit :

- le Tritium,
- le Carbone 14,
- les lodes.

- les autres produits de fission ou d'activation émetteurs bêta et/ou gamma (PF-PA).

Le tableau ci-dessous est un rappel du spectre de référence des rejets radioactifs liquides pour les tranches en fonctionnement.

Rapport environnemental annuel – 2022 – CNPE de Paluel

¹ D'après le Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de l'IRSN: « Le seuil de décision est la valeur minimale que doit avoir la mesure d'un échantillon pour que le métrologiste puisse « décider » que cette activité est présente et donc mesurée. En dessous de cette valeur, l'activité de l'échantillon est donc trop faible pour être estimée. Ce seuil de décision dépend de la performance et du rayonnement ambiant autour des moyens métrologiques utilisés. »

| Paramètres | Radionucléide | | |
|------------------------|--------------------|--|--|
| Tritium | ³ H | | |
| Carbone 14 | ¹⁴ C | | |
| lodes | 131 | | |
| | ⁵⁴ Mn | | |
| | ⁶³ Ni | | |
| | ⁵⁸ Co | | |
| | ⁶⁰ Co | | |
| Produits de fission et | ^{110m} Ag | | |
| d'activation | ^{123m} Te | | |
| | ¹²⁴ Sb | | |
| | ¹²⁵ Sb | | |
| | ¹³⁴ Cs | | |
| | ¹³⁷ Cs | | |

c. Cumul mensuel

Le cumul mensuel des rejets d'effluents radioactifs est donné dans le tableau suivant :

| | ¹³¹ | ¹¹⁰ mAg | ¹²³ mTe | ¹²⁴ Sb | ¹²⁵ Sb | ¹³⁴ Cs | ¹³⁷ Cs | ⁵⁴ Mn | ⁵⁸ Co | ⁶⁰ Co | ⁹⁵ Nb | ⁹⁵ Zr | ⁶³ Ni |
|-----------|----------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | (GBq) | (GBq) | (GBq) | (GBq) | (GBq) | (GBq) | (GBq) | (GBq) | (GBq) | (GBq) | (GBq) | (GBq) | (GBq) |
| Janvier | 6,928E- | 4,033E- | 1,021E- | 7,182E- | 2,125E- | 7,494E- | 8,982E- | 1,557E- | 1,803E- | 4,122E- | / | / | 1,799E- |
| Janvier | 04 | 03 | 03 | 04 | 03 | 04 | 04 | 03 | 02 | 02 | | | 02 |
| Février | 7,898E- | 1,268E- | 1,595E- | 8,388E- | 2,348E- | 8,694E- | 1,332E- | 1,036E- | 1,493E- | 3,755E- | / | / | 1,575E- |
| 1 CVIICI | 04 | 03 | 03 | 04 | 03 | 04 | 03 | 03 | 02 | 02 | | | 02 |
| Mars | 7,469E- | 2,863E- | 8,626E- | 8,168E- | 2,250E- | 8,519E- | 1,363E- | 9,164E- | 8,888E- | 3,683E- | / | / | 1,061E- |
| mars | 04 | 03 | 04 | 04 | 03 | 04 | 03 | 04 | 03 | 02 | | | 02 |
| Avril | 6,883E- | 1,918E- | 2,143E- | 7,443E- | 2,826E- | 7,669E- | 2,741E- | 8,883E- | 8,039E- | 3,741E- | / | / | 4,004E- |
| A**** | 04 | 03 | 03 | 04 | 03 | 04 | 03 | 04 | 03 | 02 | | | 02 |
| Mai | 1,262E- | 1,900E- | 1,790E- | 1,312E- | 3,765E- | 1,351E- | 2,438E- | 1,509E- | 1,437E- | 6,664E- | / | / | 4,275E- |
| mai | 03 | 03 | 03 | 03 | 03 | 03 | 03 | 03 | 02 | 02 | | | 02 |
| Juin | 4,433E- | 1,583E- | 6,080E- | 8,109E- | 1,301E- | 6,805E- | 1,183E- | 1,054E- | 1,027E- | 1,897E- | / | / | 1,524E- |
| oam | 04 | 03 | 04 | 04 | 03 | 03 | 02 | 03 | 02 | 02 | | | 02 |
| Juillet | 1,281E- | 1,393E- | 1,052E- | 6,068E- | 3,879E- | 3,798E- | 6,043E- | 1,529E- | 4,768E- | 4,859E- | 6,371E- | 4,558E- | 2,283E- |
| Gamet | 03 | 03 | 03 | 03 | 03 | 03 | 03 | 03 | 02 | 02 | 04 | 04 | 02 |
| Août | 8,549E- | 1,716E- | 9,416E- | 3,651E- | 2,583E- | 9,825E- | 1,235E- | 9,253E- | 6,897E- | 4,744E- | / | / | 1,853E- |
| Aout | 04 | 03 | 04 | 03 | 03 | 04 | 03 | 04 | 02 | 02 | | | 02 |
| Septembre | 7,886E- | 8,717E- | 7,695E- | 2,456E- | 2,372E- | 1,026E- | 1,527E- | 1,222E- | 2,748E- | 4,431E- | / | / | 1,383E- |
| Сортонный | 04 | 04 | 04 | 03 | 03 | 03 | 03 | 03 | 02 | 02 | | | 02 |
| Octobre | 1,169E- | 1,339E- | 8,189E- | 2,024E- | 3,383E- | 1,308E- | 1,432E- | 1,356E- | 2,695E- | 3,174E- | / | / | 1,253E- |
| | 03 | 03 | 04 | 03 | 03 | 03 | 03 | 03 | 02 | 02 | | | 02 |
| Novembre | 7,641E- | 1,073E- | 5,216E- | 8,536E- | 2,250E- | 8,364E- | 9,611E- | 8,860E- | 1,902E- | 2,472E- | / | / | 1,008E- |
| | 04 | 03 | 01 | 04 | 03 | 04 | 04 | 04 | 02 | 02 | | | 02 |
| Décembre | 9,050E- | 1,093E- | 7,675E- | 1,072E- | 2,709E- | 1,085E- | 1,451E- | 1,650E- | 2,896E- | 6,599E- | / | 1 | 1,818E- |
| | 04 | 03 | 04 | 03 | 03 | 03 | 03 | 03 | 02 | 02 | | | 02 |
| TOTAL | 1,04E-02 | 2,11E-02 | 1,29E-02 | 2,14E- | 3,18E- | 2,04E- | 3,33E- | 1,45E- | 2,94E- | 5,01E- | 6,37E- | 4,56E- | 2,38E- |
| ANNUEL | | | | 02 | 02 | 02 | 02 | 02 | 01 | 01 | 04 | 04 | 01 |

| | Volumes rejetés (m3) | lodes (GBq) | Autres PF et PA (GBq) (Nickel 63 inclus) | Tritium (GBq) | Carbone 14 (GBq) |
|-----------------|-------------------------|-------------|--|---------------|---------------------|
| Janvier | 1,23E+04 | 6,928E-04 | 8,834E-02 | 6,038E+03 | 1,230E+00 |
| Février | 1,32E+04 | 7,898E-04 | 7,752E-02 | 1,414E+04 | 3,457E+00 |
| Mars | 1,50E+04 | 7,469E-04 | 6,625E-02 | 1,032E+04 | 3,368E+00 |
| Avril | 1,20E+04 | 6,883E-04 | 9,751E-02 | 9,656E+03 | 3,960E+00 |
| Mai | 1,39E+04 | 1,262E-03 | 1,378E-01 | 1,445E+04 | 2,744E+00 |
| Juin | 7,61E+03 | 4,433E-04 | 6,847E-02 | 1,616E+03 | 5,427E-01 |
| Juillet | 1,97E+04 | 1,281E-03 | 1,440 E-01 | 7,808E+03 | 3,270E+00 |
| Août | 1,78E+04 | 8,549E-04 | 1,470E-01 | 6,893E+03 | 2,302E+00 |
| Septembre | 2,31E+04 | 7,886E-04 | 9,587E-02 | 8,247E+03 | 4,125E+00 |
| Octobre | 1,76E+04 | 1,169E-03 | 8,288E-02 | 8,028E+03 | 4,454E+00 |
| Novembre | 1,43E+04 | 7,641E-04 | 6,120E-02 | 5,574E+03 | 2,851E+00 |
| Décembre | 1,28E+04 | 9,050E-04 | 1,230E-01 | 9,068E+03 | 4,203E+00 |
| TOTAL ANNUEL | 1,79E+05 | 1,04E-02 | 1,19E+00 | 1,02E+05 | 3,65E+01 |

Il a été vérifié que les rejets ne présentent pas d'activité volumique alpha globale d'origine artificielle supérieure aux seuils de décision.

<u>Commentaires</u>: Trois réservoirs vidangés en février 2022 ont révélé une activité tritium supérieure au seuil de 400 Bq/l. L'activité en tritium de 1,47 E3 Bq/l présente dans la partie secondaire de l'installation de la tranche n°3 pendant la période de remplissage est à l'origine de l'activité tritium mesurée dans les trois réservoirs concernés.

Six réservoirs Ex vidangés sur la période du 6 au 22 avril 2022 ont également révélé une activité en tritium supérieure au seuil de 400 Bq/l. L'activité en tritium mesurée provient de la collecte d'effluents tritiés dans le puisard Ouest de la salle des machines de la tranche 1.

Il en est de même pour deux réservoirs Ex vidangés les 13 mai et 17 mai 2022 pour lesquels le dépassement observé a pour principale origine l'activité en tritium présente dans la partie secondaire de l'installation de la tranche 1 (4,80E+02 Bq/l) et de la tranche 3 (6,00E+02 Bq/l). Il est à noter que pendant la période de remplissage des deux réservoirs Ex, l'apport en effluents provenait majoritairement des tranches 1 et 3.

Enfin, un réservoir EX vidangé le vendredi 16 décembre 2022 a révélé une activité en tritium supérieure au seuil de 400 Bq/l. Le dépassement observé a pour principale origine l'activité en tritium présente dans le circuit secondaire de la tranche 4 (activité du circuit égale à 8,70E+02 Bq/l). Il est à noter que pendant la période de remplissage du réservoir, l'apport en effluents provenait majoritairement de cette tranche.

.

d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejet de l'année 2022 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2022.

| | Rejets par catégorie de radionucléides (GBq) | | | | | | | | |
|----------------------|--|------------|-------------|--|--|--|--|--|--|
| | Tritium | Carbone 14 | lodes (MBq) | Autres PA et PF (MBq) (Nickel 63 inclus) | | | | | |
| 2020 | 7,43 E+04 | 3,64 E+01 | 8,71 E-03 | 1,31 E+00 | | | | | |
| 2021 | 9,36 E+04 | 3,13 E+01 | 1,02 E-02 | 1,14 E+00 | | | | | |
| 2022 | 1,02 E+05 | 3,65 E+01 | 1,04 E-02 | 1,19 E+00 | | | | | |
| Prévisionnel 2022 | 1,30 E+05 | 4,00 E+01 | 1,00 E-02 | 1,30 E+00 | | | | | |

<u>Commentaires</u>: Les rejets radioactifs liquides sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2022. Il est toutefois à noter que la prolongation des arrêts de tranches réalisés en 2022 a induit une diminution de l'activité en tritium rejetée sous forme liquide. En effet, le cumul annuel atteint à fin 2022 s'élève à 1,02 E+02 GBq pour un prévisionnel de 1,30 E+02 GBq.

e. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2019-DC-676.

| | Limites annuelles of | de rejet | Rejet |
|-----------------|---------------------------------|-----------|--------------------|
| Paramètres | Prescriptions | Valeur | Valeur maximale |
| Tritium | Activité annuelle rejetée (GBq) | 1,60 E+05 | 1,02 E+05 |
| Indum | Débit instantané (Bq/s) | 800 x D | 1,56 E+07 |
| Carbone 14 | Activité annuelle rejetée (GBq) | 3,80 E+02 | 3,65 E+01 |
| lodes | Activité annuelle rejetée (GBq) | 2,0 E-01 | 1,04 E-02 |
| loues | Débit instantané (Bq/s) | 1 x D | 2,14 E+00 |
| Autres PA et PF | Activité annuelle rejetée (GBq) | 2,0 E+01 | 1,19 E+00 |
| Addres FA CLFT | Débit instantané (Bq/s) | 7 x D | 4,23 E+02 |

<u>Commentaires</u>: Les limites réglementaires de rejets ont été respectées. Le débit d'activité exprimé pour un débit D₁ (exprimé en L/s) dans l'ouvrage de rejet n° 1 ou n° 2, n'excède pas, en valeur moyenne sur 24 heures, les limites prescrites par la Décision ASN.

f. Surveillance des eaux réceptrices

Des prélèvements d'eau de mer sont réalisés lors de chaque rejet d'effluents liquides radioactifs (à mi-rejet). Des prélèvements journaliers sont également réalisés en dehors des

¹ Le débit D est généralement de 43 000 L/s, Ce dernier peut baisser à la valeur de 21 500 L/s lorsqu'une pompe de circulation d'eau de mer est stoppée sur l'installation vers laquelle les rejets sont orientés.

périodes de rejet. Plusieurs analyses sont réalisées sur ces échantillons d'eau filtrée (mesure de bêta globale, du tritium et de la teneur en potassium sur l'eau et mesures de l'activité bêta globale sur les matières en suspension). Ces analyses permettent de s'assurer du respect des valeurs d'activité volumique limites fixées par la réglementation.

Les résultats des mesures réalisées sur les eaux de surface pour l'année 2022 sont donnés dans le tableau suivant (valeurs moyennes et maximales).

| | | Activité v | olumique hora | ire à mi-rejet | Activité vol | umique : moye | nne journalière |
|------------------------|--------------------------|---|--|-------------------------|---|--|---|
| | Paramètre analysé | Valeur moyenne mesurée en 2022 | Valeur maximale mesurée en 2022 | Limite réglementaire | Valeur moyenne mesurée en 2022 | Valeur maximale mesurée en 2022 | Limite réglementaire |
| | Activité bêta globale | 1,18 E+01 Bq/L | 1,30 E+01 Bq/L | 1.80 E+01 Bq/L | - | - | - |
| Eau filtrée | Tritium | 2,72 E+02 Bq/L | 4,30 E+02 Bq/L | 1,80 E+03 Bq/L | 7,79 E+01 Bq/L | 4,00 E+02 ⁽¹⁾ / 2,90 E+01 ⁽²⁾ Bq/L | 9,00 E+02 ⁽¹⁾ /1,00 E+02 ⁽²⁾ Bq/L |
| | Potassium | 4,12 E+02 mg/L | 4,40 E+02 mg/L | - | - | - | - |
| Matières en suspension | Activité bêta globale | 8,71 E-02 Bq/L | 5,08 E-01 Bq/L | - | - | - | - |

⁽¹⁾ en présence de rejets radioactifs / (2) en l'absence de rejets radioactifs

<u>Commentaires</u>: Les mesures de surveillance dans les eaux de surface pour l'année 2022 sont cohérentes avec les valeurs attendues du fait des rejets d'effluents autorisés du CNPE. Les mesures d'activité bêta globale et de l'activité en tritium dans l'eau sont très inférieures aux limites réglementaires.

2. Rejets d'effluents liquides chimiques

Le fonctionnement d'un CNPE nécessite l'utilisation de substances chimiques et donne lieu à des rejets chimiques par voie liquide dans l'environnement.

Ces rejets d'effluents chimiques sont issus :

- des produits de conditionnement des circuits primaire, secondaire et auxiliaires utilisés pour garantir l'intégrité des matériels contre la corrosion (rejets chimiques associés aux effluents radioactifs ou non)
- de la production d'eau déminéralisée,
- du traitement des eaux vannes (eaux rejetées par les installations domestiques),
- des traitements des circuits du refroidissement à l'eau brute contre les dépôts de tartre et le développement des micro-organismes.

Les eaux vannes issues du CNPE de Paluel sont traitées par la station d'épuration propre au CNPE de Paluel.

Les principales substances utilisées sont :

- l'acide borique (H₃BO₃) : le bore contenu dans cet acide est « avide » des neutrons produits lors de la réaction nucléaire. C'est une substance neutrophage, qui permet

donc le contrôle de la réaction de fission et donc le pilotage du réacteur. Ce bore est dissous dans l'eau du circuit primaire.

- la lithine (LiOH) : ce produit est utilisé pour maintenir le pH du circuit primaire. En effet, le bore est sous forme acide. Pour éviter les effets de corrosion liés à cet acide, de la lithine est ajoutée à l'eau du circuit primaire afin d'ajuster le pH à celui de moindre corrosion. La concentration en lithine est donc directement liée à celle du bore.
- l'hydrazine (N₂H₄): ce produit est utilisé principalement dans le circuit secondaire comme un agent anti-oxydant. Il permet d'éliminer l'oxygène dissous dans le mélange eau-vapeur, et ainsi maintenir là aussi un pH de moindre corrosion du circuit secondaire.
- La morpholine (C₄H₉NO), l'éthanolamine (C₂H₇NO) et l'ammoniaque (NH₄OH) sont des amines volatiles qui peuvent être employées, seules ou en combinaison, pour maintenir le bon pH dans le circuit secondaire. Elles complètent l'action de l'hydrazine. Le mode de conditionnement du circuit secondaire a évolué avec les années pour tenir compte du retour d'expérience interne et étranger. L'éthanolamine (C₂H₇NO), utilisée sur quelques CNPE, constitue une alternative intéressante à la morpholine, en particulier pour la protection des pièces internes des générateurs de vapeur et des purges des sécheurs-surchauffeurs de la turbine.
- le phosphate trisodique (Na₃PO₄) : comme l'hydrazine, le phosphate est utilisé pour le conditionnement des circuits de refroidissement intermédiaires.
- les détergents : ces produits sont régulièrement utilisés pour le nettoyage des locaux industriels ; qu'ils soient en ou hors zone contrôlée. Ils sont également utilisés à la laverie du CNPE pour le nettoyage des tenues d'intervention.

Par ailleurs, l'abrasion et la corrosion naturelles des tubes en laiton des condenseurs peut entraîner des rejets de cuivre et de zinc.

Les autres rejets chimiques réglementés ont pour origine l'installation de production d'eau déminéralisée, le traitement des eaux vannes et usées, dans la station d'épuration, ainsi que le traitement des eaux potentiellement huileuses issues de la salle des machines, des transformateurs principaux. Les rejets des eaux pluviales également réglementés au niveau des émissaires de rejet.

Pour lutter contre les salissures biologiques, l'eau de mer alimentant les circuits de refroidissement des sites marins est traitée, du printemps à l'automne, à l'eau de Javel (hypochlorite de sodium) produite in situ par électrolyse de l'eau de mer. Le traitement biocide des circuits ouverts de refroidissement des sites marins conduit à des rejets de composés organohalogénés dont le principal est le bromoforme.

a. Etat des connaissances sur la toxicité de la morpholine / de l'éthanolamine et de leurs produits dérivés

Le CNPE n'a, à ce jour, pas basculé sur le conditionnement à l'éthanolamine. Actuellement, le CNPE est conditionné à l'ammoniaque.

b. Règles spécifiques de comptabilisation

En application de l'article 3.2.7. -l. de la décision ASN n° 2013-DC-0360 modifiée, une nouvelle règle est appliquée à compter du 1er janvier 2015 pour la comptabilisation des quantités de substances chimiques rejetées. Cette nouvelle règle consiste à retenir par convention une valeur de concentration égale à la limite de quantification divisée par deux lorsque le résultat

de la mesure est en dessous de la limite de quantification des moyens métrologiques employés pour effectuer l'analyse.

c. Rejets d'effluents liquides chimiques via « l'ouvrage de rejet principal »

i. Cumul mensuel

Le cumul mensuel des rejets chimiques transitant par l'ouvrage de rejet principal est donné dans le tableau suivant :

| | Acide borique (kg) | Ammonium (kg) | Nitrites (kg) | Nitrates (kg) | Azote total (kg) | Détergents (kg) | Hydrazine (kg) | MES (Ex, T et S) (kg) | Métaux Totaux (kg) | Phosphates (kg) | Sulfates (kg) | DCO (kg) | Fer total (1) (kg) | MES (1) (kg) | Cuivre (1) (2) (kg) |
|-----------|--------------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|--------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------|------------------|-------------|--------------------------|-----------------|---------------------------|
| Janvier | 1,258E+ | 3,000E+02 | 1,325E+ | 6,233E+0 | 2,877E+0 | 3,157E+00 | 4,449E-02 | 2,556E+01 | 2,056E+ | 1,171E+02 | 4,831E+ | 1,041 | 1,420E+ | 1,276E | 1 |
| Janvier | 03 | | 02 | 1 | 2 | | | | 00 | | 03 | E+02 | 02 | +04 | |
| Février | 1,882E+ | 3,930E+02 | 1,790E+ | 5,067E+0 | 2,577E+0 | 4,102E+00 | 3,300E-02 | 3,043E+01 | 1,626E+ | 1,611E+02 | 1,030E+ | 8,554 | 2,203E+ | 1,513E | / |
| revilei | 03 | | 02 | 1 | 2 | | | | 00 | | 04 | E+01 | 02 | +04 | |
| Mars | 1,472E+ | 5,350E+02 | 1,680E+ | 6,748E+0 | 4,820E+0 | 3,930E+00 | 3,758E-02 | 3,060E+01 | 2,832E+ | 1,090E+02 | 6,840E+ | 8,322 | 2,310E+ | 1,370E | / |
| Mars | 03 | | 02 | 1 | 2 | | | | 00 | | 03 | E+01 | 02 | +04 | |
| Avril | 1,127E+ | 3,254E+02 | 1,305E+ | 8,179E+0 | 3,113E+0 | 3,964E+00 | 3,007E-02 | 2,417E+02 | 4,027E+ | 1,400E+02 | 8,951E+ | 1,102 | 1,320E+ | 6,594E | 8,420E |
| AVIII | 03 | | 02 | 1 | 2 | | | | 00 | | 03 | E+02 | 02 | +03 | -01 |
| Mai | 4,917E+ | 2,490E+02 | 1,200E+ | 6,478E+0 | 2,448E+0 | 6,478E+00 | 3,483E-02 | 2,319E+02 | 5,331E+ | 1,350E+02 | 7,022E+ | 2,613 | 4,136E+ | 5,090E | 5,162E |
| Mai | 02 | | 02 | 1 | 2 | | | | 00 | | 03 | E+02 | 01 | +03 | +00 |
| Juin | 4,456E+ | 3,999E+02 | 5,716E+ | 5,165E+0 | 3,401E+0 | 2,307E+00 | 1,902E-02 | 1,641E+02 | 3,027E+ | 7,144E+01 | 9,050E+ | 8,206 | 2,589E+ | 9,192E | / |
| Juin | 02 | | 01 | 1 | 2 | | | | 00 | | 03 | E+01 | 02 | +03 | |
| 12114 | 6,430E+ | 4,166E+02 | 1,252E+ | 8,489E+0 | 3,812E+0 | 1,303E+01 | 4,925E-02 | 2,055E+02 | 4,029E+ | 6,223E+01 | 2,945E+ | 1,943 | 2,455E+ | 1,595E | / |
| Juillet | 02 | | 02 | 1 | 2 | | | | 00 | | 04 | E+02 | 02 | +04 | |
| Août | 6,447E+ | 5,662E+02 | 1,099E+ | 3,006E+0 | 4,807E+0 | 3,985E+00 | 6,050E-02 | 1,840E+02 | 3,310E+ | 8,672E+01 | 5,630E+ | 9,634 | 9,413E+ | 9,678E | / |
| Aout | 02 | | 02 | 1 | 2 | | | | 00 | | 03 | E+01 | 01 | +03 | |
| Cantambus | 4,502E+ | 6,725E+02 | 1,418E+ | 2,027E+0 | 6,120E+0 | 3,951E+00 | 1,051E-01 | 2,511E+02 | 4,188E+ | 6,915E+01 | 1,353E+ | 1,557 | 1,450E+ | 1,637E | / |
| Septembre | 02 | | 02 | 2 | 2 | | | | 00 | | 04 | E+02 | 02 | +04 | |
| Outobas | 9,345E+ | 5,119E+02 | 1,497E+ | 5,052E+0 | 4,551E+0 | 5,723E+00 | 5,027E-02 | 3,651E+01 | 2,169E+ | 1,391E+02 | 1,411E+ | 1,056 | 1,695E+ | 1,473E | / |
| Octobre | 02 | | 02 | 1 | 2 | | | | 00 | | 04 | E+02 | 02 | +04 | |
| Marriage | 9,813E+ | 4,642E+02 | 1,728E+ | 1,174E+0 | 4,401E+0 | 4,056E+00 | 4,620E-02 | 3,493E+01 | 1,910E+ | 1,279E+02 | 1,293E+ | 7,008 | 1,593E+ | 7,341E | / |
| Novembre | 02 | | 02 | 2 | 2 | | | | 00 | | 04 | E+01 | 02 | +03 | |
| Dásambur | 1,534E+ | 4,622E+02 | 1,434E+ | 8,906E+0 | 4,233E+0 | 3,943E+00 | 3,210E-02 | 2,708E+01 | 1,891E+ | 2,206E+01 | 8,849E+ | 1,261 | 1,885E+ | 1,146E | / |
| Décembre | 03 | | 02 | 1 | 2 | | | | 00 | | 03 | E+02 | 02 | +04 | |
| TOTAL | 9,54E+ | 5,30E+03 | 1,63E+0 | 9,53E+02 | 4,72 E+03 | 5,86E+01 | 5,42E-01 | 1,46E+03 | 3,64E+0 | 1,24E+03 | 1,31E+0 | 1,47E | 2,03E+0 | 1,38E+ | 6.00E+ |
| ANNUEL | 03 | | 3 | | | | | | 1 | | 5 | +03 | 3 | 05 | 00 |
| | 1 | l . | | l | ı | l . | l | | | l . | | l . | l | | |

^{*}Flux mensuel limite en métaux totaux : 3,8 E1 kg ;

⁽¹⁾ Station de déminéralisation,

⁽²⁾ Substance Cuivre : détermination par calcul des bilans rejet à partir des quantités de réactifs employées lors de la mise en œuvre du traitement des bassins de stockage d'eau brute prélevée dans la Durdent.

Le détail du cumul mensuel de la famille des métaux totaux exprimé métal par métal est présenté dans le tableau ci-dessous

| | Chrome (kg) | Cuivre (kg) | Nickel (kg) | Plomb (kg) | Zinc (kg) | Manganès e (kg) | Aluminium (kg) | Fer (kg) | Métaux Totaux (kg) |
|-----------------|----------------|-------------|-------------|------------|-----------|--------------------|-------------------|----------|-----------------------|
| Janvier | 3,07E-02 | 5,47E-01 | 3,07E-02 | 4,39E-02 | 3,01E-01 | 6,81E-02 | 2,69E-01 | 7,66E-01 | 2,06E+00 |
| Février | 3,30E-02 | 4,09E-01 | 3,30E-02 | 2,35E-02 | 2,14E-01 | 3,30E-02 | 2,87E-01 | 5,94E-01 | 1,63E+00 |
| Mars | 3,76E-02 | 3,97E-01 | 3,76E-02 | 5,39E-02 | 3,14E-01 | 8,47E-02 | 6,60E-01 | 1,25E+00 | 2,83E+00 |
| Avril | 3,01E-02 | 3,74E-01 | 3,01E-02 | 2,12E-01 | 4,92E-01 | 1,12E-01 | 1,15E+00 | 1,63E+00 | 4,03E+00 |
| Mai | 3,48E-02 | 4,91E-01 | 3,48E-02 | 1,36E-01 | 7,35E-01 | 1,36E-01 | 6,71E-01 | 3,09E+00 | 5,33E+00 |
| Juin | 1,90E-02 | 3,25E-01 | 4,39E-02 | 2,52E-02 | 2,45E-01 | 8,07E-02 | 4,69E-01 | 1,82E+00 | 3,03E+00 |
| Juillet | 4,93E-02 | 2,69E-01 | 8,79E-02 | 1,41E-01 | 4,64E-01 | 2,42E-01 | 6,45E-01 | 2,13E+00 | 4,03E+00 |
| Août | 4,44E-02 | 3,68E-01 | 4,44E-02 | 6,75E-02 | 3,88E-01 | 1,37E-01 | 6,02E-01 | 1,66E+00 | 3,31E+00 |
| Septembre | 5,77E-02 | 4,45E-01 | 5,77E-02 | 3,22E-02 | 3,65E-01 | 1,43E-01 | 7,28E-01 | 2,36E+00 | 4,19E+00 |
| Octobre | 4,22E-02 | 2,93E-01 | 4,22E-02 | 5,26E-02 | 2,77E-01 | 4,22E-02 | 3,58E-01 | 1,06E+00 | 2,17E+00 |
| Novembre | 3,59E-02 | 3,54E-01 | 3,59E-02 | 1,43E-02 | 2,15E-01 | 8,28E-02 | 1,43E-01 | 1,03E+00 | 1,91E+00 |
| Décembre | 3,21E-02 | 3,12E-01 | 3,21E-02 | 2,23E-02 | 2,77E-01 | 4,39E-02 | 3,06E-01 | 8,64E-01 | 1,89E+00 |
| TOTAL ANNUEL | 4,47E-01 | 4,58E+00 | 4,94E-01 | 8,23E-01 | 4,29E+00 | 1,21E+00 | 6,29E+00 | 1,83E+01 | 3,64E+01 |

ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets d'effluents non radioactifs liquides de l'année 2022 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2022.

| Substances | Unité | N-2 | N-1 | N | Prévisionnel N |
|-----------------------------------|-------|-----------|--------------|----------|----------------|
| Acide borique | kg | 7,00 E+03 | 1,46 E+04 | 1,19E+04 | 1,20 E+04 |
| Hydrazine | kg | 1,13 E+00 | 8,97 E-01 | 5,42E-01 | 8,00 E-01 |
| Détergents | kg | 3,93 E+01 | 5,13 E+01 | 5,86E+01 | 5,00 E+01 |
| Azote total | kg | 3,45 E+03 | 3,96 E+03 | 4,72E+03 | 4,30 E+03 |
| Phosphates | kg | 1,30 E+03 | 1,74 E+03 | 1,24E+03 | 2,00 E+03 |
| Fer (Station de déminéralisation) | kg | 2,77 E+03 | 2,50 E+03 | 2,03E+03 | 3,00 E+03 |
| Métaux totaux | kg | 3,58 E+01 | 4,18 E+01 | 3,64E+01 | 5,00 E+01 |

| Substances | Unité | N-2 | N-1 | N | Prévisionnel N |
|---|-------|-----------|-----------|----------|----------------|
| Sulfates (Station de déminéralisation) | kg | 1,26 E+05 | 1,62 E+05 | 1,31E+05 | 1,40 E+05 |
| Cuivre (Station de déminéralisation) | kg | - | 1,47 E+01 | 6,00E+00 | - |
| MES (Station de déminéralisation) | kg | 1,27 E+05 | 1,48 E+05 | 1,38E+05 | - |
| MES (T,S et Ex) | kg | 2,10 E+03 | 2,99 E+03 | 1,46E+03 | - |
| DCO | kg | 2,41 E+03 | 1,38 E+03 | 1,47E+03 | - |

<u>Commentaires</u>: Les quantités de substances chimiques rejetées sont globalement conformes à l'attendu et notamment au prévisionnel de prélèvements et de consommations d'eau et de rejets établi par le CNPE de Paluel à partir de la programmation des activités d'exploitation prévues pour l'année 2022.

Il est toutefois à noter que la quantité d'hydrazine rejetée sur l'année 2022 s'élève à 542 g, soit un bilan nettement inférieur au prévisionnel annuel dimensionné à 800 g. Le bilan annuel 2022 est le plus bas jamais atteint par le CNPE de Paluel. Ce dernier est principalement lié aux phases de destruction d'hydrazine réalisées en 2022 dans les réservoirs avant rejet. En effet, l'optimisation des mouvements d'eau réalisés sur les installations a permis le maintien d'une capacité d'accueil suffisante dans les réservoirs de stockage pour permettre au laboratoire de totalement finaliser les phases de destruction avant rejet.

Le faible dépassement observé pour les détergents avec un cumul rejeté de 5,86E+01 pour un prévisionnel de 5,00E+01 a pour origine le rejet d'un réservoir contenant une quantité de produits lessiviels plus élevée qu'habituellement. Cette quantité est toutefois resté très inférieure aux limites réglementaires.

Pour ce qui concerne les phosphates, l'optimisation du conditionnement des échangeurs de réfrigération du CNPE a permis de diminuer la quantité annuelle rejetée qui s'élève pour 2022 à 1,24E+03 kg pour un prévisionnel annoncé de 2,00E+03 kg.

Enfin, un faible dépassement de la quantité d'azote total rejetée est observé en 2022. En effet, la quantité comptabilisée a atteint la valeur de 4,72E+03 kg pour un prévisionnel annoncé de 4,30E+03 kg. L'optimisation du volume d'effluents produit durant l'année sur la partie secondaire des installations a induit un phénomène de concentration de la teneur en azote total dans les effluents transférés dans les réservoirs Ex.

.

iii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n°2019-DC-676.

| | Limite | Rejet | Limite | Rejet | Limite | Rejet | Limite | Rejet |
|--------------------------------------|--|---|------------------|---|-----------------|---|----------------------------------|-----------------------------------|
| Substances | Concentration maximale ajoutée dans l'ouvrage de rejet (mg/L) | Valeur maximale calculée dans l'ouvrage de rejet (mg/L) | Flux 24h (kg) | Valeur maximal calculée Flux 24h (kg) | Flux 2h (kg) | Valeur maximale calculée Flux 2h (kg) | Flux annuel ajouté (kg) | Flux annuel calculé (kg) |
| Acide borique | 3,10 E+00 | 1,77 E-01 | 2,50 E+03 | 3,59 E+02 | 5,00 E+02 | 9,59 E+01 | 2,00 E+04 | 1,19 E+04 |
| Hydrazine | 6,00 E-03 | 3,56 E-05 | 1,50 E+00 | 2,27 E-02 | / | 1 | 1,80 E+01 | 5,42 E-01 |
| Détergents | 9,90 E-01 | 2,31 E-03 | 2,00 E+02 | 5,48 E-00 | 1,60 E+02 | 7,16 E-01 | 3,15 E+03 | 5,86 E+01 |
| Azote total | 4,00 E-01 | 1,36 E-01 | 1,00 E+02 | 7,00 E+01 | / | / | 6,30 E+03 | 4,72 E+03 |
| Phosphates | 7,40 E-01 | 1,45 E-01 | 2,00 E+02 | 7,37 E+01 | 1,20 E+02 | 4,49 E+01 | 3,20 E+03 | 1,24 E+03 |
| DCO | 7,40 E-1 | 1,64 E-02 | 1,50 E+02 | 2,33 E+01 | / | / | / | 1,47 E+03 |
| Métaux totaux | 1,00 E-2 | 8,02 E-03 | 1 | 1 | / | 1 | / | 3,64 E+01 |
| MES (T, S et Ex) | | | 1,20 E+02 | 4,09 E+01 | / | 1 | 7,00 E+03 | 1,46 E+03 |
| MES (station de déminéralisation) | 8,65 E+00 | 4,98 E+00 | 5,20 E+03 | 4,88 E+03 | / | 1 | 3,30 E+05 | 1,38 E+05 |
| Sulfates (Déminé) | 9,64 E+00 | 2,90 E+00 | 2,40 E+03 | 2,35 E+03 | / | 1 | 2,50 E+05 | 1,31 E+05 |
| Fer (Station de déminéralisation) | 1,90 E-01 | 5,54 E-02 | 3,00 E+02 | 5,71 E+01 | 1 | 1 | 6,80 E+03 | 2,03 E+03 |
| Cuivre (Station de déminéralisation) | 2,00 E-03 | 7,97 E-04 | 3,00 E+00 | 9,47 E-01 | 1 | 1 | 1,00 E+02 | 6,00 E+00 |

L'article 5.3.1 de la décision ASN n°2017-DC-0588 demande une évaluation de la quantité annuelle de lithine rejetée. En 2022, la quantité de lithine rejetée par le CNPE de Paluel est évaluée à 1,13 E+02 kg. Cette évaluation réalisée sur la base de la quantité de lithine consommée sur l'année correspond à la donnée brute d'entrée, sans prise en compte de la quantité dégradée par réaction chimique sur l'installation avant rejet.

La quantité mensuelle maximale rejetée en métaux totaux s'élève pour l'année 2022 à 5,331 E+00 Kg avec une limite mensuelle de 3,8 E+01 kg.

Il est à noter que 26 réservoirs Ex et 6 réservoirs T ont fait l'objet en 2022 d'un traitement de destruction d'hydrazine avant rejet. Ces traitements réalisés à l'aide d'injection d'air et de sulfate de cuivre ont permis d'éviter le rejet de 4,94 E+00 kg d'hydrazine. Une injection de 1,52 kg de catalyseur (sulfate de cuivre) a été nécessaire sur l'année pour procéder à ces traitements. La détermination par bilan matière des rejets s'élève à 9,10 E-01 kg pour les sulfates et à 6,10 E-01 kg pour le cuivre.

<u>Commentaires</u>: Les rejets liquides chimiques respectent les valeurs limites annuelles de rejet de la décision ASN n° 2019-DC-676.

d. Rejets d'effluents liquides chimiques via « eau de refroidissement rejetées via les puits de rejet tranches 1 à 4 »

Ce paragraphe présente les rejets de substances chimiques liées au traitement biocide du CNPE de Paluel pour l'année 2022.

i. Cumul mensuel

Le tableau ci-dessous présente les rejets mensuels pour chaque type de substances chimiques par voie liquide.

| | AOX (Kg) | Bromoformes (Kg) |
|--------------|------------|------------------|
| Janvier | 0,000 E+00 | 0,00 E+00 |
| Février | 0,000 E+00 | 0,00 E+00 |
| Mars | 0,000 E+00 | 0,00 E+00 |
| Avril | 6,510 E+02 | 1,385 E+02 |
| Mai | 4,797 E+03 | 2,092 E+03 |
| Juin | 4,085 E+03 | 1,356 E+03 |
| Juillet | 5,758 E+03 | 2,517 E+03 |
| Aout | 5,759 E+03 | 2,761 E+03 |
| Septembre | 7,466 E+03 | 2,586 E+03 |
| Octobre | 1,209 E+03 | 3,140 E+02 |
| Novembre | 5,118 E+03 | 1,579 E+03 |
| Décembre | 1,414 E+03 | 3,767 E+02 |
| TOTAL ANNUEL | 3,63 E+04 | 1,37 E+04 |

ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Les limites réglementaires relatives aux rejets des substances chimiques liées au traitement biocide sont réglementées par la décision n°2019-DC-0676.

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets d'effluents liquides chimiques de l'année 2022 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2022.

| Paramètres | Unité | 2020 | 2021 | 2022 | Prévisionnel 2022 |
|-------------|-------|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| AOX | kg | 2,39 E+04 | 4,16 E+04 | 3,63 E+04 | 8,00 E+04 |
| Bromoformes | kg | 7,17 E+03 | 1,25 E+04 | 1,37 E+04 | 3,00 E+04 |

<u>Commentaires</u>: Les rejets de bromoformes ainsi que les rejets d'oxydants résiduels sont bien inférieurs aux valeurs du prévisionnel 2022. En effet, la durée de fonctionnement des stations d'électrochloration a été sur l'année 2022 plus courte que celle initialement prévue. Il est à noter qu'une indisponibilité matérielle n'a pas permis le démarrage de la station d'électrochloration de la tranche 2 sur l'ensemble de la période prévue.

iii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous présente un comparatif des valeurs de rejets relatifs au traitement biocide de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la Décision ASN n°2019-DC-0676 pour chaque type de substance chimique.

| Paramètres | Limite Concentration maximale ajoutée (mg/L) | Rejet Valeur maximale calculée (mg/L) | Limite Flux 24h (kg) | Rejet Valeur maximal calculée |
|--------------------|--|---|-------------------------|-------------------------------------|
| Oxydants résiduels | 3,22 E+00 | 8,00 E-02 | 5,70 E+03 | 4,70 E+02 |
| Bromoformes | 4,00 E-01 | 2,34 E-02 | 7,15 E+02 | 1,50 E+02 |

Commentaires: Les valeurs respectent les valeurs limites de rejet.

e. Rejets d'effluents liquides chimiques - Rejet des effluents issus de la station d'épuration dans l'émissaire des eaux usées et pluviales

Ce paragraphe présente les rejets de substances chimiques liés au traitement des eaux usées du CNPE de Paluel pour l'année 2022.

i. Cumul mensuel

Le tableau ci-dessous présente les rejets mensuels pour chaque type de substances chimiques par voie liquide.

| | Azote global (kg) | DBO5 (kg) | DCO (kg) | MES (kg) | Phosphore total (kg) |
|-----------------|----------------------|------------|------------|------------|-------------------------|
| Janvier | 7,925 E+01 | 5,037 E+00 | 6,716 E+01 | 4,701 E+01 | 2,552 E+00 |
| Février | 7,959 E+01 | 1,375 E+01 | 1,117 E+02 | 1,220 E+02 | 2,527 E+00 |
| Mars | 6,795 E+01 | 1,148 E+01 | 8,804 E+01 | 5,359 E+01 | 3,158 E+00 |
| Avril | 6,674 E+01 | 8,799 E+00 | 7,940 E+01 | 4,721 E+01 | 4,507 E+00 |
| Mai | 4,285 E+01 | 6,468 E+00 | 5,013 E+01 | 1,940 E+01 | 2,264 E+00 |
| Juin | 8,566 E+01 | 7,740 E+00 | 7,998 E+01 | 4,902 E+01 | 5,392 E+00 |
| Juillet | 3,606 E+01 | 4,917 E+00 | 6,392 E+01 | 4,261 E+01 | 3,229 E+00 |
| Août | 2,551 E+01 | 4,476 E+00 | 4,774 E+01 | 2,089 E+01 | 2,238 E+00 |
| Septembre | 5,104 E+01 | 4,830 E+00 | 4,830 E+01 | 3,059 E+01 | 1,900 E+00 |
| Octobre | 6,769 E+01 | 3,022 E+00 | 4,533 E+01 | 2,418 E+01 | 1,496 E+00 |
| Novembre | 1,094 E+02 | 6,198 E+00 | 8,057 E+01 | 4,029 E+01 | 3,254 E+00 |
| Décembre | 9,139 E+01 | 1,680 E+00 | 6,552 E+01 | 4,032 E+01 | 2,180 E+00 |
| TOTAL ANNUEL | 8,03 E+02 | 7,84 E+01 | 8,28 E+02 | 5,37 E+02 | 3,47 E+01 |

ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets d'effluents liquides chimiques de l'année 2022 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2022.

| Paramètres | Unité | 2020 | 2021 | 2022 | Prévisionnel 2022 |
|-----------------|-------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Azote global | kg | 8,06 E+02 | 1,11 E+03 | 8,03 E+02 | 1,10 E+03 |
| DBO5 | kg | 6,73 E+01 | 9,44 E+01 | 7,84 E+01 | 1 |
| DCO | kg | 6,15 E+02 | 8,08 E+02 | 8,28 E+02 | 1 |
| MES | kg | 2,29 E+02 | 4,16 E+02 | 5,37 E+02 | 1 |
| Phosphore total | kg | 3,54 E+01 | 4,11 E+01 | 3,47 E+01 | 4,50 E+1 |

<u>Commentaires</u>: Les quantités de substances chimiques rejetées sont globalement conformes à l'attendu et notamment au prévisionnel de prélèvements et de consommations d'eau et de rejets établi par le CNPE de Paluel à partir de la programmation des activités d'exploitation prévues pour l'année 2022.

Pour ce qui concerne l'azote globale, l'optimisation du traitement biologique des eaux usées réalisée a permis de diminuer les quantités rejetées en sortie de station d'épuration.

iii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n°2019-DC-0677.

| Paramètres | Limites de rejet Concentration maximale avant rejet (mg/l) | Rejet effectif Valeur maximale mesurée (mg/l) | Limites de rejet Flux 24h (kg) | Rejet effectif Valeur maximal calculée Flux 24h (kg) | Limites de rejet Flux annuel ajouté (kg) | Rejet effectif Flux annuel ajouté (kg) |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|
| Azote global | / | 1 | 4,00 E+01 | 4,45 E+00 | 1 | 8,03 E+02 |
| DBO5 | 1,00 E+02 | 8,00 E+00 | 9,40 E+00 | 5,86 E-01 | 1 | 7,84 E+01 |
| DCO | 3,00 E+02 | 6,50 E+01 | 2,83 E+01 | 5,29 E+00 | / | 8,28 E+02 |
| MES | 1,00 E+02 | 7,10 E+01 | 9,40 E+00 | 4,12 E+00 | / | 5,37 E+02 |
| Phosphore total | 1 | / | 1,26 E+00 | 3,00 E-01 | / | 3,47 E+01 |

Commentaires: Les valeurs respectent les valeurs limites de rejet.

3. Principales opérations de maintenance intervenues sur les équipements et ouvrages de rejets liquides

L'année 2022 n'a pas été concernée par des actions de maintenance (hors maintenance programmée) et aucune intervention ou opération de maintenance anticipée n'ont été nécessaires.

4. Opérations exceptionnelles de rejets d'effluents liquides

Le CNPE de Paluel n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de rejet d'effluents liquides chimiques en 2022.

III. Rejets thermiques

Dans un CNPE, le fluide « eau-vapeur » du circuit secondaire suit un cycle thermodynamique au cours duquel il échange de l'énergie thermique avec deux sources de chaleur, l'une chaude, l'autre froide.

Le circuit assurant le refroidissement du condenseur (circuit tertiaire) constitue la source froide dont la température varie entre 0 °C et 30 °C environ. La source froide, nécessaire au fonctionnement, peut être apportée :

- soit directement par l'eau prélevée en rivière ou en mer dans un circuit dit ouvert,
- soit indirectement par l'air ambiant au moyen d'un aéroréfrigérant dans un circuit dit fermé.

Lorsque le CNPE est situé sur un cours d'eau à grand débit, en bord de mer ou sur un estuaire, l'eau prélevée à l'aide de pompes de circulation passe dans les nombreux tubes du condenseur où elle s'échauffe avant d'être restituée intégralement au milieu aquatique.

L'échauffement de l'eau (écart de température entre la sortie et l'entrée : $\Delta T^{\circ}C$) est lié à la puissance thermique (Pth) à évacuer au condenseur et du débit d'eau brute au condenseur (Q).

Afin de réduire le volume d'eau prélevée et limiter l'échauffement du milieu aquatique, le refroidissement des CNPE implantés sur des cours d'eau à faible ou moyen débit est assuré en circuit fermé au moyen d'aéroréfrigérants. Dans un aéroréfrigérant, une grande part de la chaleur extraite du condenseur est transférée directement à l'atmosphère sous forme de chaleur latente de vaporisation (75 %) et sous forme de chaleur sensible (25 %). Le reste de la chaleur est rejeté au cours d'eau par la purge. La purge de l'aéroréfrigérant constitue donc le rejet thermique de l'installation.

Les contrôles destinés à s'assurer du respect des limites réglementaires s'appuient sur des mesures de températures réalisées dans le rejet et dans l'environnement ou sur des calculs effectués à partir de paramètres physiques tels que le rendement thermodynamique, l'énergie électrique produite, les débits de rejet et du cours d'eau.

1. En conditions climatiques normales

Les rejets thermiques issus du circuit de refroidissement du CNPE de Paluel et des différents circuits secondaires nécessaires à son fonctionnement doivent respecter les limites fixées dans la décision ASN n°2019-DC-676 et n°2019-DC-677.

Le CNPE de Paluel réalise en continu des mesures de températures dans les puits de rejet. Ces mesures représentatives des températures des eaux de refroidissement en sortie des galeries de rejet sont complétées d'une mesure de température réalisée quotidiennement en entrée des condenseurs.

Un suivi des rejets thermiques est réalisé conformément aux autorisations de rejet en vigueur dans lesquelles les limites suivantes sont prescrites.

 Le respect d'un écart maximum de 15°C entre la température du rejet et de la température du milieu

- Le respect d'une température maximale de 30°C en sortie des galeries de rejet de novembre à mai, et de 35°C de juin à octobre,
- Le respect d'une température maximale de 30 °C au-delà d'un rayon de 50 m autour des points de rejet,
- Dans le cas de situations exceptionnelles (exploitation ou colmatage), l'échauffement entre la prise et le rejet peut aller jusqu'à 21 °C dans la limite de 20 jours autorisés par an.

Le bilan des valeurs mensuelles de ces différents paramètres pour l'année 2022 sont présentés dans le tableau suivant :

| | Température | Echauffement | Echauffement | Température | Température |
|-----------|--------------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| | moyenne à la prise | moyen dans | maximum dans | moyenne dans | maximum |
| | d'eau (entrée | les puits de | les puits de | les puits de | dans les puits |
| | condenseur) (°C) | rejet (°C) | rejet (°C) | rejet (°C) | de rejet (°C) |
| Janvier | 9,8 | 10,8 | 13,0 | 19,3 | 22,6 |
| Février | 9,4 | 11,1 | 12,1 | 18,6 | 21,7 |
| Mars | 10,0 | 11,5 | 14,3 | 19,4 | 24,5 |
| Avril | 11,1 | 10,9 | 12,7 | 19,7 | 24,8 |
| Mai | 14,6 | 11,8 | 15,0 | 24,4 | 30,6 |
| Juin | 17,8 | 11,2 | 12,6 | 27,0 | 31,1 |
| Juillet | 20,7 | 11,6 | 14,7 | 28,0 | 36,3 |
| Août | 22,1 | 11,3 | 12,3 | 30,0 | 34,9 |
| Septembre | 20,6 | 10,8 | 11,8 | 26,8 | 33,4 |
| Octobre | 17,7 | 11,0 | 12,0 | 25,3 | 29,8 |
| Novembre | 14,9 | 10,6 | 11,5 | 23,4 | 28,3 |
| Décembre | 10,7 | 10,1 | 11,2 | 18,6 | 22,8 |

2. Comparaison aux limites

Les rejets thermiques doivent respecter les limites fixées à l'article EDF-PAL-99 de la décision ASN n°2019-DC-0676. Les limites définies sont accompagnées des modalités de l'article EDF-PAL-77 de la décision ASN n° 2019-DC-0677.

| Paramètres | Unité | Limite en vigueur | Valeurs maximales |
|---------------------------|-------|-------------------|-------------------|
| Température du rejet 1 | °C | 35 | 36.3 |
| Echauffement ² | °C | 15 | 15,0 |

¹ La température de l'eau de mer, à la sortie des galeries de rejets, peut dépasser 30°C, durant les mois de juin à octobre, sans jamais dépasser 35°C, hors situations exceptionnelles.

<u>Commentaires</u>: La température Maximale retenue pour le mois de juillet est de 36,3°C. En effet, l'arrêt fortuit d'une pompe de circulation d'eau de mer (CRF) survenue le 22/07/2022 sur la tranche 1 alors en pleine puissance a occasionné un échauffement complémentaire de la température de l'eau de mer mesurée dans le puits de rejet qui a atteint pendant 2 heures une

L'échauffement entre la température de l'eau au niveau de la prise d'eau et celle au niveau du rejet ne doit pas dépasser 15°C. Dans le cas de situations exceptionnelles, l'échauffement peut aller jusqu'à 21°C. Ces situations ne doivent pas se produire plus de 20 jours par an.

valeur supérieure à 35°C. Pour rappel, la température maximale autorisée sur la période de juin à octobre est de 35°C, sauf dans les conditions exceptionnelles d'exploitation durant lesquelles un dépassement est autorisé au maximum 20 jours par an dans la limite d'un échauffement de 21°C. L'échauffement survenu durant 2 heures le 22/07/2022 (de 5h à 7h) sur la tranche 1 a été comptabilisé au titre des conditions exceptionnelles d'exploitation.

3. En conditions climatiques exceptionnelles

Le CNPE n'est pas soumis à l'utilisation des limites en conditions climatiques exceptionnelles

4. Principales opérations de maintenance intervenues sur les équipements et ouvrages de rejets thermiques

L'année 2022 n'a pas été concernée par des actions de maintenance (hors maintenance programmée) et aucune intervention ou opération de maintenance anticipée n'ont été nécessaires.

Partie VI - Surveillance de l'environnement

I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement

EDF met en place depuis la mise en service de chaque CNPE un programme de surveillance de la radioactivité dans l'environnement du CNPE. Cette surveillance consiste à prélever des échantillons, à des fins d'analyse, dans les écosystèmes proches du CNPE, sous et hors des vents dominants, en amont et en aval des rejets liquides et dans les eaux souterraines. Ces mesures, associées à un contrôle strict des rejets d'effluents radiologiques, permettent de s'assurer de l'absence d'impact sur l'homme et l'environnement comme démontré dans l'étude d'impact.

La surveillance radiologique de l'environnement remplit trois fonctions principales.

Une fonction d'alerte assurée au moyen de mesures en continu. Elle permet la détection précoce de toute évolution atypique d'un ou plusieurs paramètres environnementaux en lien avec l'exploitation des installations afin de déclencher les investigations et, si nécessaire, des actions de prévention (arrêt du rejet...);

Une fonction de contrôle du bon fonctionnement global des installations au travers des paramètres que la réglementation demande de suivre à différentes fréquences. Les résultats des analyses sont comparés, soit aux limites autorisées, soit à des valeurs repères (seuil de détection des appareils de mesure, bruit de fond naturel...);

Une fonction de suivi et d'étude visant à s'assurer de l'absence d'impact à long terme des prélèvements et des rejets sur les écosystèmes terrestre et aquatique. C'est l'objet des campagnes de mesures saisonnières de radioécologie.

Les prélèvements et analyses sont réalisés à des fréquences variables en cohérence avec les objectifs assignés à la mesure (alerte, contrôle, ...). Des contrôles quotidiens, hebdomadaires et mensuels sont ainsi réalisés dans l'écosystème terrestre, l'air ambiant, les eaux de surface recevant les rejets liquides et les eaux souterraines. Les prélèvements et les analyses sont réalisés par le CNPE selon les modalités fixées par les autorisations délivrées par l'administration. La stricte application du programme de surveillance fait l'objet d'inspections programmés ou inopinés de la part de l'ASN, qui réalise des expertises indépendantes.

Le CNPE dispose pour la réalisation de ce programme de surveillance d'un laboratoire dédié aux mesures environnementales dit laboratoire « Environnement », ainsi que du personnel compétent et qualifié en analyses chimiques et radiochimiques. Ces laboratoires sont équipés d'appareillages spécifiques permettant l'analyse des échantillons prélevés dans le milieu naturel. Ils sont soumis à des exigences relatives aux équipements, aux techniques de prélèvement et de mesure, de maintenance et d'étalonnage. Certaines analyses peuvent être sous-traitées à des laboratoires agréés.

Ainsi, le CNPE réalise annuellement, sous le contrôle de l'ASN, plusieurs milliers d'analyses dont les résultats sont transmis à l'administration et publiés par EDF sur le site internet du CNPE (https://www.edf.fr/la-centrale-nucleaire-de-paluel/l-exploitation-de-la-centrale-nucleaire-de-paluel). Les résultats des mesures de radioactivité réalisées dans le cadre de la surveillance réglementaire de l'environnement sont également accessibles en ligne gratuitement sur le site internet du Réseau National de Mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM - http://www.mesure-radioactivite.fr).

Ces mesures réalisées en routine sont complétées depuis 1992 par un suivi radioécologique annuel des écosystèmes terrestre et aquatique auquel est venu s'ajouter des mesures réglementaires réalisées à maille trimestrielle et annuelle et nécessitant le recours à des techniques analytiques d'expertise non compatibles avec les activités d'un laboratoire environnement d'un industriel. Tous les 10 ans, un bilan radioécologique décennal plus poussé est également réalisé. L'ensemble de ces prélèvements et analyses permettent de suivre à travers une grande variété d'analyses des paramètres environnementaux pertinents (i.e. : bio indicateurs) afin d'évaluer finement et dans la durée l'impact du fonctionnement du CNPE sur l'environnement et répondre ainsi à la fonction de suivi et d'étude. Ces études nécessitent des connaissances scientifiques approfondies de la biologie et des comportements des écosystèmes vis-à-vis des substances radioactives. Elles font aussi appel à des techniques de prélèvement d'échantillons et d'analyse complexes différentes de celles utilisées pour la surveillance de routine. Ces études sont donc confiées à des laboratoires externes qualifiés, agréés et reconnus pour leurs compétences spécifiques.

Ces études radioécologiques assurent un suivi long terme essentiel à la compréhension des mécanismes de transfert des radionucléides dans l'environnement et pour déterminer l'influence potentielle des rejets de l'installation au regard des autres sources de radioactivité naturelle et/ou artificielle.

La nature des échantillons et les lieux de prélèvement sont sélectionnés afin de mettre en évidence une éventuelle contribution des rejets d'effluents liquides et/ou atmosphériques des installations à l'ajout de radioactivité dans l'environnement.

En règle générale, le plan d'échantillonnage contient des échantillons biologiques, qui constituent des voies de transfert possibles, directes ou indirectes, de la radioactivité vers l'homme (prélèvements de légumes, fruits, poissons, lait, eaux, herbes...) et des échantillons, appelés bioindicateurs, qui sont connus pour leur aptitude à fixer spécifiquement certains polluants (lichens, mousses, bryophytes...). Le plan d'échantillonnage prévoit également des prélèvements dans des matrices dites « d'accumulation » (sols, sédiments), dans lesquels certains composants radiologiques peuvent rester piégés.

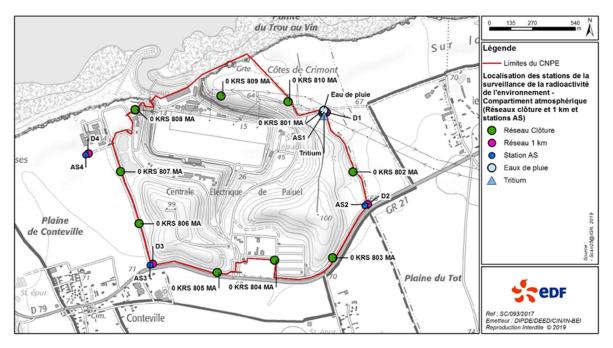
Les stations de prélèvements sont choisies en fonction de la rose des vents locale, des conditions hydrologiques, de la répartition de la population et de la disponibilité des échantillons dans l'environnement du CNPE. Les prélèvements collectés dans l'environnement terrestre sont répartis en distinguant les zones potentiellement influencées des zones non influencées par les rejets atmosphériques du CNPE. Dans l'environnement aquatique, les prélèvements sont effectués en amont et en aval des points de rejets des effluents liquides en tenant compte de la présence éventuelle d'une autre installation nucléaire en amont.

Ces études radioécologiques ont permis de caractériser finement les niveaux de radioactivité d'origine naturelle et artificielle dans les différents compartiments de l'environnement autour du CNPE, et de préciser l'influence des rejets d'effluents liquides et à l'atmosphère. Les données collectées depuis plusieurs décennies ont montré que la radioactivité naturelle constitue la principale composante de la radioactivité dans l'environnement, et que la radioactivité artificielle provient majoritairement d'une rémanence des retombées des essais nucléaires atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl. Du fait de l'éloignement de ces événements anciens et des efforts réalisés par EDF pour diminuer les

rejets de ses installations nucléaires, le niveau de radioactivité dans l'environnement à proximité du CNPE a considérablement diminué depuis une vingtaine d'année.

1. Surveillance de la radioactivité ambiante

Le système de surveillance de la radioactivité ambiante s'articule autour de 4 réseaux de balises radiamétriques (clôture, à 1 km, à 5 km et à 10 km) via la mesure en continu du débit de dose gamma ambiant. Les balises de chaque réseau sont implantées à intervalle régulier de façon à réaliser des mesures dans toutes les directions. Elles permettent l'enregistrement et la retransmission en continu du débit de dose gamma ambiant et de donner l'alerte en cas de dépassement du bruit de fond ambiant augmenté de 114 nSv/h. Les balises sont également équipées d'un système d'alarme signalant toute interruption de leur fonctionnement.



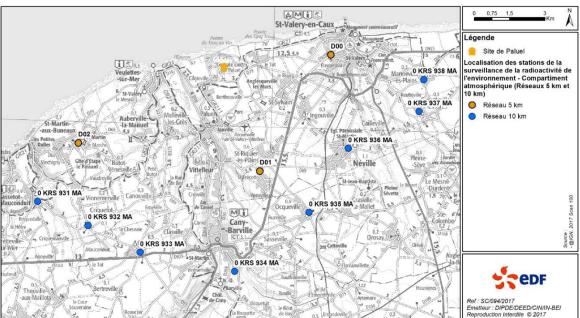


Figure 2 : Cartes de répartition des balises radiamétriques du CNPE de Paluel

Les informations (débits de dose et états de fonctionnement) issues des balises sont envoyées en continu vers un centralisateur qui permet la visualisation et l'enregistrement des données. Les débits de dose moyens enregistrés par les différents réseaux de mesure pour l'année 2022 sont présentés dans le tableau suivant. Les débits de dose maximaux et les données relatives aux années antérieures sont également présentés à titre de comparaison.

| Réseau de mesure | Débit de dose moyen année 2022 (nSv/h) | Débit de dose max année 2022 (nSv/h) | Débit de dose moyen année 2021 (nSv/h) | Débit de dose moyen année 2020 (nSv/h) |
|---------------------|--|--|--|--|
| Clôture | 8,28 E+01 | 2,64 E+03 | 8,36 E+01 | 8,49 E+01 |
| 1 km | 8,02 E+01 | 5,59 E+02 | 8,19 E+01 | 8,61 E+01 |
| 5 km | 9,06 E+01 | 1,75 E+02 | 8,98 E+01 | 8,98 E+01 |
| 10 km | 9,79 E+01 | 1,61 E+02 | 9,75 E+01 | 9,81 E+01 |

<u>Commentaires</u>: Pour les quatre réseaux, les débits de dose moyens enregistrés pour l'année 2022 sont de l'ordre de grandeur du bruit de fond et cohérents avec les résultats des années antérieures. Les valeurs maximales observées coïncident avec de fortes variations climatiques ou avec le passage de transports de matières radioactives à proximité des dispositifs de mesure.

2. Surveillance du compartiment atmosphérique

Quatre stations d'aspiration en continu des poussières atmosphériques (aérosols) sont implantées dans un rayon de 1 km autour du CNPE. Des analyses journalières de l'activité bêta globale à J+6 sont réalisées quotidiennement sur les filtres, ainsi qu'une analyse isotopique mensuelle par spectrométrie gamma sur regroupement des filtres quotidiens par station.

Un dispositif de prélèvement du tritium atmosphérique par barbotage est également implanté sous les vents dominants à la station dite AS1. L'analyse du tritium atmosphérique piégé est réalisée pour chacune des périodes définies réglementairement (du 1er au 7, du 8 au 14, du 15 au 21 et du 22 à la fin du mois).

Un dispositif de prélèvement des eaux de pluie par un collecteur de précipitations est implanté sous les vents dominants à la station AS1. Des analyses bimensuelles des activités bêta globale et tritium sont réalisées.

Les résultats des mesures réalisées sur le compartiment atmosphérique pour l'année 2022 sont donnés dans le tableau suivant.

| Compartiment | Paramètres | | Moyenne annuelle | Valeur maximale mesurée | Limite réglementaire (pour chaque analyse) |
|----------------|------------------------|-------------------|----------------------------------|----------------------------------|---|
| | Bêta globa | ıle | < 4,58 E-04 Bq/m³ | 1,98 E-3 Bq/m ³ | |
| | | ⁵⁸ Co | < 6,38 E-06 Bq/m³ | <8,01 E-06 Bq/m ³ | |
| Poussières | | ⁶⁰ Co | < 4,75 E-06 Bq/Nm3 | < 5,76 E-06 Bq/Nm3 | |
| atmosphériques | Spectrométrie gamma | ¹³⁴ Cs | < 4,40 E-06 Bq/Nm3 | < 5,17 E-06 Bq/Nm3 | |
| | | ¹³⁷ Cs | < 3,96 E-06 Bq/Nm3 | < 4,69 E-06 Bq/Nm3 | |
| | | ⁴⁰ K | < 9,41 E-05 Bq/Nm3 | <1,09 E-04 Bq/Nm3 | |
| Tritium a | Tritium atmosphérique | | < 1,58 E-01 Bq/m ³ | < 2,12 E-01 Bq/m ³ | 50 Bq/m ³ |
| | Bêta globale | | < 1,12 E-01 Bq/L | 1,81 E-01 Bq/L | - |
| Eau de pluie | Tritium | Tritium | | 1,47 E+00 Bq/L | - |
| | Potassium | | 4,40 E-01 mg/L | 2,00 E-00 mg/L | |

<u>Commentaires</u>: Les mesures de surveillance du compartiment atmosphérique pour l'année 2022 sont cohérentes en moyenne avec les valeurs du bruit de fond. Les mesures de l'activité bêta globale et de l'activité en tritium atmosphérique sont très inférieures aux limites réglementaires.

3. Surveillance du milieu terrestre

Les résultats des mesures réalisées sur le compartiment terrestre pour l'année 2022 sont donnés dans le tableau suivant.

| Nature du prélèvement | Radionucléide | | Périodicité | Moyenne annuelle | Valeur maximale mesurée |
|--|---------------------------------|-------------------|-------------|---------------------|-------------------------------|
| | | ⁵⁸ Co | | < 5,27E-01 | < 6,18E-01 |
| | Spectrométrie | ⁶⁰ Co | | < 5,59E-01 | < 5,77E-01 |
| | yégétaux terrestres (Bq/kg sec) | ¹³⁴ Cs | Mensuelle | < 4,53E-01 | < 4,76E-01 |
| Végétaux | | ¹³⁷ Cs | | < 4,68E-01 | < 4,88E-01 |
| terrestres | | ⁴⁰ K | | 1,05E+03 | 1,51E+03 |
| (Bq/kg sec) | | ⁵⁸ Co | | < 5,27E-01 | < 6,09E-01 |
| Spectrométrie gamma hors influence | ⁶⁰ Co | | < 5,66E-01 | < 6,40E-01 | |
| | • | ¹³⁴ Cs | | < 4,47E-01 | < 4,83E-01 |
| | ninaciico | ¹³⁷ Cs | | < 4,60E-01 | < 5,00E-01 |

| Nature du prélèvement | Radionucléide | | Périodicité | Moyenne annuelle | Valeur maximale mesurée |
|--------------------------|-----------------------------|-------------------|-------------|---------------------|-------------------------------|
| | | ⁴⁰ K | | 1,12E+03 | 1,39E+03 |
| | | ⁵⁸ Co | Mensuelle | < 1,23E-01 | < 1,61E-01 |
| 1 -:4 | Spectrométrie | ⁶⁰ Co | | < 1,45E-01 | < 1,77E-01 |
| | (Bq/L) gamma sous influence | ¹³⁴ Cs | | < 1,35E-01 | < 1,62E-01 |
| (Bq/L) | | ¹³⁷ Cs | | < 1,35E-01 | < 1,53E-01 |
| | | ⁴⁰ K | | 5,11E+01 | 5,75E+01 |

Commentaires:

Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment terrestre ainsi que leur interprétation pour l'année 2021 sont présentés dans le rapport du suivi radioécologique annuel, présenté en **annexe 1**.

4. Surveillance des eaux de surface

Les résultats des mesures réalisées sur les eaux de surface pour l'année 2022 sont donnés dans le tableau suivant.

| | Paramètre analysé | Périodicité | Unités | Moyenne annuelle | Valeur maximale mesurée |
|---|--------------------------------|--------------------------------|-----------|---------------------|-------------------------------|
| | Activité bêta | Bi-mensuelle Sous influence | Bq/L | 1,19 E+01 | 1,25 E+01 |
| | globale | mensuelle Hors influence | Bq/L | 1,18 E+01 | 1,29 E+01 |
| F 6144 - | Tritium | Bi-mensuelle Sous influence | Bq/L | < 1,03 E+01 | 3,08 E+01 |
| Eau filtrée | muum | mensuelle Hors influence | Bq/L | <6 ,41 E+00 | 9,10 E+01 |
| | Potassium | Bi-mensuelle Sous influence | mg/L | 4,08 E+02 | 4,35 E+02 |
| | | mensuelle Hors influence | mg/L | 4,15 E+02 | 4,35 E+02 |
| Matières en suspension Activité bêta globale | Bi-mensuelle Sous influence | Bq/L | 9,47 E-02 | 2,14 E-01 | |
| | | mensuelle Hors influence | Bq/L | 2,81 E-02 | 4,93 E-02 |

<u>Commentaires</u>: L'activité Tritium maximale mesurée dans certains prélèvements d'eau de mer réalisés au niveau du point de rejet est en corrélation avec l'activité tritium des réservoirs de type T vidangés durant la même période de prélèvement.

Il est à noter que les activités tritium significatives mesurées sur les prélèvements d'eaux de mer collectés en dehors des périodes de vidange des réservoirs T sont cohérentes avec les valeurs attendues du fait des niveaux d'activités mesurables dans l'eau de mer en Manche.

5. Surveillance du milieu aquatique

Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment aquatique ainsi que leur interprétation pour l'année 2021 sont présentés dans le rapport du suivi radioécologique annuel, présenté en **annexe 1**.

6. Surveillance des eaux souterraines

Les eaux souterraines situées au droit du CNPE font l'objet d'une surveillance radiologique dont les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

| Paramètres | Unité | Valeur maximale mesurée |
|--|-------|-------------------------|
| Tritium | Bq/L | <5,34E+00 |
| Bêta global | Bq/L | 1,71E+00 |
| Bêta global des matières en suspension | Bq/L | 6,18E-02 |
| Potassium | mg/L | 4,50 E+01 |

Commentaires: RAS

II. Physico-chimie des eaux souterraines

Une surveillance physico-chimique des eaux souterraines est effectuée sur les paramètres physicochimiques par le biais de prélèvements sur 5 piézomètres du CNPE.

| Paramètres | Unité | Valeur maximale mesurée |
|----------------------|---------|-------------------------|
| рН | - | 9,6 |
| Conductivité | μS / cm | 5,38E+03 |
| Hydrocarbures totaux | | 1,20E-01 |
| DCO | | 6,20E+01 |
| СОТ | mg / I | 3,30E+00 |
| Azote global | g , . | 8,92E+00 |
| Métaux totaux | | 1,85E-01 |
| Sulfates | | 3,09E+02 |

<u>Commentaires</u>: Certains piézomètres sont influencés par l'eau de mer. La charge saline importante contenue dans ces eaux souterraines est à l'origine du caractère plus élevé des concentrations en Conductivité et Sulfates mesurées.

III. Chimie et physico-chimie des eaux de surface

7. Physico-chimie des eaux de surface

Le CNPE fait réaliser par l'IFREMER, au niveau des stations canal d'amenée, rejet et point de référence hors influence des rejets du CNPE, 3 campagnes annuelles (printemps, été et automne) de mesure de certains paramètres physico-chimiques naturellement présents en milieu marin. Les résultats présentés dans le rapport annuel de l'IFREMER, aboutissent aux conclusions suivantes :

En 2022, les paramètres suivis dans le cadre de la surveillance du compartiment pélagique ne présentent pas de profils atypiques. Les différences spatiales entre les points de suivis (et le point Référence en particulier) mettent le plus souvent en évidence un gradient côte-large caractéristique de la variabilité naturelle du milieu à Paluel. Les faits marquants de l'année 2022 sont résumés ci-après.

Les **températures de l'eau de mer** relevées à proximité du CNPE sont supérieures aux médianes historiques sur l'ensemble de la zone et des saisons. Cette année 2022 est l'année la plus chaude sur le territoire métropolitain. Pour Dieppe, avec une température moyenne annuelle de 12,4°C et un écart à la normale 1981-2010 de +1,5°C, l'année 2022 se place au 1er rang. Cette année a été exceptionnellement sèche, marquée par un déficit pluviométrique record de 25 % au plan national.

Les **salinités** relevées au printemps (hors Référence), se distinguent de celles d'été et d'automne par une salinité légèrement plus faible. En effet, une valeur exceptionnelle de 35,65 de salinité est mesurée au point Référence, au printemps, sans explications apparentes. Pour les campagnes d'été et d'automne, celles-ci apparaissent dans la gamme haute des données historiques. Cette particularité est cohérente avec les données Météo France, qui indique un cumul annuel des précipitations à 620 mm, ce qui représente 78% du cumul attendu sur Dieppe.

Pour la 7e année, des mesures d'**oxygène dissous** sont réalisées. Les concentrations relevées sont proches de la valeur de référence attendue en Manche Atlantique et aucun dysfonctionnement (état d'hypoxie ou d'anoxie) n'a été observé sur l'ensemble de la zone d'étude au cours de cette année.

Le suivi 2022 des **sels nutritifs** montre des concentrations relativement élevées au printemps pour tous les éléments azotés, ce qui peut être relié à la non consommation de ces sels nutritifs par le phytoplancton au moment de l'échantillonnage. Les valeurs estivales et automnales de sels nutritifs montrent des niveaux de concentrations légèrement inférieures aux médianes interannuelles pour tous les sels nutritifs. Le cycle saisonnier attendu (Figure B-1) des sels nutritifs est ainsi respecté au printemps et en été, avant d'observer un léger retard dans la reconstitution du stock à l'automne.

Cette année, les valeurs de **Matières en Suspension (MES)** mesurées au point Rejet (au printemps et en été) apparaissent comme exceptionnelles avec respectivement, 121,9mg/L et 148,4mg/L. Hors point Rejet, sur les trois saisons, les valeurs de MES diminuent de la côte vers le large. Ces campagnes se caractérisent par des gammes de valeurs de MES relativement élevées du point de vue historique pour les points Canal et Référence, mais sans présenter de caractère d'exception.

Les résultats de **turbidité** mesurés au printemps et en été sont comparables à ceux de MES; caractérisés par d'importantes valeurs de turbidité au point Rejet. Il en est de même pour les valeurs d'automne qui montrent un profil identique à ceux de MES pour les mêmes périodes. La relation entre la turbidité et la concentration en MES n'est pas toujours évidente à établir, car elle dépend de plusieurs paramètres. En effet, les caractéristiques géométriques et optiques des particules en suspensions sont variables et hétérogènes dans les eaux résiduaires ou pluviales urbaines. Ces paramètres peuvent varier en temps sec selon les heures et les jours et en temps de pluie lors d'évènements pluvieux. Sur les stations plus côtières et donc moins profondes, la remise en suspension de particules du fond, les apports continentaux par les bassins versants ainsi que des biomasses phytoplanctoniques généralement plus élevées, peuvent expliquer ces variations observées le long d'un gradient côte/large.

8. Chimie des eaux de surface

Certaines substances chimiques issues du fonctionnement du CNPE sont recherchées (Ethanolamine, morpholine, hydrazine, agents de surface, haloformes) au niveau des stations nommées Canal d'amenée, Rejet et Référence.

Concernant les concentrations des formes de **trihalométhanes**, cette année, deux valeurs apparaissent supérieures à la LQ (limite de quantification), au point Rejet lors de la campagne d'été et d'automne avec une concentration en tribromométhane de 3,4µg/L et 2,86 µg/L respectivement. Historiquement, seules les valeurs en tribromométhane (bromoforme) ont été supérieures aux limites de détection. Toutes les concentrations de tribromométhane obtenues sur les autres points et également pour les autres saisons sont inférieures à la LQ (< 0,5 µg/L). En tout état de cause, les valeurs de résultats relevés dans le milieu au point rejet restent très inférieurs à la PNEC³ Chronique qui est de 7,86 µg/L.

En conclusion, les données relatives au compartiment hydrologique acquises en 2022 dans le cadre du programme de surveillance écologique du CNPE de Paluel mettent en évidence un échauffement de l'eau aux abords des bouches de Rejet. Cette perturbation thermique reste cependant géographiquement très limitée. Les autres paramètres suivis présentent des valeurs et des variations expliquées par la saisonnalité, l'environnement climatique et géomorphologique.

Ainsi, les rejets du CNPE n'affectent pas de façon générale la distribution et les variations saisonnières des paramètres étudiés autres que la température. Les résultats de la surveillance des paramètres physico-chimiques et chimiques pour l'année 2022 mettent en évidence une variabilité spatio-temporelle cohérente avec celle du milieu naturel. Elle ne peut donc être imputable à l'influence du fonctionnement du CNPE.

IV. Surveillance écologique et halieutique

Chaque année, le CNPE confie la réalisation de la surveillance écologique et halieutique à IFREMER.

³ PNEC = Predicted No Effect Concentration

L'objectif de la surveillance pérenne est de suivre l'évolution naturelle du milieu récepteur et de déceler une évolution anormale de l'écosystème, sur le long terme, qui pourrait être attribuable au fonctionnement du CNPE.

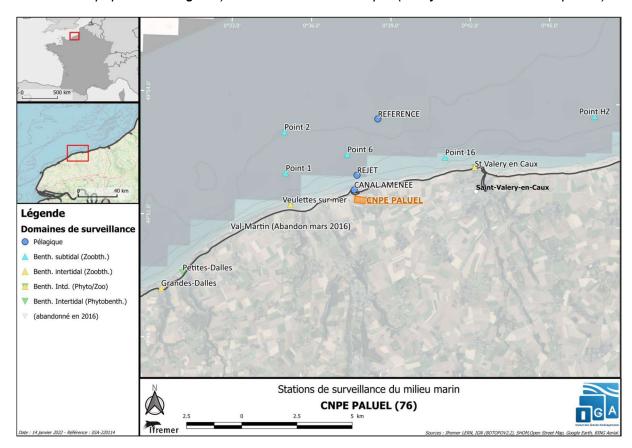
1. Surveillance pérenne

La synthèse du rapport de surveillance, réalisée par IFREMER, est présentée ci-dessous.

La "surveillance écologique et halieutique des CNPE de bord de mer", vise à étudier l'évolution temporelle à moyen et long terme des différents domaines marins (pelagos, benthos et halieutique) et de leurs paramètres associés à une échelle spatiale locale (proche de la centrale et de sa zone d'influence).

Le CNPE de Paluel, à 40 km au sud-ouest de Dieppe (Département Seine Maritime), puise dans le milieu marin les eaux de refroidissement de ses 4 réacteurs à eau sous pression. Pour satisfaire aux exigences de la Décision ASN n° 2019-DC-0677 du 09 juillet 2019 "fixant les prescriptions relatives aux modalités de prélèvement et de consommation d'eau, de rejet d'effluents et de surveillance de l'environnement des installations nucléaires de base" du CNPE, une surveillance écologique du milieu récepteur du CNPE de PALUEL est mise en oeuvre par l'exploitant. Cette surveillance a été initiée il y a 42 ans (en 1978).

La stratégie mise en oeuvre repose sur un suivi saisonnier (printemps, été automne) des différents compartiments du milieu marin. Cette surveillance porte sur le domaine pélagique (paramètres physico-chimiques et chimiques, phytoplanctoniques, microbiologiques (vibrions), zooplanctoniques), le domaine benthique (peuplements de macrofaune intertidale, subtidale et populations algales) et le domaine halieutique (analyse des activités de pêche).



La liste synthétique de tous les paramètres surveillés (échantillons, stations, fréquences) est détaillée ci-dessous.

| Domaine | Compartiment | Paramètre | Lieux de surveillance (Dates campagnes) | | |
|-----------------------------------|-------------------------|---|--|--|--|
| | Hydrologie | Température | | | |
| | Trydrologie | Salinité | | | |
| | | Sels azotés (Ammonium, Nitrates, Nitrites) | 3 stations / 3 points : | | |
| | | Turbidité | Canal d'amenée | | |
| | | Oxygène dissous | (en surface) | | |
| Physico-chimie / | | Phosphates | (cir surface) | | |
| | .00 | Silicates | | | |
| | Chimie ² | Trihalométhanes ou Haloformes (Bromoforme, | Rejet, | | |
| | | Chloroforme, Dibromochlorométhane, | (en surface) | | |
| | | Dichloromonobromométhane) | The second state of the second | | |
| Pélagique | | Matières en suspension | Référence | | |
| relagique | | Composition floristique (Flore Totale) | (en surface) | | |
| | Dhataalaaataa | Biomasse Chlorophyllienne (Chlorophylle a) | | | |
| | Phytoplancton | Phéopigments | | | |
| | L L | Production primaire | | | |
| | | Dénombrement faunistique | Date des campagnes 2022 : | | |
| | 12000 1 V 6000 0000 | Biomasse sestonique | 22 mars 2022 (PRINTEMPS) | | |
| Zooplancton | | Dosage Carbone | 21 juin 2022 (ETE) | | |
| | | Dosage Azote | 19 septembre 2022 (AUTOMNE) | | |
| Micro- organismes ² | Vibrions halophiles | 19 Septembre 2022 (AOTOWINE) | | | |
| | Zoobenthos | Population d'idotées (abondance, biométrie) | <u>3 radiales :</u> Saint-Valéry-en-Caux ; Veulettes/Mer et | | |
| | intertidal ² | 1.00000 | Petites-Dalles 3 | | |
| | micriau | Biomasse algale (Fucus vesiculosus) | 10 mai et 14 juillet 2022 | | |
| | | Macrofaune (abondance) | 5 points entre Veulettes et Veules-les-Roses : | | |
| 1000 1000 100 | Zoobenthos | ivida ordanic (abonidanic) | 2, 6, 16 et HZ | | |
| Benthique | subtidal | Granulométrie | 15-16 juin et 23 septembre 2022 | | |
| | | | 10 10 Juni et 20 septembre 2022 | | |
| | | | 3 radiales : | | |
| | Phytobenthos | Populations de Fucus serratus (biomasse, longueur | Saint-Valéry-en-Caux, Veulettes/Mer | | |
| | intertidal ⁴ | des thalles, fertilité) | Petites Dalles | | |
| | | I I I I I I I I I I I I I I I I I I I | 19 mars et 10 septembre 2022 | | |
| | | Suivis des pêches artisanales : production annuelle | | | |
| Hallandlan. | Dâ _z l | | Fécamp et Dieppe | | |
| Halieutique Pêches | | et mensuelle, nb de navire, CPUE ⁵ , espèces, type | Année 2021 | | |

Dans le domaine du **phytoplancton**, l'année a été caractérisée par des valeurs faibles d'abondance phytoplanctonique au printemps, probablement en lien avec un démarrage plus tardif de la période productive par rapport à la date de campagne. En été, les valeurs de biomasse et d'abondance phytoplanctonique sont élevées. Les conditions de luminosité, température et disponibilité en nutriments étaient favorables au développement du phytoplancton. Les espèces dénombrées sont communément observées sur la zone. Le cycle saisonnier du phytoplancton, ainsi que la structure des communautés phytoplanctoniques observées en 2022 ne présentent pas de caractéristiques pouvant mettre en cause l'activité du CNPE de Paluel. La variabilité spatio-temporelle observée est principalement liée à l'évolution des conditions environnementales (e.g. concentrations en sels nutritifs, lumière, turbulence) et semble cohérente avec les connaissances que nous avons de ces paramètres en Manche.

Dans le domaine de la **Microbiologie**, l'année 2022 se distingue par une augmentation progressive des Vibrions halophiles au cours de l'année. Les abondances les plus fortes sont toutefois relevées sur le point Référence en été (1 000 UFC/L) et en automne (1 300 UFC/L). Ces niveaux élevés observés au point Référence témoignent d'une présence des vibrions

halophiles à grande échelle et excluent une influence éventuelle des activités du CNPE. Ainsi, l'analyse des paramètres du compartiment microbiologique n'a pas mis en évidence de résultats particuliers pouvant être mis en relation avec l'activité du CNPE de Paluel.

En 2022 les **abondances zooplanctoniques** printanières étaient supérieures aux valeurs historiques, probablement en raison d'une campagne d'échantillonnage plus tardive qu'habituellement dans la saison. Lors des deux campagnes suivantes, les abondances des points Canal et Référence étaient conformes aux valeurs moyennes historiques de la série 1988-2020, alors que celles du point Rejet étaient supérieures, particulièrement en été, ce qui n'a pas pu être expliqué au cours de ce suivi. Chacune des espèces zooplanctoniques observées cette année respecte, pour ce que peut montrer cette analyse de trois campagnes annuelles, leur répartition saisonnière habituelle et sont caractéristiques des milieux tempérés de la Manche et de la baie sud de la Mer du Nord. Ainsi, la surveillance 2022 n'a pas permis de déceler de changement notable dans la distribution et la composition zooplanctonique qui puisse être imputable au fonctionnement du CNPE.

Dans le domaine benthique subtidal, la disparition de la moulière, observée entre 1977 et 1988, entraîne une stabilisation de l'évolution sédimentaire à l'ouest de la zone d'étude, situation qui se maintient en 2022. A l'est du site, les fonds sont constitués de sables hétérogènes. Les sédiments de cette zone tendent d'ailleurs à devenir plus grossiers depuis quelques années. Cette évolution sédimentaire va fortement impacter la macrofaune benthique qui s'y développe. Les stations de l'ouest abritaient au début du suivi une moulière subtidale, celle-ci régressant pour laisser place à une communauté dominée par les Ascidies entre 1992 et 2014. Cette communauté s'est maintenue jusqu'en 2015 quand elle a été remplacée par une communauté dominée par les Balanes et les Vers tubicoles Spirobranchus. Cette communauté, même si elle reste la plus diversifiée et la plus densément peuplée en 2022, semble en régression depuis 2020.

Sur l'est du site, deux communautés principales vont alterner en fonction de la nature des fonds. Enfin, à partir de 2015, avec le développement des balanes et des spirobranchus sur l'ensemble du site d'étude, toutes les stations sont largement dominées par la communauté des cailloutis. Enfin, l'intrusion des populations d'Ophiothryx fragilis, ophiure typique des fonds graveleux en Manche à plus de 20 m de profondeur, fréquente sur la station 2, n'est que faiblement observé au printemps 2022 et disparait quasiment durant l'été, comme en 2021.

Les résultats de l'étude démontrent que l'hydrodynamisme, via son influence sur la nature sédimentaire des fonds, est l'élément dominant expliquant l'évolution de la macrofaune benthique sur le site. Au vu des données disponibles, il n'apparait pas d'effet détectable du fonctionnement du CNPE de Paluel sur la nature des fonds ou la faune associée.

En zone intertidale, le petit crustacé isopode Idotea granulosa se trouve dans sa limite méridionale de répartition. A ce titre, il peut être considéré comme un indicateur potentiel de l'influence thermique du rejet du circuit de refroidissement du CNPE. La dégradation des habitats, jugée irrémédiable sur la radiale historique de Veulettes-sur-Mer, a conduit en 2020, à envisager de rapprocher la zone de suivi des idotées de celle des prélèvements du phytobenthos. D'autre part, un nouveau site (Grandes-Dalles) a été prospecté en 2021, en complément de "Petites Dalles" qui s'est révélé inadapté aux critères de surveillance réglementaires.

Comme nous le constatons depuis de nombreuses années, la **population de Fucus serratus** observée en 2022 près du CNPE de Paluel se situe encore dans les niveaux les plus bas observés depuis 1994 quelle que soit la saison. Cette tendance est constatée de façon globale tant sur le site de Paluel qu'à Flamanville et Guissény (Site de référence, hors de proximité d'un CNPE).

Plusieurs hypothèses sont proposées afin d'expliquer cette réduction des populations algales, qui ne se limitent pas aux côtes normandes : réchauffement climatique (hausse des températures de l'air et de l'eau de mer, insolation plus importante lors des marées basses), fréquence des tempêtes, modification de la direction de la houle, multiplication des patelles qui se nourrissent de ces végétaux.

Comme les années précédentes, la population de Fucus serratus de Paluel se distingue en fin d'hiver par des niveaux de fertilité plus faibles comparés aux autres sites suivis. La comparaison des valeurs annuelles enregistrées à Paluel, Flamanville et Guissény confirme qu'il existe des décalages dans la maturation des thalles de Fucus serratus d'un secteur à un autre. Les valeurs 2022 restent conformes au cycle de maturation de Fucus serratus avec des pourcentages en fin d'été supérieurs à ceux observés en fin d'hiver.

La production halieutique (zone 28F0 définie par le CIEM-Conseil International pour l'Exploration de la Mer) en 2021 (année N-1) a été d'environ 2 215 tonnes soit l'une de plus faibles quantités débarquées depuis le début du suivi. L'année 2021 est aussi caractérisée par un niveau de capture par unité d'efforts (CPUE) parmi les plus faibles depuis le début de la série. Cette diminution peut être attribuée en partie aux changements d'activités des professionnels qui pratiquent aujourd'hui le métier des engins dormants. L'activité ces petits bateaux a été particulièrement impactée par des conditions hivernales souvent incompatibles avec une activité en mer. Enfin, les quantités annuelles ainsi que le nombre de navires fréquentant le 28F0 ont légèrement augmenté cette année sans que cela ait eu un effet positif sur les CPUE. Les variations temporelles des données de débarquements mettent en évidence l'apparition d'une nouvelle pêcherie liée à un changement de stratégie d'une partie des professionnels des ports de Dieppe et Fécamp qui ciblent principalement le buccin à partir de 2008. La stratégie de suivi n'a pas mis en évidence de modification significative des débarquements pouvant être en lien avec l'activité du CNPE de Paluel.

En conclusion, la variabilité spatiale et temporelle des paramètres pélagiques, benthiques et halieutiques, suivis dans le cadre de la surveillance règlementaire du CNPE de Paluel en 2022, ne montrent pas d'évolution ou de comportement atypique pouvant être mis en relation directe soit avec le fonctionnement du CNPE, soit avec le contexte hydroclimatique exceptionnellement chaud et sec qui a caractérisé cette année.

Le rapport complet est disponible sur demande auprès du CNPE de Paluel.

2. Surveillance en conditions climatiques exceptionnelles

Les décisions modalités n° 2019-DC-676 et 2019-DC-677 ne prévoient pas de surveillance chimique, physico-chimique, microbiologique et hydrobiologique spécifiques liées à des conditions climatiques exceptionnelles, ni en situations exceptionnelles.

V. Acoustique environnementale

L'arrêté du 7 février 2012 fixe les règles générales applicables à toutes les phases du cycle de vie des installations nucléaire de base visant à garantir la protection des intérêts contre l'ensemble des inconvénients ou des risques que peuvent présenter les INB. Le titre IV sur la maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement fixe deux critères visant à limiter l'impact du bruit des installations nucléaires de base.

Le premier critère, appelé « émergence sonore » et s'exprimant en Décibel A - dB (A) est la différence de niveau sonore entre le niveau de bruit ambiant et le bruit résiduel. L'émergence sonore se calcule à partir de mesures réalisées aux premières habitations, en Zone à Émergence Réglementée (ZER).

Le deuxième critère, en vigueur depuis le 1^{er} juillet 2013, concerne le niveau sonore mesuré en dB (A) en limite d'établissement de l'installation.

Pour répondre à ces exigences réglementaires et dans l'optique de réduire l'impact de ses installations, EDF mène depuis 1999 des études d'impact acoustique basées sur des mesures de longue durée dans l'environnement et sur les matériels. En parallèle, des modélisations 3D sont réalisées pour hiérarchiser les sources sonores les plus prépondérantes, et si nécessaire, définir des objectifs d'insonorisation.

Les principales sources de bruit des installations nucléaires sont généralement les réfrigérants atmosphériques pour les CNPE équipés, les stations de pompage, les salles des machines, les cheminées du bâtiment des auxiliaires nucléaires, et les transformateurs.

La Mission Communication du CNPE de Paluel réalise des informations, met en ligne une information sur son site internet et réalise une communication par messagerie électronique auprès des services de l'Etat, de la CLIN et des mairies de proximités dans un rayon de 10 Km (Mairie de Paluel, Saint Sylvain, Ingouville, Saint Valery en Caux, Cany-Barville), lors de la réalisation d'opérations pouvant générer du bruit, comme par exemple lors de la réalisation de certains essais périodiques sur l'installation.

Partie VII - Évaluation de l'impact environnemental et sanitaire des rejets de l'installation

Une surveillance des niveaux de radioactivité est effectuée dans l'environnement du CNPE de Paluel dans le cadre du programme de surveillance réglementaire et du suivi radioécologique du CNPE (cf. Partie VI Surveillance de l'environnement, I- Surveillance de la radioactivité dans l'environnement).

Les résultats de cette surveillance et des mesures associées montrent que la radioactivité mesurée dans l'environnement du CNPE est principalement d'origine naturelle. Les niveaux de radioactivité artificielle mesurés dans l'environnement du CNPE sont faibles et trouvent pour partie leur origine dans d'autres sources (rejets de l'usine ORANO La Hague, retombées atmosphériques des essais nucléaires, ...). L'analyse détaillée des résultats est présentée dans le rapport du suivi radioécologique annuel réalisé par l'IRSN, présenté en annexe 1.

L'IRSN produit également un bilan radiologique de l'environnement français disponible au lien suivant :

https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports expertise/Documents/environnement/IRSN-ENV Bilan-Radiologique-France-2018-2020.pdf

À partir des activités annuelles rejetées par radionucléide, une dose efficace⁴ est calculée en tenant compte des mécanismes de transfert de l'environnement jusqu'à l'homme. Cette dose permet de « mesurer » le niveau d'exposition attribuable aux rejets d'effluents radioactifs liquides et atmosphériques d'une installation et de le positionner par rapport à la limite réglementaire pour l'exposition de la population aux rayonnements ionisants conformément à l'article R1333-11 du Code de la Santé Publique.

Le calcul de dose efficace annuelle tient compte de données spécifiques à chaque CNPE telles que les conditions météorologiques, les habitudes alimentaires des riverains, les conditions de dispersion des effluents rejetés dans le milieu récepteur, etc. Les données alimentaires et les temps consacrés aux activités intérieures ou extérieures dans les environnements terrestre et aquatique ont été actualisés en 2013-2014 avec les dernières bases de données et enquêtes disponibles.

Les principales hypothèses retenues sont les suivantes :

- les habitants consomment pour partie des aliments produits dans l'environnement proche du CNPE ;
- ils vivent toute l'année à proximité de leur lieu d'habitation (non prise en compte de leurs périodes d'absence pour le travail, les vacances...).

Les principaux facteurs d'incertitudes dans le calcul de dose sont associés essentiellement à quelques données et paramètres difficiles à acquérir sur le terrain, tels que certaines

⁴ La **dose efficace** est la somme des doses absorbées par tous les tissus, pondérée d'un facteur radiologique W_R (W_R = Radiation Weighting factor, facteur de pondération du rayonnement) pour tenir compte de la qualité du rayonnement (α , β , γ ...) et d'un facteur de pondération tissulaire W_T (W_T = Tissu Weighting factor) correspondant à la radiosensibilité relative du tissu exposé. La dose efficace a pour objectif d'apprécier le risque total et s'exprime en sievert (Sv). Elle est appelée communément « **dose**

caractéristiques de l'environnement et comportements précis des populations riveraines (les rations alimentaires par exemple).

L'échelle suivante présente des ordres de grandeur de doses résultant de situations courantes :

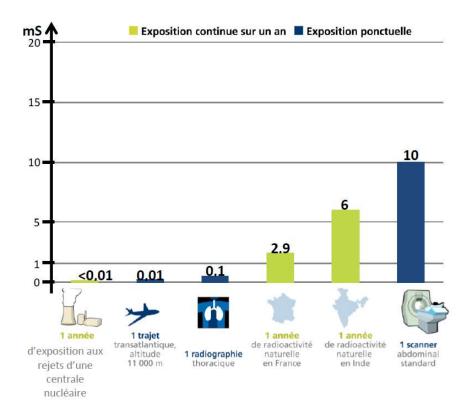


Figure 3 : Echelle des ordres de grandeur de doses résultant de situations courantes et comparaison aux seuils réglementaires (Source : EDF)

L'exposition moyenne de la population française aux rayonnements ionisants (d'origine naturelle et artificielle) est de 4,5 mSv/an. Les contributions des différentes sources d'exposition sont présentées sur la figure 2 ci-après.

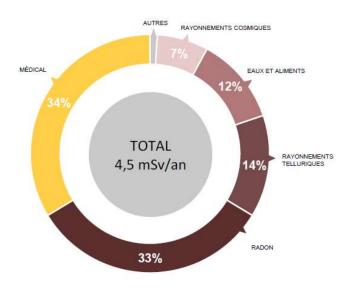


Figure 4 : Part relative des différentes sources d'expositions de la population française aux rayonnements ionisants (Source : Bilan IRSN 2021)

Les tableaux suivants fournissent les valeurs de dose efficace totale calculées à partir des rejets radioactifs réels de l'année 2022 effectués par le CNPE de Paluel, pour la personne représentative. Cette personne représente les individus pouvant recevoir la dose efficace annuelle maximale induite par les rejets d'effluents radioactifs autorisés du CNPE.

| ADULTE | Exposition externe (mSv) | Exposition interne (mSv) | Total (mSv) |
|--------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------|
| Rejets d'effluents à l'atmosphère | 1,6E-06 | 6,9E-05 | 7,1E-05 |
| Rejets d'effluents liquides | 2,0E-04 | 2,5E-04 | 4,6E-04 |
| Total | 2,0E-04 | 3,2E-04 | 5,3E-04 |

| ENFANT DE 10 ANS | Exposition externe (mSv) | Exposition interne (mSv) | Total (mSv) |
|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|
| Rejets d'effluents à l'atmosphère | 1,5E-06 | 7,4E-05 | 7,6E-05 |
| Rejets d'effluents liquides | 6,8E-04 | 1,3E-04 | 8,1E-04 |
| Total | 6,8E-04 | 2,1E-04 | 8,9E-04 |

| ENFANT DE 1 AN | Exposition externe (mSv) | Exposition interne (mSv) | Total (mSv) |
|--------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------|
| Rejets d'effluents à l'atmosphère | 1,5E-06 | 9,6E-05 | 9,8E-05 |
| Rejets liquides | 2,5E-04 | 3,4E-05 | 2,9E-04 |
| Total | 2,6E-04 | 1,3E-04 | 3,9E-04 |

Les valeurs de doses calculées sont inférieures à 1.10-3 mSv/an pour l'adulte, pour l'enfant de 10 ans et pour l'enfant de 1 an.

Les valeurs de doses calculées pour l'adulte, l'enfant de 10 ans et l'enfant de 1 an, attribuables aux rejets d'effluents radioactifs de l'année 2022 sont plus de 1 000 fois inférieures à la limite d'exposition fixée à 1 mSv par an pour la population, par l'article R1333-11 du Code de la Santé Publique. L'ensemble des populations résidant de manière permanente ou temporaire autour du CNPE est exposé à une dose efficace inférieure ou égale à la dose calculée pour la personne représentative, présentée ci-dessus.

Ces résultats sont cohérents avec ceux de l'étude d'impact de l'installation, dont les hypothèses et modalités de calcul restent pertinentes au regard des évolutions scientifiques.

Partie VIII - Gestion des déchets

Comme toute activité industrielle, la production d'électricité d'origine nucléaire génère des déchets, dont des déchets conventionnels et radioactifs à gérer avec la plus grande rigueur.

Responsable légalement, industriellement et financièrement des déchets qu'il produit, EDF a, depuis l'entrée en service de ses premières centrales nucléaires, mis en œuvre des procédés adaptés qui permettent de protéger efficacement l'environnement, les populations, les travailleurs et les générations futures contre les risques associés à ses déchets.

La démarche industrielle repose sur 4 principes :

- limiter les quantités produites et la nocivité des déchets ;
- trier par nature et niveau de radioactivité;
- conditionner et préparer la gestion à long terme ;
- isoler les déchets de l'homme et de l'environnement.

Pour les installations nucléaires de base du CNPE de Paluel, la limitation de la production des déchets se traduit par la réduction, pour atteindre des valeurs aussi basses que possible, du volume et de l'activité des déchets dès la phase d'achat de matériel ou de la prestation, durant la phase de préparation des chantiers et lors de leur réalisation.

Les déchets radioactifs

Les modalités de gestion mises en œuvre visent notamment à ce que les déchets radioactifs n'aient aucune interaction avec les eaux (nappe et cours d'eau) et les sols. Les opérations de tri, de conditionnement, de préparation à l'expédition s'effectuent dans des locaux dédiés et équipés de systèmes de collecte d'effluents éventuels.

Avant de sortir des bâtiments, les déchets radioactifs bénéficient tous d'un conditionnement étanche qui constitue une barrière à la radioactivité et prévient tout transfert dans l'environnement.

Les contrôles réalisés par les experts internes et les pouvoirs publics sont nombreux et menés en continu pour vérifier l'absence de contamination.

Les déchets conditionnés et contrôlés sont ensuite expédiés vers les filières de traitement ou de stockage définitif.

Les mesures prises pour limiter les effets de ces déchets sur la santé comptent parmi les objectifs visés par les dispositions mises en œuvre pour protéger la population et les intervenants des risques de la radioactivité. L'ensemble de ces dispositions constitue la radioprotection. Ainsi, pour protéger les personnes travaillant dans les centrales, et plus particulièrement les équipes chargées de la gestion des déchets radioactifs, des mesures simples sont prises, comme la mise en place d'un ou plusieurs écrans (murs et dalles de béton, parois en plomb, verres spéciaux chargés en plomb, eau des piscines, etc.), dont l'épaisseur est adaptée à la nature du rayonnement du déchet.

Les catégories de déchets radioactifs

Selon la durée de vie des éléments radioactifs contenus et le niveau d'activité radiologique qu'ils présentent, les déchets sont classés en plusieurs catégories. On distingue les déchets « à vie courte » des déchets « à vie longue » en fonction de leur période (une période s'exprime

en années, jours, minutes ou secondes. Elle quantifie le temps au bout duquel l'activité radioactive initiale du déchet est divisée par deux).

Tous les déchets dits « à vie courte » ont une période inférieure ou égale à 31 ans. Ils bénéficient de solutions de gestion industrielles définitives dans les centres spécialisés de l'Andra situés dans l'Aube à Morvilliers (déchets de très faible activité, TFA) ou Soulaines (déchets de faible à moyenne activité à vie courte, FMAVC).

Ces déchets proviennent essentiellement :

- des systèmes de filtration (épuration du circuit primaire : filtres, résines, concentrats, boues...);
- des opérations de maintenance sur matériels : pompes, vannes...
- des opérations d'entretien divers : vinyles, tissus, gants...
- de certains travaux de déconstruction des centrales mises à l'arrêt définitif (gravats, pièces métalliques...).

Le conditionnement des déchets triés consiste à les enfermer dans des emballages ou contenants adaptés pour éviter toute dissémination de la radioactivité. On obtient alors des déchets conditionnés, appelés aussi «colis de déchets». Sur les sites nucléaires, le choix du conditionnement dépend de plusieurs paramètres, notamment du niveau d'activité, des dimensions du déchet, de l'aptitude au compactage, à l'incinération et de la destination du colis. Ainsi, le conditionnement de ces déchets est effectué dans différents types d'emballages : coque ; fût ou caisson métallique ; fût plastique (PEHD : polyéthylène haute densité) pour les déchets destinés à l'incinération dans l'installation Centraco ; big-bag ou casier.

Les progrès constants accomplis, tant au niveau de la conception des centrales que de la gestion du combustible et de l'exploitation des installations, ont déjà permis de réduire les volumes de déchets à vie courte de façon significative. Ainsi, les volumes des déchets d'exploitation ont été divisés par trois depuis 1985, à production électrique équivalente.

Les déchets dits « à vie longue » ont une période supérieure à 31 ans. Ils sont générés :

- par le traitement du combustible nucléaire usé effectué dans l'usine ORANO de la Hague, dans la Manche ;
- par la mise au rebut de certaines pièces métalliques issues des réacteurs ;
- par la déconstruction des centrales d'ancienne génération.

Le remplacement de certains équipements du cœur des réacteurs actuellement en exploitation (« grappes » utilisées pour le réglage de la puissance, fourreaux d'instrumentation, etc.) produit des déchets métalliques assez proches en typologie et en activité des structures d'assemblages de combustible : il s'agit aussi de déchets « de moyenne activité à vie longue » (MAVL) qui sont entreposés dans les piscines de désactivation.

Le traitement des combustibles usés consiste à séparer les matières qui peuvent être valorisées et les déchets. Cette opération est réalisée dans les ateliers spécialisés situés dans l'usine ORANO.

Après une utilisation en réacteur pendant quatre à cinq années, le combustible nucléaire contient encore 96 % d'uranium qui peut être recyclé pour produire de nouveaux assemblages de combustible. Les 4 % restants (les « cendres » de la combustion nucléaire) constituent les déchets ultimes qui sont vitrifiés et coulés dans des conteneurs en acier inoxydable : ce sont des déchets « de haute activité à vie longue (HAVL) ». Les parties métalliques des

assemblages sont compactées et conditionnées dans des conteneurs en acier inoxydable qui sont entreposés dans l'usine précitée : ce sont des déchets « de moyenne activité à vie longue (MAVL) ».

Depuis la mise en service du parc nucléaire d'EDF, et à production énergétique équivalente, l'amélioration continue de l'efficacité énergétique du combustible a permis de réduire de 25 % la quantité de combustible consommée chaque année. Ce gain a permis de réduire dans les mêmes proportions la production de déchets issus des structures métalliques des assemblages de combustible.

La déconstruction produit également des déchets de catégorie similaire. Enfin, les empilements de graphite des anciens réacteurs dont la déconstruction est programmée généreront des déchets « de faible activité à vie longue (FAVL) ».

En ce qui concerne les déchets de haute et moyenne activité « à vie longue », la solution industrielle de gestion à long terme retenue par la loi du 28 juin 2006 est celle du stockage géologique (projet Cigéo, en cours de conception). Les déchets déjà existants sont pour le moment entreposés en toute sûreté sur leur lieu de production dans l'attente de la mise en service de l'installation ICEDA (Installation de Conditionnement et d'Entreposage des Déchets Activés).

Le tableau ci-dessous présente les différentes catégories de déchets, les niveaux d'activité et les conditionnements utilisés.

| Types déchet | Niveau d'activité | Durée de vie | Classification | Conditionnement | |
|---|---|-----------------|--|---|--|
| Filtres d'eau et résines primaires | Faible et Moyenne | | FMA-VC (faible et moyenne activité à vie courte) | Fûts, coques | |
| Filtres d'air | | | | | |
| Résines secondaires Concentrats, boues | | Courte | | | |
| Pièces métalliques | Pièces Très faible, métalliques Faible | | TFA (très faible activité), | Casiers, big-bags, futs, coques, caissons | |
| Matières plastiques, cellulosiques | et Moyenne | et Moyenne | | FMA-VC | |
| Déchets non métalliques (gravats) | Déchets non métalliques (gravats) | | | | |
| Déchets graphite | Faible | | FA-VL (faible activité à vie longue) | Entreposage sur site | |
| Pièces métalliques et autres déchets actives | Moyenne | Longue | MA-VL (moyenne activité à vie longue) | Entreposage sur site (en piscine de refroidissement pour les grappes et autres déchets actives REP) | |

2. Le transport des déchets

Après conditionnement, les colis de déchets peuvent être orientés vers :

- le centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage des déchets de très faible activité (CIRES) exploité par l'Andra et situé à Morvilliers (Aube) ;
- le centre de stockage de l'Aube (CSA) pour les déchets à faible ou moyenne activité exploité par l'Andra et situé à Soulaines (Aube) ;
- l'installation Centraco exploitée par Cyclife France et située à Marcoule (Gard) qui reçoit les déchets destinés à l'incinération et à la fusion. Après traitement, ces déchets sont évacués vers l'un des deux centres exploités par l'Andra.

DE LA CENTRALE AUX CENTRES DE TRAITEMENT ET DE STOCKAGE

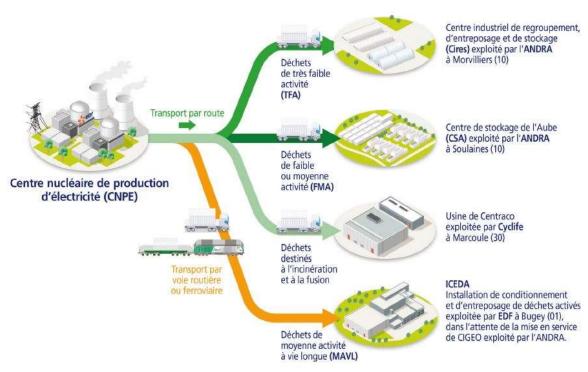


Figure 5 : Transport des déchets radioactifs (Source : EDF)

3. Les quantités de déchets entreposées au 31/12/2022

Le tableau suivant présente les quantités de déchets en attente de conditionnement au 31 décembre 2022 pour les 4 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Paluel.

| Catégorie déchet | Quantité entreposée au 31/12/2022 | Commentaires | | |
|------------------|--------------------------------------|---|--|--|
| TFA | 38 tonnes | Amiante en attente de reconditionnement | | |
| FMAVC (Liquides) | 54,3 tonnes | Effluents du lessivage chimique, huiles, solvants | | |

| Catégorie déchet | Quantité entreposée au 31/12/2022 | Commentaires |
|------------------|-----------------------------------|--|
| FMAVC (Solides) | 59 coques 230 tonnes | Localisation Bâtiment des Auxiliaires Nucléaires (BAN) et Bâtiment Auxiliaires de Conditionnement (BAC) |
| FAVL MAVL | 395 objets bruts 12 carquois | En attente de traitement dans les piscines BK Issus du démantèlement de grappes réalisés en 2022 sur la Tranche 3 |

Le tableau suivant présente les quantités de déchets conditionnés en attente d'expédition au 31 décembre 2022 pour les 4 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Paluel.

| Catégorie déchet | Quantité entreposée au 31/12/2022 | Type d'emballage | | |
|------------------|-----------------------------------|--|--|--|
| TFA | 272 colis | Tous types d'emballage confondus | | |
| FMAVC (Liquides) | 5 citernes | Citerne de concentrats | | |
| FMAVC (Solides) | 65 colis | Coques béton | | |
| | 290 colis | Fûts métalliques CSA, CIRES, PEHD CTO) | | |
| FAVL | 1 | 1 | | |
| MAVL | 1 | 1 | | |

Nota:16 évacuations de combustible usé expédiées en 2022 soit 192 assemblages combustible.

Le tableau suivant présente le nombre de colis évacués et les sites d'entreposage en 2022 pour les 4 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Paluel.

| Site destinataire | Nombre de colis évacués |
|---------------------|-------------------------|
| Cires à Morvilliers | 266 colis |
| CSA à Soulaines | 678 colis |
| Centraco à Marcoule | 1630 colis |

En 2022, 2574 colis ont été évacués vers les différents sites de traitement ou de stockage appropriés (Centraco et Andra).

II. Les déchets non radioactifs

Conformément à l'arrêté INB et à la décision ASN 2015-DC-0508, les INB établissent et gèrent un plan de zonage déchets, qui vise à distinguer :

- les zones à déchets conventionnels (ZDC) d'une part, à l'intérieur desquelles les déchets produits ne sont ni contaminés ou activés ni susceptibles de l'être ;
- les zones à production possible de déchets nucléaires (ZPPDN) d'autre part, à l'intérieur desquelles les déchets produits sont contaminés, activés ou susceptibles de l'être.

Les déchets conventionnels produits par les INB sont ceux issus de ZDC et sont classés en 3 catégories :

- les déchets inertes (DI), qui ne contiennent aucune trace de substances toxiques ou dangereuses, et ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante pour l'environnement (déchets minéraux, verre, déblais, terres et gravats, ...);
- les déchets non dangereux non inertes, qui ne présentent aucune des propriétés qui rendent un déchet dangereux (gants, plastiques, déchets métalliques, papier/carton, caoutchouc, bois, câbles électriques, ...);
- les déchets dangereux (DD) qui contiennent des substances dangereuses ou toxiques, ou sont souillés par de telles substances (accumulateurs au plomb, boues/terres marquées aux hydrocarbures, résines, peintures, piles, néons, déchets inertes et industriels banals souillés, déchets amiantifères, bombes aérosols, ...).

Le tableau ci-dessous présente les quantités de déchets conventionnels produites en 2022 par le CNPE.

| Quantités 2022 en tonnes | Déchets dangereux | | Déchets non dangereux non inertes | | Déchets inertes | | Total | |
|-----------------------------|-------------------|-----------|---|-----------|-----------------|-----------|----------|-----------|
| en tonnes | Produits | Valorisés | Produits | Valorisés | Produits | Valorisés | Produits | Valorisés |
| Exploitation | 188 T | 151 T | 1794 T | 1750 T | 4191 T | 4191 T | 6173 T | 6092T |
| Déconstruction | 1 | / | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | / |

Les déchets conventionnels sont gérés conformément aux principes définis dans la directive cadre sur les déchets :

- réduire leur production et leur dangerosité par une gestion optimisée,
- favoriser le recyclage et la valorisation.

La production de déchets inertes a été conséquente en 2022 du fait d'importants chantiers, en particulier les chantiers de ZPR (clôture), l'aménagement bâtiments tertiaires (rénovation). Les productions de déchets dangereux et de déchets non dangereux non inertes restent relativement stables.

De nombreuses actions sont mises en œuvre par EDF pour en optimiser la gestion, afin notamment d'en limiter les volumes et les effets sur la santé et l'environnement. Parmi celles-ci, peuvent être citées :

 la création en 2006 du Groupe Déchets Economie Circulaire, chargé d'animer la gestion des déchets conventionnels pour l'ensemble des entités d'EDF. Ce groupe, qui s'inscrit dans le cadre du Système de Management Environnemental certifié ISO 14001 d'EDF, est composé de représentants des Divisions/Métiers des différentes Directions productrices de déchets. Ses principales missions consistent à apporter de la cohérence en proposant des règles et outils de référence aux entités productrices de déchets.

- les entités productrices de déchets conventionnels disposent d'un outil informatique qui permet en particulier de maîtriser les inventaires de déchets et leurs voies de gestion,
- la définition depuis 2008 d'un objectif de valorisation pour l'ensemble des déchets valorisables. Cet objectif est actuellement fixé à 90%,
- la prise en compte de la gestion des déchets dans les contrats de gestion des sites,
- la mise en place de structures opérationnelles assurant la coordination et la sensibilisation à la gestion des déchets de l'ensemble des métiers,
- la création de stages de formation spécifiques «gestion des déchets conventionnels»,
- le recensement annuel des actions de prévention de production des déchets.

En 2022, les 4 unités de production du CNPE de Paluel ont produit 6193 tonnes de déchets conventionnels : 98.8 % de ces déchets ont été valorisés ou recyclés.

ABREVIATIONS

- ANDRA Agence Nationale pour la gestion des Déchets RAdioactifs
- ASN Autorité Sûreté Nucléaire
- CNPE Centre Nucléaire de Production d'Électricité
- **COT Carbone Organique Total**
- DBO5 Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours
- DCO Demande Chimique en Oxygène
- DUS Diesel d'Ultime Secours
- EBA Ventilation de balayage en circuit ouvert tranche à l'arrêt
- ESE Évènement Significatif Environnement
- FMA Faible Moyenne Activité
- ICPE Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
- INB Installation Nucléaire de Base
- IRSN Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
- ISO International Standard Organization
- KRT Chaîne de mesure de radioactivité
- MES Matières En Suspension
- PA Produit d'Activation
- PF Produit de Fission
- REX Retour d'Expérience
- SME Système de Management de l'Environnement
- SMP Station Multi Paramètres
- TAC Turbine à Combustion
- TEU Traitement des Effluents Usés
- TFA Très Faible Activité
- THE Très Haute Efficacité
- UFC Unité Formant Colonie

ANNEXE 1 : Suivi radioécologique annuel du CNPE de Paluel Année 2021

Le rapport Suivi radioécologique annuel du CNPE de Paluel pour l'année 2021 rédigé par l'IRSN est fourni en pièce jointe à la suite du présent rapport.



N'imprimez ce document que si vous en avez l'utilité.

EDF SA 22-30, avenue de Wagram 75382 Paris cedex 08 Capital de 1 525 484 813 euros 552 081 317 R.C.S. Paris www.edf.fr

EDF CNPE de Paluel BP48 – 76450 CANY BARVILLE Numéro de téléphone 02.35.57.66.66



LISTE DES PIECES JOINTES

Annexe 1 - Suivi radioécologique annuel des CNPE de la Manche et de la Mer du Nord pour l'année 2021 (IRSN). Parties du rapport relatives au CNPE de Paluel.





RAPPORT

SUIVI RADIOÉCOLOGIQUE ANNUEL DES CNPE DE LA MANCHE ET DE LA MER DU NORD

ANNÉE 2021

Pôle Santé et Environnement

Rapport IRSN N° 2022-00811



Rapport IRSN N° 2022-00811



RÉSUMÉ

L'objectif du suivi radioécologique des CNPE de la Manche et de la Mer du Nord est de caractériser les niveaux de radioactivité dans l'environnement proche de ces sites dans quelques matrices représentatives des compartiments terrestre et marin. Il s'agit d'identifier les sources, passées ou présentes, à l'origine de la présence des radionucléides mesurés dans l'environnement des sites et d'analyser l'évolution temporelle de leurs activités dans les matrices.

Pour le compartiment terrestre, le ¹³⁷Cs est détecté dans la plupart des échantillons prélevés (18 fois sur 34), à des niveaux comparables à ceux des années précédentes. Ce radionucléide artificiel est issu des retombées des essais aériens d'armes nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. En 2021, les activités en ¹³¹I dans les mousses terrestres sont restées inférieures aux seuils de décision. Les activités du tritium en milieu terrestre sont globalement comparables à celles mesurables en dehors de tout apport local par une installation. Néanmoins, dans l'environnement des CNPE de Flamanville, Paluel, et Gravelines, on mesure un apport local en tritium libre et/ou en tritium organiquement lié dans l'herbe et la salade (Paluel) ou le lierre (Flamanville et Gravelines) échantillonnés à proximité immédiate de ces CNPE (moins de 2 km). Les activités en ¹⁴C en milieu terrestre sont comparables à celles mesurables en dehors de tout apport local par une installation, ou témoignent d'un apport local pour la salade à proximité du CNPE de Paluel (1,6 km du CNPE), le lait à proximité du CNPE de Flamanville (4,8 km du CNPE), et le lierre à proximité du CNPE de Penly (1,2 km du CNPE), sans que la contribution des rejets du site ne soit démontrée pour le lait et la salade (pas de mesures hors vents), hormis pour une partie des mesures trimestrielles effectuées dans l'herbe (dans l'environnement du CNPE de Penly) et le lierre (CNPE de Gravelines).

Pour le compartiment marin, le 137Cs, détecté dans la plupart des matrices marines à l'exception d'unéchantillon de mollusques et de cinq échantillons de crustacés, à des niveaux comparables à ceux des années précédentes, est vraisemblablement issu des rejets d'effluents liquides de l'usine de traitement du combustible usé ORANO La Hague, ainsi que dans une moindre mesure, des rejets d'effluents liquides des CNPE côtiers et des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. On observe également un marquage de l'environnement marin des CNPE de Flamanville, Paluel, Penly et Gravelines par le 60Co, le 108mAg, le 110mAg, le 106Ru/Rh, le 241Am, et le ¹³¹I, qui ont pour la plupart une double origine (communs aux rejets d'effluents liquides des CNPE et de l'usine de retraitement du combustible usé ORANO La Hague, hormis pour le ²⁴¹Am et le ¹⁰⁶Ru/Rh, présents uniquement dans les rejets d'ORANO La Hague, et le 108mAg, dont l'origine est incertaine). En 2021, les activités en 131 sont restées inférieures aux seuils de décision dans les algues dans l'environnement des CNPE de la Manche et de la Mer du Nord, hormis dans le port de Dieppe en champ lointain du CNPE de Penly. En 2021, les activités en tritium libre et/ou en tritium organiquement lié dans les sédiments, les algues, les crustacés, les mollusques et les poissons sont globalement cohérentes avec les valeurs mesurées les années précédentes et attendues du fait des niveaux d'activités mesurables dans l'eau de mer en Manche et majoritairement imputables à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague, mais témoignent toutefois d'un marquage en tritium en champ proche des CNPE de Flamanville, Paluel et Penly par rapport aux échantillons prélevés en champ lointain de ces CNPE pour 5 des 41 échantillons. Les activités en ¹⁴C quantifiées au sein des sédiments, des algues, des mollusques, des crustacés et des poissons sont globalement supérieures au bruit de fond hors influence industrielle, mais cohérentes avec les valeurs moyennes enregistrées par le passé du fait du marquage global par les INB de la Manche, et notamment de la proximité de l'usine ORANO La Hague. Ce marquage en ¹⁴C tend à être plus prononcé au voisinage des points de rejet d'effluents liquides des CNPE pour les sédiments (Penly), les algues (Flamanville, Penly et Gravelines) et les mollusques (Flamanville et Gravelines).



TABLE DES MATIÈRES

| 0. | OBJE | 3JECTIFS | | | | |
|----|---|--|----|--|--|--|
| 1. | MÉTHODOLOGIE DU SUIVI RADIOÉCOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT PROCHE DES CENTRES NUCLÉAIRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ FRANÇAIS | | | | | |
| 2. | ORIGINE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'ENVIRONNEMENT DES CNPE FRANÇAIS DE LA MANCHE ET DE LA MER DU NORD17 | | | | | |
| | 2.1. | Radionucléides d'origine naturelle | 18 | | | |
| | | 2.1.1. Origine tellurique | 18 | | | |
| | | 2.1.2. Rayonnement cosmique et comportement du tritium et du ¹⁴ C | 18 | | | |
| | 2.2. | Radionucléides d'origine artificielle | 19 | | | |
| | | 2.2.1. Retombées des essais aériens d'armes nucléaires et des chutes de satellites | 19 | | | |
| | | 2.2.2. Retombées de l'accident de Tchernobyl | 21 | | | |
| | | 2.2.3. Retombées de l'accident de Fukushima-Daiichi | 22 | | | |
| | | 2.2.4. Installations nucléaires exploitées par EDF | 23 | | | |
| | | 2.2.5. Autres activités | 24 | | | |
| 3. | CON | TEXTE ENVIRONNEMENTAL ET GÉOGRAPHIQUE | 25 | | | |
| | 3.1. | Climatologie | 25 | | | |
| | 3.2. | Géologie et hydrogéologie | 25 | | | |
| | 3.3. | Hydrographie et hydrologie | 26 | | | |
| 4. | ÉTAT | Γ RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE FLAMANVILLE | 29 | | | |
| | 4.1. | Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures | 29 | | | |
| | 4.2. | État radiologique de l'environnement terrestre | 31 | | | |
| | | 4.2.1. Stratégie d'échantillonnage | 31 | | | |
| | | 4.2.2. Résultats et interprétation | 35 | | | |
| | 4.3. | État radiologique de l'environnement aquatique | 37 | | | |
| | | 4.3.1. Stratégie d'échantillonnage | 37 | | | |
| | | 4.3.2. Résultats et interprétation | 43 | | | |
| | 4.4. | Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Flamanville | 49 | | | |
| | 4.5. | Tableaux de résultats | | | | |
| 5. | ÉTAT | Γ RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE PALUEL | 73 | | | |
| | 5.1. | Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures | | | | |
| | 5.2. | État radiologique de l'environnement terrestre | | | | |
| | J.Z. | 5.2.1. Stratégie d'échantillonnage | | | | |
| | | 5.2.2. Résultats et interprétation | | | | |
| | 5.3. | État radiologique de l'environnement aquatique | | | | |
| | | ♥ 1 1 | | | | |



| | | 5.3.1. Stratégie d'échantillonnage | 81 | | |
|-----|------|--|-----|--|--|
| | | 5.3.2. Résultats et interprétation | 86 | | |
| | 5.4. | Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Paluel | 89 | | |
| | 5.5. | Tableaux de résultats | 91 | | |
| 6. | ÉTAT | RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE PENLY | 117 | | |
| | 6.1. | Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures | 117 | | |
| | 6.2. | État radiologique de l'environnement terrestre | 119 | | |
| | | 6.2.1. Stratégie d'échantillonnage | 119 | | |
| | | 6.2.2. Résultats et interprétation | 124 | | |
| | 6.3. | État radiologique de l'environnement aquatique | 126 | | |
| | | 6.3.1. Stratégie d'échantillonnage | 126 | | |
| | | 6.3.2. Résultats et interprétation | 131 | | |
| | 6.4. | Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Penly | 135 | | |
| | 6.5. | Tableaux de résultats | 136 | | |
| 7. | ÉTAI | RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE GRAVELINES | 161 | | |
| | 7.1. | Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures | 161 | | |
| | 7.2. | Etat radiologique de l'environnement terrestre | 163 | | |
| | | 7.2.1. Stratégie d'échantillonnage | 163 | | |
| | | 7.2.2. Résultats et interprétation | 167 | | |
| | 7.3. | État radiologique de l'environnement aquatique | 168 | | |
| | | 7.3.1. Stratégie d'échantillonnage | 168 | | |
| | | 7.3.2. Résultats et interprétation | 172 | | |
| | 7.4. | Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Gravelines | 176 | | |
| | 7.5. | Tableaux de résultats | 177 | | |
| 8. | SYN | THÈSE DE L'ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DE LA MANCHE ET DE LA MER DU NORD | 201 | | |
| | 8.1. | Radioécologie du milieu terrestre | 201 | | |
| | 8.2. | Radioécologie du milieu marin | 202 | | |
| 9. | BIBL | BLIOGRAPHIE205 | | | |
| 10. | ANN | EXES | 207 | | |



TABLE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figures

| Figure 1 – Localisation des installations nucléaires de la façade Manche/Mer du Nord générale des masses d'eaux (carte : [1, 2]) | |
|---|-----------------------------------|
| Figure 2 – Activités de ³ H dans l'eau de pluie d'après [3]. | 20 |
| Figure 3 – Évolution de l'activité spécifique du ¹⁴ C dans l'hémisphère nord depuis 1950 (tiré | e de [3])21 |
| Figure 4 - Activités surfaciques de ¹³⁷ Cs, calculées pour l'année 2010, issues des retombées att des essais aériens et de l'accident de Tchernobyl à partir de [19] | |
| Figure 5 – Évolution des activités des principaux radionucléides artificiels mesurés dans l'ai en Allemagne au cours des 60 dernières années (tirée de [3]) | |
| Figure 6 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement Flamanville. | |
| Figure 7 - Localisation du CNPE de Flamanville et des stations terrestres échantillonnées da suivi radioécologique 2021. | |
| Figure 8 – Variation temporelle des activités des principaux radionucléides artificiels spectrométrie gamma au sein des sols (cultivés et non cultivés), des vége (légumes) et herbes échantillonnées dans l'environnement terrestre du CNPE d | étaux cultivés le Flamanville. |
| Figure 9 - Localisation du CNPE de Flamanville et des stations marines échantillonnées dan suivi radioécologique 2021. | ns le cadre du |
| Figure 10 – Variation temporelle des activités des principaux radionucléides artificiels spectrométrie gamma au sein des sédiments et des algues échanti l'environnement marin du CNPE de Flamanville | llonnés dans |
| Figure 11 – Variation temporelle des activités des principaux radionucléides artificiels spectrométrie gamma au sein des mollusques échantillonnés dans l'environner CNPE de Flamanville | nent marin du |
| Figure 12 – Variation temporelle des activités des principaux radionucléides artificiels spectrométrie gamma au sein des crustacés et des poissons échanti l'environnement marin du CNPE de Flamanville | llonnés dans |
| Figure 13 – Variation temporelle des activités en ¹⁴ C au sein des algues et mollusques dans l'el marin du CNPE de Flamanville. | |
| Figure 14 – Variation temporelle des activités en ⁶³ Ni au sein des algues dans l'environnen CNPE de Flamanville | |
| Figure 15 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CN | IPE de Paluel74 |
| Figure 16 - Localisation du CNPE de Paluel et des stations terrestres échantillonnées dans le radioécologique 2021. | |
| Figure 17 – Variation temporelle des activités des principaux radionucléides artificiels spectrométrie gamma au sein des sols (cultivés et non cultivés), des vége (légumes) et herbes échantillonnés dans l'environnement terrestre du CNPE de | étaux cultivés |
| Figure 18 - Localisation du CNPE de Paluel et des stations marines échantillonnées dans le radioécologique 2021. | |



| Figure 19 – Variation temporelle des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des sédiments, des algues, des crustacés et des poissons échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel8 |
|---|
| Figure 20 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Penly11 |
| Figure 21 - Localisation du CNPE de Penly et des stations terrestres échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2021 |
| Figure 22 – Variation temporelle des activités en ¹³⁷ Cs détectées par spectrométrie gamma (Bq.kg ⁻¹ sec) au sein des indicateurs végétaux (mousses terrestres et lichens) échantillonnés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly |
| Figure 23 - Localisation du CNPE de Penly et des stations marines échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2021 |
| Figure 24 – Variation temporelle des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des sédiments, des algues et des crustacés échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Penly |
| Figure 25 – Variation temporelle des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des mollusques et des poissons échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Penly |
| Figure 26 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Gravelines |
| Figure 27 - Localisation de CNPE de Gravelines et des stations terrestres échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2021 |
| Figure 28 – Variation temporelle des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein de l'herbe échantillonnée dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines |
| Figure 29 - Localisation du CNPE de Gravelines et des stations marines échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2021 |
| Figure 30 – Variation temporelle des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des sédiments et des algues échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines |
| Figure 31 – Variation temporelle des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des mollusques et des crustacés échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines |
| Figure 32 - Activités en tritium libre (Bq.L ⁻¹ ED) mesurées dans les algues, les mollusques, les crustacés et les poissons échantillonnés dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord depuis 2000. La zone violette indique le bruit de fond attendu en entrée de Manche (i.e. entre 3,7 et 5,9 Bq.L ⁻¹ à distance de l'usine ORANO [3, 26, 27]) |
| Figure 33 - Activités en ⁶⁰ Co et en ¹³⁷ Cs mesurées dans les algues échantillonnées en 2021 dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord20 |
| Figure 34 - Activités en ¹⁴ C (Bq.kg ⁻¹ C) dans les mollusques (patelles et moules) échantillonnés depuis 2010 dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord. Le graphique distingue les prélèvements fait en champ proche de chaque CNPE (losanges) de ceux effectués en champ lointain (triangles), et indique en violet le bruit de fond attendu hors influence industrielle (i.e., 233±5 Bq.kg ⁻¹ C d'après [3]) |
| Figure 35 - Démarche utilisée pour la réalisation du suivi radioécologique annuel de chaque site21 |



| Figure 36 - Ch | nronique d'une incinération : montée en température et paliers en fonction du temps | .217 |
|----------------|--|------|
| Figure 37 -Val | leurs significatives et seuils de décision dans les graphiques | .222 |
| • | eneur en ⁴⁰ K et en radionucléides des familles du ²³² Th et du ²³⁸ U dans les sols métropolitains (1er et 3ème quartiles, 1er et 9ème déciles, minimum et maximum) | .224 |
| Figure 39 – Te | eneur en ²³⁸ U dans les sédiments métropolitains. | .224 |
| Tableaux | | |
| | entification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville ors du suivi radioécologique de 2021 et analyses réalisées. | 32 |
| | dentification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville en 2021 et analyses réalisées | 38 |
| | Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2012 à 2021 dans le cadre du suiviradioécologique. | 50 |
| C | Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses et de lichens collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | 51 |
| | Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | 52 |
| [' | Activités en radionucléides émetteurs β au sein d'échantillons de lierre collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | 53 |
| C | Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de légumes (salades) collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | 54 |
| 1 | Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2012 à 2021 dans le cadre du suiviradioécologique. | 55 |
| | ctivités en radionucléides émetteurs β au sein d'échantillons d'eau de boisson collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | 56 |
| [' | Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville de 2012 à 2021 dans le cadre du suiviradioécologique. | 57 |
| [' | Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville de 2012 à 2021 dans le cadre du suiviradioécologique. | 58 |
| C | Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | 59 |



| Tableau 13 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de crustacés collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique |
|------------|---|
| Tableau 14 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de poissons collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique |
| Tableau 15 | - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sol collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2021 |
| Tableau 16 | - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 202163 |
| Tableau 17 | - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 202164 |
| Tableau 18 | - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 202165 |
| Tableau 19 | - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 202165 |
| Tableau 20 | - Activités en ¹⁴ C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 202166 |
| Tableau 21 | - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sédiment collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2021 |
| Tableau 22 | - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 202168 |
| Tableau 23 | - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 202169 |
| Tableau 24 | - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 202170 |
| Tableau 25 | - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 202170 |
| Tableau 26 | - Activités en ¹⁴ C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 202171 |
| Tableau 27 | - Activités en ⁶³ Ni mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 202172 |
| Tableau 28 | - Activités en ⁵⁵ Fe mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 202172 |
| Tableau 29 | - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique de 2021 et analyses réalisées |
| Tableau 30 | - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel en 2021 et analyses réalisées |



| Tableau 31 | - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique | 91 |
|--------------|---|------|
| Tableau 32 | - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses et de lichens collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | 92 |
| Tableau 33 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | 93 |
| Tableau 34 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de salades collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | 94 |
| Tableau 35 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | 95 |
| Tableau 36 - | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'eau de boisson collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | 96 |
| Tableau 37 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique | 97 |
| Tableau 38 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | 99 |
| Tableau 39 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .100 |
| Tableau 40 - | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de crustacés collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .103 |
| Tableau 41 - | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de poissons collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .104 |
| Tableau 42 | - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sol collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2021. | .105 |
| Tableau 43 | - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2021 | .106 |
| Tableau 44 - | - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2021 | .107 |
| Tableau 45 | - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2021 | .108 |



| Tableau 46 | - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2021 | .108 |
|--------------|--|------|
| Tableau 47 | - Activités en ¹⁴ C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2021 | .109 |
| Tableau 48 | - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sédiment collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2021. | .110 |
| Tableau 49 | - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2021 | .111 |
| Tableau 50 | - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2021 | .112 |
| Tableau 51 | - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2021. | .113 |
| Tableau 52 - | - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2021 | .113 |
| Tableau 53 | - Activités en ¹⁴ C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2021 | .114 |
| Tableau 54 | - Activités en ⁶³ Ni mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2021 | .115 |
| Tableau 55 | - Activités en ⁵⁵ Fe mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2021 | .115 |
| Tableau 56 - | - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique de 2021 et analyses réalisées | .120 |
| Tableau 57 | - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Penly en 2021 et analyses réalisées. | .127 |
| Tableau 58 | - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .136 |
| Tableau 59 | - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique | .137 |
| Tableau 60 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .138 |
| Tableau 61 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de salades collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .139 |
| Tableau 62 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .140 |
| Tableau 63 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'eau de boisson collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .141 |



| Tableau 64 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .142 |
|--------------|---|------|
| Tableau 65 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .143 |
| Tableau 66 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .144 |
| Tableau 67 - | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de crustacés collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .145 |
| Tableau 68 · | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de poissons collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .146 |
| Tableau 69 | - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sol collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2021. | .147 |
| Tableau 70 | - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2021 | .149 |
| Tableau 71 | - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2021 | .150 |
| Tableau 72 | e - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2021 | .151 |
| Tableau 73 | - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2021 | .152 |
| Tableau 74 | - Activités en ¹⁴ C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2021 | .153 |
| Tableau 75 | - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sédiment collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2021. | .154 |
| Tableau 76 | - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2021 | .155 |
| Tableau 77 - | - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2021 | .156 |
| Tableau 78 | - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2021 | .157 |
| Tableau 79 | - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2021 | .158 |
| Tableau 80 | - Activités en ¹⁴ C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2021. | .159 |
| Tableau 81 | - Activités en ⁶³ Ni mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2021 | .160 |



| Tableau 82 | - Activités en ⁵⁵Fe mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2021 | .160 |
|--------------|--|------|
| Tableau 83 | - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique de 2021 et analyses réalisées | .164 |
| Tableau 84 | - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines en 2021 et analyses réalisées. | .169 |
| Tableau 85 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .177 |
| Tableau 86 | - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .178 |
| Tableau 87 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .179 |
| Tableau 88 | - Activités en radionucléides émetteurs β au sein d'échantillons de lierre collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .180 |
| Tableau 89 · | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de légumes (salades, choux-fleurs et pommes de terre) collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .181 |
| Tableau 90 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .182 |
| Tableau 91 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'eau de boisson collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .183 |
| Tableau 92 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .184 |
| Tableau 93 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .185 |
| Tableau 94 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .186 |
| Tableau 95 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de crustacés collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .187 |
| Tableau 96 | - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de poissons collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique. | .188 |



| Tableau 97 | Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sol collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2021. | .189 |
|--------------|---|------|
| Tableau 98 - | - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2021 | .190 |
| Tableau 99 - | - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2021 | .191 |
| Tableau 10 | 0 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2021 | .192 |
| Tableau 101 | 1 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2021 | .192 |
| Tableau 102 | 2 - Activités en ¹⁴ C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2021 | .193 |
| Tableau 103 | 3 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sédiment collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2021. | .194 |
| Tableau 104 | - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2021 | .196 |
| Tableau 105 | - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2021 | .197 |
| Tableau 10 | 6 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2021 | .198 |
| Tableau 107 | 7 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2021 | .198 |
| Tableau 108 | 3 - Activités en ¹⁴ C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2021 | .199 |
| Tableau 109 | 9 - Activités en ⁶³ Ni mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2021 | .200 |
| Tableau 110 |) - Activités en ⁵⁵ Fe mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2021 | .200 |
| | | |



0. OBJECTIFS

Électricité de France (EDF) a sollicité l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) pour effectuer un suivi radioécologique annuel de l'environnement proche des Centres Nucléaires de Production d'Électricité (CNPE) de la Manche et de la Mer du Nord.

L'objectif de cette étude est de caractériser, chaque année, les niveaux de radioactivité dans l'environnement proche des CNPE de la Manche et de la Mer du Nord (Flamanville, Paluel, Penly et Gravelines) dans un grand nombre de matrices du compartiment terrestre et marin et pour un large spectre de radionucléides. Il s'agit d'identifier les différentes sources, passées ou présentes, à l'origine de la présence de ces radionucléides observés dans l'environnement et d'analyser l'évolution de leurs concentrations dans les matrices au cours de la dernière décennie.

1. MÉTHODOLOGIE DU SUIVI RADIOÉCOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT PROCHE DES CENTRES NUCLÉAIRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ FRANÇAIS

La stratégie de prélèvements et d'analyses définie par EDF est commune à l'ensemble des sites. Des contraintes supplémentaires peuvent localement modifier le point de collecte, le nombre ou la nature des analyses réalisées. Le choix des stations et de la nature des prélèvements permet la comparaison des résultats avec ceux des études antérieures. Les stations de prélèvements ont été définies en fonction du régime éolien local en milieu terrestre, et en fonction de l'hydrodynamisme local en milieu marin (Annexe 1).

Les matrices échantillonnées sont les plus abondantes localement et/ou caractéristiques de l'économie locale (Annexe 2 et Annexe 3). Elles correspondent également, pour la plupart, aux espèces prélevées lors de l'état de référence et au cours de la dernière décennie. Les matrices prélevées tiennent également compte de la réglementation applicable à chaque CNPE.

L'ensemble des analyses sont réalisées à fréquence annuelle, ainsi qu'à fréquence trimestrielle pour le ¹⁴C mesuré dans les végétaux terrestres (Annexe 3), voire quinquennale pour quelques techniques plus pointues. Dans la plupart des matrices collectées, une analyse gamma, une analyse de tritium organiquement lié voire de tritium libre, et une analyse de ¹⁴C sont réalisées (Annexe 4, Annexe 7, Annexe 8 et Annexe 1). Dans certaines matrices, des analyses supplémentaires peuvent être réalisées (Annexe 4). L'analyse des émetteurs gamma d'origine naturelle permet de caractériser les échantillons prélevés, de vérifier la qualité des prélèvements et des analyses. Les méthodes de prélèvement, de préparation et d'analyses des échantillons mises en œuvre aux fins de la présente étude sont détaillées en annexes (Annexe 5, Annexe 6 et Annexe 7).

2. ORIGINE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'ENVIRONNEMENT DES CNPE FRANÇAIS DE LA MANCHE ET DE LA MER DU NORD

La présence de radionucléides artificiels dans l'environnement marin et terrestre des CNPE de la Manche et de la Mer du Nord résulte des retombées atmosphériques globales liées aux essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère, des rentrées atmosphériques de satellites artificiels, des utilisations médicales de sources radioactives et des rejets industriels d'effluents des installations nucléaires (Figure 1 page 18) ainsi que des retombées atmosphériques des accidents de Tchernobyl et, dans une moindre mesure, de Fukushima Daiichi.



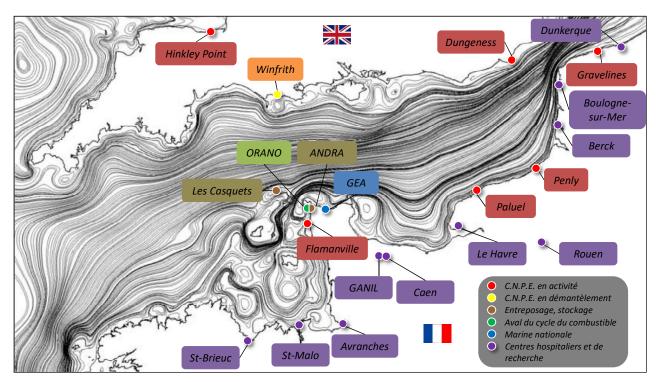


Figure 1 – Localisation des installations nucléaires de la façade Manche/Mer du Nord et circulation générale des masses d'eaux (carte : [1, 2]).

2.1. Radionucléides d'origine naturelle

Le bruit de fond radiologique naturel a deux origines : les radionucléides telluriques présents dans l'écorce terrestre et le rayonnement cosmique qui produit de manière permanente des radionucléides dits cosmogéniques.

2.1.1. Origine tellurique

Les radionucléides d'origine tellurique sont principalement le ⁴⁰K et les produits des chaînes de désintégration de l'²³⁸U, de l'²³⁵U et du ²³²Th. Présents dans l'écorce terrestre, ces radionucléides sont persistants dans les divers compartiments de l'environnement du fait de leur période radioactive très longue, jusqu'à plusieurs milliards d'années. Leurs niveaux d'activité usuels sont indiqués dans le bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020 [3].

2.1.2. Rayonnement cosmique et comportement du tritium et du ¹⁴C

Le rayonnement cosmique en provenance du soleil et de l'espace interagit avec la haute atmosphère terrestre et engendre en permanence la production de radionucléides cosmogéniques, comme le tritium (³H), le ¹⁴C, ⁷Be et le ²²Na. Leurs niveaux d'activité usuels sont indiqués dans le bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020 [3].

Le ³H et le ¹⁴C ont également une origine anthropique, qui sera traitée plus en détail dans le paragraphe 2.2.

En tant qu'isotope de l'hydrogène, le ³H (période radioactive : 12,312 ans [4]) est lié au cycle de cet élément dans l'environnement. Il peut être présent dans toutes les molécules hydrogénées, être associé aussi bien à l'eau



tissulaire qu'à la matière organique des végétaux et des animaux. Sous la forme d'eau tritiée (HTO et TED par déshydratation de la matière organique), ce radionucléide est extrêmement mobile dans l'environnement et dans tous les systèmes biologiques et, de ce fait rapidement intégré dans de nombreux cycles de la géosphère et de la biosphère. En situation d'équilibre, il ne s'accumule pas préférentiellement dans les composantes de l'environnement. Les activités en tritium métabolisé dans la matière organique (tritium organiquement lié, TOL) sont généralement à l'équilibre avec les activités en HTO [5-7]. Avant l'ère nucléaire, les valeurs en ³H atmosphérique étaient de l'ordre de 0,1 à 0,6 Bq.L⁻¹.

S'agissant du ¹⁴C (période radioactive : 5 700 ans [4]), en milieu terrestre, les observations permettent de montrer que l'activité spécifique, exprimée en becquerels de ¹⁴C par kilogramme de carbone total (Bq.kg⁻¹ C), est en équilibre dans les composantes de l'environnement, notamment avec celle du CO₂ atmosphérique.

2.2. Radionucléides d'origine artificielle

2.2.1. Retombées des essais aériens d'armes nucléaires et des chutes de satellites

Entre 1945 et 1980, les États-Unis d'Amérique, l'Union Soviétique, la France, la Grande-Bretagne et la Chine ont procédé à plus de 500 essais aériens d'armes nucléaires, l'essentiel de la puissance ayant été libéré entre 1954 et 1958, puis en 1961 et 1962 [8]. Les particules radioactives libérées dans la troposphère et la stratosphère au cours de ces essais sont retombées sur l'ensemble du globe, mais en raison de la localisation des sites de tirs, l'hémisphère nord a reçu la majorité des retombées radioactives issues de ces essais. En France métropolitaine, les retombées de ces essais ont été globalement homogènes et constituent une source principale de radioactivité artificielle dans l'environnement.

En termes d'activité, les dépôts les plus importants concernent les radionucléides à vie courte. Ainsi, en France, les dépôts d'131, de 95Zr, de 144Ce/Pr et de 106Ru/Rh (périodes radioactives respectives de 8,0233, 64,032, 285,0 et 371,5 jours [4]), aujourd'hui disparus, ont été 10 fois plus importants que les dépôts de radionucléides à vie moyenne (90Sr et 137Cs, de 28,80 et 30,05 ans de périodes radioactives respectives [4]). Les dépôts de radionucléides à vie longue (241Am1, 14C, 240Pu et 239Pu, de 432,6, 5 700, 6 561 et 24 100 ans de périodes respectives [4]) ont été comparativement très faibles [8]. Le ¹³⁷Cs, le ⁹⁰Sr, le ²³⁸Pu, le ²³⁹, ²⁴⁰Pu et l'²⁴¹Am sont encore détectés aujourd'hui dans de nombreux compartiments. Leurs faibles décroissances radioactives et, pour certains, leurs faibles mobilités dans les sols entretiennent un marquage ne diminuant que lentement depuis le milieu des années 1960 [8]. Dans une moindre mesure, la désintégration de onze satellites artificiels lors de leur entrée dans l'atmosphère, entre 1964 et 1996, a provoqué la dispersion dans l'atmosphère terrestre de 238 Pu, d'²³⁵U et de leurs produits de fission, puis leurs retombées sur l'ensemble de la planète. Pour ces radionucléides, l'activité rémanente des retombées anciennes constitue, dans le cadre de la présente étude, un bruit de fond radiologique dont les valeurs sont présentées dans le bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020 [3] et plus brièvement ci-dessous. En 2020, sur la majeure partie de la France, les activités rémanentes en ¹³⁷Cs des retombées des essais aériens étaient comprises entre 1 400 et 2 000 Bq.m⁻² [9], compte tenu de la seule décroissance radioactive du ¹³⁷Cs. Elles ont été augmentées par les retombées de l'accident de Tchernobyl (voir paragraphe suivant). En comparaison, celles de l'accident de Fukushima-Daiichi sont beaucoup plus faibles (voir paragraphe 2.2.3).

Le ³H a été massivement émis lors des essais aériens d'armes nucléaires. De plus de 500 Bq.L⁻¹ dans les eaux de pluie analysées à Thonon-les-Bains ou à Vienne dans les années 1960, l'activité volumique a décru à moins de 10 Bq.L⁻¹ dès la fin des années 1970. Depuis la fin des années 1990, elle est inférieure à 2 Bq.L⁻¹ [3, 10-13] (Figure 2 page 20).

¹ L'²⁴¹Am n'a pas été produit directement lors des essais mais par la décroissance du ²⁴¹Pu (T=14,4 ans).



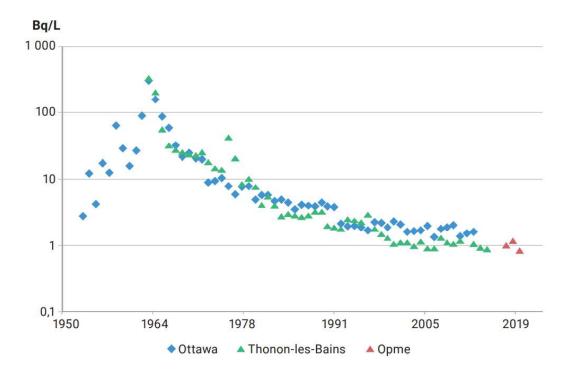


Figure 2 – Activités de ³H dans l'eau de pluie d'après [3].

Le tritium produit lors des essais aériens est quantifiable aujourd'hui sous les formes libres (HTO directement dans l'eau et TED par collecte de l'eau de dessiccation, exprimés respectivement en Bq.L⁻¹ et en Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, abrégé en Bq.L⁻¹ ED) et liée à la matière organique (TOL, exprimé en Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, abrégé en Bq.L⁻¹ EC). Hors influence industrielle locale, les formes libres (HTO et TED) sont à l'équilibre avec les niveaux atmosphériques actuels. Le bruit de fond radiologique du tritium libre et du tritium organiquement lié en milieu terrestre hors influence d'un rejet est de l'ordre de 1,0 Bq.L⁻¹ en France métropolitaine (dans une gamme allant de 0,39 à 1,9 Bq.L⁻¹ pour le TOL, et de 0,5 à 2 Bq.L⁻¹ pour l'HTO et le TED d'après [3]) pour les matrices annuelles, proche des activités en tritium libre de la vapeur d'eau atmosphérique. En milieu marin, l'activité naturelle du tritium dans les eaux de surface (de l'ordre de 0,1 Bq.L⁻¹ [5, 14]) a plus que doublé du fait des retombées des essais nucléaires atmosphériques.

Les essais aériens d'armes nucléaires ont également conduit à l'époque à doubler les quantités de ¹⁴C présent dans l'atmosphère. L'activité spécifique atmosphérique en ¹⁴C a atteint plus de 400 Bq.kg⁻¹ C avant de décroître suite à l'arrêt des essais atmosphériques ainsi qu'à l'augmentation des rejets de CO₂ dans l'atmosphère liée à l'utilisation de combustibles fossiles, dépourvus de ¹⁴C [15]. En 1999, l'activité spécifique dans le milieu terrestre s'élevait à 255±7 Bq.kg⁻¹ C [16]. En 2021, elle est de 223±7 Bq.kg⁻¹ C d'après [3], de l'ordre de grandeur de l'activité spécifique atmosphérique antérieure aux premiers essais aériens (226,0±1,1 Bq.kg⁻¹ C) (Figure 3 page 21).



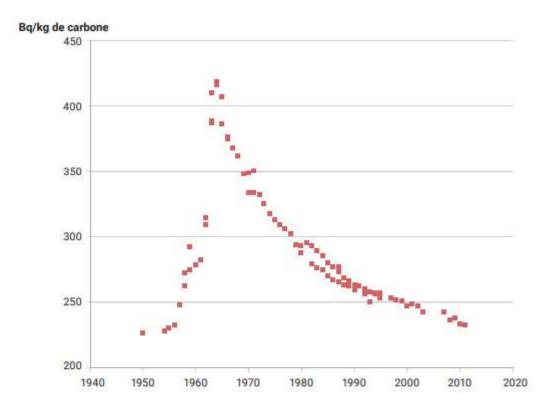


Figure 3 – Évolution de l'activité spécifique du ¹⁴C dans l'hémisphère nord depuis 1950 (tirée de [3]).

Le ¹⁴C des écosystèmes d'eau douce n'est pas en équilibre avec le ¹⁴CO₂ atmosphérique du fait de sa dilution notamment par les carbonates des roches sédimentaires anciennes dépourvues de ¹⁴C. L'activité spécifique hors influence industrielle locale peut donc être plus faible et variable en fonction de la teneur en carbonates anciens, entre 180 et 220 Bq.kg⁻¹ C [3]. En milieu marin, le ¹⁴C rejeté est en grande majorité sous forme minérale dissoute [17] et peut donc être incorporé ensuite à la matière organique. À proximité des points de rejets, lorsque les variations des quantités rejetées sont rapides et amples, l'état d'équilibre entre les activités spécifiques de la matière organique et de l'eau de mer n'est pas toujours atteint [17]. Les activités mesurées en Manche au Cap de la Hague, site proche du point de rejet de l'usine ORANO, sont par exemple comprises entre 300 et 800 Bq.kg⁻¹ C dans les matrices biologiques et l'eau de mer. Le bruit de fond en entrée de Manche est quant à lui estimé à 233±5 Bq.kg⁻¹C en 2021, sur la base de mesures dans les algues et les mollusques effectuées entre 2001 et 2019 en entrée de Manche, à Concarneau et Roscoff, et du bilan radiologique 2018-2020 [3].

De nos jours, les apports industriels en ³H et ¹⁴C, notamment ceux liés aux CNPE, peuvent être identifiés, dans le milieu terrestre, par des activités mesurées un peu plus élevées dans des feuilles d'arbre et de lierre à proximité du CNPE ou dans l'herbe prélevée à la station AS1 et, dans le milieu aquatique, par des activités mesurées plus élevées dans les végétaux aquatiques et les poissons prélevés à l'aval du CNPE, comparativement à l'amont.

2.2.2. Retombées de l'accident de Tchernobyl

Le 26 avril 1986, le réacteur n°4 de la centrale de Tchernobyl (Ukraine), en service depuis 3 ans, explose accidentellement lors de la réalisation d'un essai technique. L'énergie libérée par l'explosion entraîne l'émission dans l'atmosphère de produits de fission et d'activation jusqu'à plus de 1 200 mètres de hauteur. Pendant dix jours, près de 10⁷ TBq sont libérés dans l'environnement, la majorité des radionucléides émis ayant une période radioactive inférieure à un mois. Jusqu'à la mi-mai 1986, la dispersion du panache radioactif dissémine divers radionucléides sur la plupart des pays d'Europe. La dispersion du panache radioactif s'accompagne d'une dilution



de l'activité volumique des radionucléides artificiels au sein de celui-ci. Ainsi, l'activité mesurée au sein du panache au voisinage du réacteur accidenté, de l'ordre de 10⁷ Bq/m³, n'était plus que de quelques dizaines de Bq/m³ lorsque le panache a atteint la France métropolitaine durant la première semaine de mai 1986. Les évènements pluvieux concomitants ont favorisé le dépôt des particules. Dix-neuf radionucléides ont été détectés dans les retombées de l'accident de Tchernobyl et sept ont principalement été mis en évidence sur le territoire français (103Ru, 106Ru/Rh, 110mAg, 131I, 132Te, 134Cs et 137Cs). Les retombées atmosphériques de l'accident de Tchernobyl ont affecté l'ensemble du territoire et, plus particulièrement, la moitié est de la France. Comparativement, l'environnement proche des CNPE de la Manche et de la Mer du Nord a été relativement peu impacté par ces retombées. La carte de la Figure 4 page 22 présente la répartition estimée des activités surfaciques en 137Cs sur cette zone, issues de la rémanence de ces retombées. De nos jours, seul le 137Cs est encore mesurable [18].

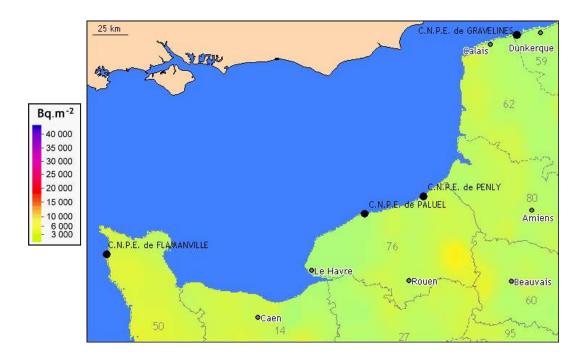


Figure 4 - Activités surfaciques de ¹³⁷Cs, calculées pour l'année 2010, issues des retombées atmosphériques des essais aériens et de l'accident de Tchernobyl à partir de [19].

2.2.3. Retombées de l'accident de Fukushima-Daiichi

Les dépôts issus des retombées atmosphériques de l'accident de Fukushima Daiichi survenu le 11 mars 2011 ont été de 500 à plus de 1 000 fois inférieurs à ceux mesurés début mai 1986 en France après l'accident de Tchernobyl (Figure 4 page 22). Les résultats des analyse réalisés sur le territoire métropolitain par l'IRSN et par les exploitants nucléaires ont montré la présence d'¹³¹I, de ¹³⁷Cs et de ¹³⁴Cs [20]. L'¹³¹I, du fait de sa courte période radioactive (8,02 jours [4]), a rapidement disparu de l'environnement. Le ¹³⁴Cs, dont le dépôt massif issu des retombées de l'accident de Tchernobyl n'était plus détecté compte tenu de sa courte période radioactive (2,06 ans [4]), a pu être attribué à cet accident. En revanche, les résultats de ¹³⁷Cs sont difficilement imputables à ce seul évènement compte-tenu de la rémanence de ce radionucléide sur le littoral de la Manche et de la Mer du Nord.



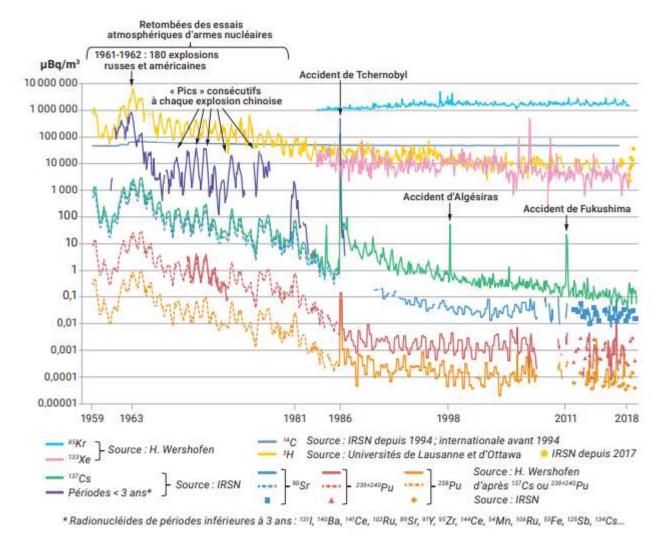


Figure 5 – Évolution des activités des principaux radionucléides artificiels mesurés dans l'air en France et en Allemagne au cours des 60 dernières années (tirée de [3]).

2.2.4. Installations nucléaires exploitées par EDF

L'exploitation d'un réacteur nucléaire implique la génération d'isotopes radioactifs issus de la fission des noyaux du combustible (produits de fission) et de l'activation des différents matériaux, notamment ceux de la structure et de certains composés issus du conditionnement des circuits (produits d'activation). Dans le cadre des décisions de rejets émises par l'ASN, les CNPE sont autorisés à rejeter, en fonctionnement normal, une partie de ces produits de fission et d'activation dans l'environnement par voie liquide et/ou atmosphérique. Ces rejets sont ainsi susceptibles de marquer l'environnement autour des installations nucléaires.

Les rejets d'effluents radioactifs atmosphériques des CNPE comprennent notamment le tritium, le ¹⁴C, l'⁴¹Ar, les xénons métastables 131, 133 et 135, le ⁸⁵Kr, les ¹³¹I et ¹³³I, les ⁵⁸Co et ⁶⁰Co et les ¹³⁴Cs et ¹³⁷Cs. Au sein des rejets d'effluents radioactifs liquides, le tritium, le ¹⁴C, les ⁵⁸Co et ⁶⁰Co, le ⁶³Ni, les ¹²⁴Sb et ¹²⁵Sb, les ¹³⁴Cs et ¹³⁷Cs, le ⁵⁴Mn, l'^{110m}Ag, le ^{123m}Te, et l'¹³¹I sont prépondérants. Le ⁵⁵Fe et le l'^{108m}Ag sont rejetés dans une moindre mesure.

Les conditions d'exécution et les limites des rejets d'effluents, en mer et dans l'atmosphère, sont définies par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). L'exploitant n'a pas porté à la connaissance de l'IRSN d'évènements intéressants l'environnement pour l'année 2021.



2.2.5. Autres activités

Au regard de la circulation hydrodynamique et du contexte nucléaire en Manche et en Mer du Nord, l'environnement côtier est susceptible d'être marqué par les rejets d'effluents liquides d'autres installations nucléaires de base (INB) côtières localisées à proximité, et notamment ceux de l'usine de traitement de combustibles usés ORANO La Hague, dont les niveaux d'activité en radionucléides émetteurs gamma sont de 2 à 4 ordres de grandeur supérieurs à ceux d'un CNPE. En outre, les rejets d'effluents liquides d'ORANO sont susceptibles de marquer l'environnement côtier en radionucléides émetteurs alpha tel que le ²⁴¹Am et les isotopes 238, 239, et 240 du plutonium. Les rejets de l'usine de retraitement de Sellafield (Royaume-Uni) contribuent également potentiellement à l'apport de ¹³⁷Cs et de ³H en Manche et en Mer du Nord.

Outre la filière énergétique, plusieurs unités hospitalières, centres de recherche et sites industriels sont également présentes sur le territoire étudié, le long du littoral même (Dunkerque, Boulogne-sur-Mer en particulier) ou le long des fleuves se déversant dans la Manche et la Mer du Nord (ex. : la Seine, avec Paris, Rouen, et Le Havre en particulier). Parmi les principaux radionucléides utilisés en médecine nucléaire, le 99mTc (en diagnostic fonctionnel, période radioactive de 6 heures [4]) et l'131 (en thérapie métabolique, période radioactive de 8,02 jours [4]) représentent à eux seuls près de 99% de la radioactivité utilisée par les services de médecine nucléaire [21]. L'131 ainsi introduit dans l'environnement via les urines et les selles des patients traités peut être détecté dans les stations d'épuration et en aval des celles-ci. Difficile à détecter dans l'eau, l'131 peut être mesuré dans les végétaux, et en particulier les algues marines, dont le facteur de concentration pour l'iode est de l'ordre de 10³ à 10⁴ [22]. En Basse-Normandie, quatre sites non électronucléaires (centres hospitaliers et le Grand Accélérateur National d'Ions Lourds à Caen (GANIL)) génèrent des rejets radioactifs (Figure 1 page 18), dans les agglomérations d'Avranches, de Cherbourg et de Caen, en « aval » du CNPE de Flamanville au sens de la circulation générale des masses d'eau en Manche (sauf pour Avranches, situé en « amont »). Le CNPE de Flamanville est situé en « amont » des trois autres CNPE au regard de la circulation générale des masses d'eau en Manche. On peut également citer la présence d'installations hospitalières dans le quart nord-est de la Bretagne, à Saint-Brieuc et Saint-Malo, situés en « amont » du CNPE de Flamanville au regard de la circulation générale des masses d'eau en Manche. En Haute-Normandie, six sites non électronucléaires (centres hospitaliers, centre de recherche et sites industriels) génèrent des rejets radioactifs (Figure 1 page 18), comme celles des agglomérations de Rouen et du Havre. Enfin, dans le Nord-Pas-de-Calais, treize centres hospitaliers disposent d'une unité de médecine nucléaire, comme celles des agglomérations de Dunkerque, Boulogne-sur-Mer, et Berck (Figure 1 page 18). Considérant les périodes radioactives du ^{99m}Tc et de l'¹³¹I, la localisation géographique des installations hospitalières et de recherche, les temps de transit des masses d'eaux, les taux de dilution au sein de celles-ci, et la direction de la circulation résiduelle des masses d'eau en Manche, il apparait peu probable que les rejets d'effluents radioactifs de ces diverses installations puissent marquer l'environnement côtier des CNPE de la Manche et de la Mer du Nord de manière décelable, à l'exception peut-être des algues prélevées au Cap Gris Nez en champ lointain du CNPE de Gravelines, qui pourraient éventuellement être marquées par les rejets d'effluents radioactifs du Centre Hospitalier de Boulogne sur Mer, situé à 16 km en "amont" au regard de la circulation générale des masses d'eau. Les autres installations présentées sur la Figure 1 page 18 représentent elles aussi des sources de radionucléides négligeables par rapport aux rejets de l'usine de traitement de combustibles usés ORANO La Hague.

De nos jours, les apports industriels, notamment ceux liés aux usines de traitement de combustibles usés, sont les principales sources de tritium et de ¹⁴C dans les écosystèmes marins. Ainsi, dans la Manche et la Mer d'Irlande, les activités mesurées en tritium varient généralement de 0,3 à 10 Bq.L⁻¹, tandis qu'elles sont comprises entre 0,1 et 0,2 Bq.L⁻¹ dans les eaux de surface de l'Atlantique Nord [6]. Le ¹⁴C est rejeté en milieu marin en grande majorité sous forme minérale dissoute [23] et peut donc être incorporé ensuite à la matière organique. À proximité des points de rejets, lorsque les variations des quantités rejetées sont rapides et amples, l'état d'équilibre entre les activités spécifiques de la matière organique et de l'eau de mer n'est pas toujours atteint [17]. Les activités mesurées en Manche au Cap de la Hague, site proche du point de rejet de l'usine ORANO, sont par exemple comprises entre 300 et 800 Bq.kg⁻¹ C [23].



3. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET GÉOGRAPHIQUE

3.1. Climatologie

Le CNPE de Flamanville est situé au pied d'un cap granitique sur la côte nord-ouest du Cotentin en Basse Normandie. Du fait de sa situation géographique, le Cotentin est caractérisé par un climat tempéré océanique. Proche du 50ème parallèle, ceint par la mer sur trois côtés, le courant chaud du Gulf Stream fait encore sentir ses effets et confère à l'hiver une certaine douceur. Les températures estivales à la côte, comprises en moyenne entre 19 et 24°C, peuvent baisser de quelques degrés sous l'effet de la brise de mer. Les hivers sont doux, avec des températures minimales comprises entre 1 et 5°C. Les précipitations annuelles sont réparties sur 120 à 160 jours et sont plus abondantes en automne et en hiver, tombant souvent sous forme de bruine. Le nord-Cotentin recueille en moyenne près de 1100 mm de précipitation par année. Situé sur la trajectoire des perturbations, le vent y est presque toujours présent. On relève en moyenne 130 jours de vent fort à La Hague, majoritairement de secteur ouest-sud-ouest. Ce sont les vents de sud-ouest à nord-ouest, dominants, qui dispersent les effluents gazeux vers les terres.

Les CNPE de Paluel et de Penly sont situés en Haute-Normandie, respectivement dans le Pays de Caux et du Petit-Caux, le long de la côte d'Albâtre. Le climat est de type océanique tempéré, marqué par la douceur des températures et une humidité importante. Les températures moyennes littorales sont de 5°C en janvier et de 17°C en juillet. Les précipitations sont abondantes : de l'ordre de 1000 mm en moyenne par an. Les vents dominants sont de secteur ouest à sud-ouest, portant les effluents gazeux en majorité vers la mer, et de secteur nord-est. La zone terrestre sous influence majeure des effluents gazeux du CNPE se trouve à l'est, la zone la moins influencée est dans le secteur sud à sud-est.

Le CNPE de Gravelines est implanté en bord de Mer du Nord, à l'ouest de l'avant-port ouest de Dunkerque. La région se situe au carrefour d'influences météorologiques contrastées. Les vents dominants sont de secteur ouest à sud-ouest, souvent conditionnés par les dépressions circulant sur l'Atlantique nord, et de secteur nord-est associé le plus souvent à des conditions anticycloniques. En flux de sud-ouest, le vent est fort, voire tempétueux, les pluies marquées et l'humidité importante. En flux de sud estival, les températures peuvent atteindre 30°C. En flux de nord à nord-est, la Mer du Nord draine l'air venu du pôle, avec des masses d'air turbulentes et agitées, de la grêle et de la neige. En flux d'est estival le temps est très beau. En revanche, le vent d'est en hiver est glacial, les températures moyennes pouvant descendre en dessous de 0°C. Les pluies sont relativement abondantes (600 à 700 mm). La zone terrestre sous influence majeure des effluents gazeux du CNPE se trouve dans le quart nord-est, la zone la moins influencée est dans le secteur sud.

Les quatre CNPE étant situés en bordure de la côte, les éventuelles retombées atmosphériques dues aux rejets d'effluents gazeux en milieu terrestre n'intéressent qu'un demi-secteur de la rose des vents centrée sur les cheminées.

3.2. Géologie et hydrogéologie

Les terrains de la région de Flamanville, dans le Nord-Cotentin, sont essentiellement d'origine primaire et reposent sur un socle antécambrien. Le Cap de Flamanville est composé de granites et de roches métamorphiques. Les terrains de couverture du socle étant de faible épaisseur, les captages d'alimentation en eau potable ont fréquemment recours aux eaux de surface (rivière ou petit barrage). On y trouve une zone de bocage propre à l'élevage bovin et des zones maraîchères reposant sur des sols sablonneux.

Les terrains de la région de Paluel et Penly, les Pays de Caux et du Petit Caux, appartiennent à l'ensemble géologique du Bassin Parisien, formé à l'ère secondaire. Le sous-sol est constitué d'une grande épaisseur de craie, pouvant mesurer jusqu'à 200 m de profondeur. Il est couvert d'une couche d'argile à silex et d'un limon fertile. Il est entaillé par des vallées et des vallons tapissés d'alluvions et de sédiments : les vallées humides, désignées ainsi car elles sont parcourues par un fleuve ou une rivière, possèdent un fond plat et large de quelques centaines



de mètres. Elles s'ouvrent sur la Manche, telles les vallées du Dun et de la Durdent. Des vallées sèches et des valleuses coupent également le plateau de craie, comme à Saint-Valéry-en-Caux. Elles n'ont pas d'écoulement en surface et sont peu peuplées, sauf à leur embouchure. Leurs versants sont boisés et la craie affleure du fait de l'érosion. Certaines valleuses sont « suspendues » à cause du lent recul de la falaise : elles ne permettent pas d'accéder directement à la plage. Le littoral est constitué de falaises de craie plus ou moins hautes, qui reculent plus ou moins rapidement en fonction de l'érosion marine. Les plages sont tapissées de galets, détachés de la falaise et polis par la mer. Ces galets ont néanmoins tendance à migrer et le sable peut affleurer à certains endroits. Le pays de Caux est une région agricole prospère grâce au climat océanique et aux sols limoneux. Les agriculteurs cauchois pratiquent la polyculture : le blé, le maïs, le lin, la pomme de terre, la luzerne, le colza sont les principales cultures. La betterave à sucre est la principale culture industrielle. L'élevage bovin pour la production de lait est également répandu.

Le CNPE de Gravelines est, quant à lui, implanté sur la plaine maritime de Flandre sur un remblai de sable gagné sur la mer. La frange littorale est formée de dunes et l'intérieur des terres est constitué de marais et polders. La poldérisation a conduit à la création d'un réseau de canaux (les watergangs) et d'écluses évacuant les eaux vers la mer. L'Aa est le principal cours d'eau qui draine les eaux du marais audomarois (Saint-Omer) vers la mer à Grand Fort Philippe. De grandes surfaces ont été remaniées par l'homme du fait des activités agricoles et industrielles. La zone située à l'est du CNPE est fortement industrialisée. Le sud-est, le sud et l'ouest sont occupés par diverses activités agricoles : céréales, productions industrielles (lin, chicorée, colza), élevage et maraîchage.

3.3. Hydrographie et hydrologie

La mer de la Manche est une importante zone de transit des eaux de l'Atlantique vers la mer du Nord. Elle est caractérisée par une circulation hydrodynamique complexe et une forte influence de la marée. L'amplitude de marée, ou marnage, est importante, atteignant plus de 10 m lors des grandes marées d'équinoxe et en moyenne 4 m lors des coefficients de mortes eaux. Les eaux de la Manche sont en perpétuel renouvellement à partir des masses d'eaux provenant de l'ouest. Les plus grosses houles viennent de l'ouest et du sud-ouest. La température de l'eau présente une variation annuelle sinusoïdale caractéristique des mers tempérées comprise entre 8 et 19°C. Les variations de salinité restent faibles, comprises entre 34 et 35,5.

Un modèle hydrodynamique développé par l'IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer) a permis d'étudier les trajectoires des courants résiduels en Manche en fonction de diverses conditions de marée et de météorologie (Figure 1 page 18 ; [1, 2]). Dans le golfe normand-breton, ce modèle identifie diverses masses d'eau et des structures de circulation cycloniques et anticycloniques complexes. Cette hydrodynamique complexe influence fortement la dispersion des effluents liquides faiblement radioactifs rejetés par le CNPE de Flamanville et l'usine ORANO La Hague. Plus à l'est de la Manche, et notamment à l'est de la Baie de Seine, en particulier devant les sites de Paluel, Penly et Gravelines, on observe des structures en bandes parallèles au trait de côte. Ceci a pour effet de confronter des eaux marines avec des eaux côtières alimentées par la Seine et quelques rivières de moindre importance. Côté français, ces eaux sont plaquées sur le continent le long duquel elles forment un fleuve côtier dans lequel sont rejetés les effluents liquides des CNPE de Paluel, Penly et Gravelines. En Manche, on distingue une voie centrale de transfert rapide des eaux depuis La Hague jusqu'au Pas de Calais (2 à 4 mois) et une voie côtière, plus lente (4 à 8 mois). Entre 1986 et 1998, le Laboratoire de Radioécologie de Cherbourg-Octeville de l'IRSN a réalisé de nombreuses campagnes océanographiques au cours desquelles des mesures d'activité en radionucléides conservatifs², rejetés par l'usine ORANO La Hague, en particulier l'125Sb, ont été effectuées. Ces mesures ont permis de caler le modèle de circulation hydrodynamique développé par l'IFREMER. Si la dérive générale des masses d'eaux va de l'ouest vers l'est, le modèle montre que, sous certaines conditions météorologiques, caractérisées par un vent de secteur est à nord-est persistant, la dérive des eaux côtières peut s'inverser et s'orienter temporairement vers l'ouest.

² Un radionucléide est considéré comme un traceur conservatif dès lors qu'il ne subit aucune transformation biogéochimique au sein des masses d'eau, et donc que l'évolution de sa distribution est seulement régulée par son transport dans l'eau de mer.



Par son statut de bras de mer entre l'océan Atlantique et la mer du Nord, la Manche constitue la principale voie maritime entre l'océan Atlantique et l'Europe du Nord. Bien qu'exploitée par un nombre restreint et décroissant de navires, essentiellement voués à la petite pêche (marées inférieures à 24 heures) et à la pêche côtière (marées de 24 à 96 heures), la Manche orientale produit plus de 80 % des pêches déclarées par les pays exploitant les ressources maritimes de ce secteur, non sans impact écologique et halieutique. Parmi les principales espèces cibles de poissons pêchées, on retrouve les poissons plats (sole, plie), le merlan, le rouget barbet, la dorade grise et le bar. Les ressources en crustacés³ (tourteau, homard, étrille et araignée de mer) et en mollusques (coquille Saint-Jacques et bulot) y sont également exploitées. Les activités conchylicoles (huîtres, moules) sont par ailleurs bien implantées, en particulier sur la côte ouest de la presque-île du Cotentin.

³ Indifféremment appelés « crustacés » ou « arthropodes » dans la suite de ce rapport.



5. ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE PALUEL

5.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures

Le CNPE de Paluel est situé dans le Pays de Caux, sur le littoral de la Manche, à 6 km au sud-ouest de Saint-Valéry-en-Caux et à 21 km au nord-est de Fécamp (Figure 16 page 78). Au regard de la circulation résiduelle générale des masses d'eau en Manche, dont la résultante est orientée vers l'est, le CNPE de Paluel est situé « en aval » du CNPE de Flamanville (185 km à vol d'oiseau) et de l'usine de traitement de combustible usé ORANO La Hague (185 km), et "en amont" des CNPE de Penly (43 km) et de Gravelines (167 km; Figure 1 page 18). Le CNPE de Paluel se compose de quatre réacteurs de la filière des réacteurs à eau pressurisée (REP) d'une puissance unitaire de 1300 MWe, couplés au réseau en juin 1984 (INB n°103), septembre 1984 (INB n°104), septembre 1985 (INB n°113) et avril 1986 (INB n°114).

La chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Paluel est présentée sur la Figure 15 page 74. Les références bibliographiques sont présentées en pages 205 et suivantes.



Évènements pouvant influencer le niveau de Études radioécologiques conduites radioactivité dans l'environnement du CNPE dans l'environnement du CNPE de **Paluel** Début des essais nucléaires atmosphériques : Mise en service de l'usine de traitement UP2 de la Hague : 1967 Mise en service du site de stockage de la Manche: 1969 6 essais nucléaires aériens chinois : janv.1976 -1978-1979 État de référence déc. 1978 Dernier essai nucléaire aérien chinois: 16 Incendie de silo à l'usine de la Hague : 6 janvier 1981 Couplage tranche 1: juin 1984 Couplage tranche 2 : septembre 1984 Couplage tranche 3: septembre 1985 Couplage tranche 4: avril 1986 Accident de Tchernobyl: 26 avril 1986 Mise en service de l'usine de traitement UP3 de la Hague : 1990 Mise en service de l'usine de traitement UP2-800 de la Hague: 1994 1992-1994 Suivis annuels Arrêt de l'exploitation du site de stockage de la Manche: 1994 Suivi annuel + Bilan décennal 1995 1996-2004 **Suivis annuels** 2005 Suivi annuel + Bilan décennal 2006-2010 **Suivis annuels** Accident de Fukushima: 11 mars 2011 2011 à **Suivis annuels** 2015

Figure 15 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Paluel.

2016

2017-2021

Suivi annuel + Bilan décennal

Suivis annuels



5.2. État radiologique de l'environnement terrestre

5.2.1. Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvements ainsi que la nature des échantillons collectés sont reportées sur la Figure 16 page 78. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 29 page 76. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique des sols de pâturage échantillonnés sont présentées dans le Tableau 42 page 105.

Pour l'essentiel, la stratégie de prélèvement et d'analyse est commune à l'ensemble des sites (Annexes). Le choix des stations et de la nature des prélèvements permet la comparaison des résultats avec ceux des études antérieures. Les sols échantillonnés sont des sols non cultivés sur lesquels les cultures, pluriannuelles, ne demandent aucun remaniement (pâturages). Ce type de sol est privilégié dans l'objectif de mesurer l'accumulation des dépôts atmosphériques. Les échantillons sont, en dehors des indicateurs végétaux (mousses terricoles), des vecteurs directs ou indirects de radioactivité vers l'homme. Ils sont caractéristiques des principales activités agricoles de la région, à savoir l'élevage laitier et le maraîchage. Les végétaux cultivés (salade et herbe) sont communs sur l'ensemble du territoire français. Leur cycle végétatif annuel et leur grande surface d'interception en font d'assez bons indicateurs de marquage. De l'eau de boisson et du lait de vache sont collectés sur une commune à proximité du site. Dans la stratégie générale, une mousse terricole, une production agricole, un sol de prairie, de l'herbe, un lait et une eau de boisson sont prélevés sous les vents dominants.

Les stations de prélèvements ont été définies en fonction du régime éolien local, généralement dominé par les vents de secteur ouest à sud-ouest, qui dispersent principalement les effluents atmosphériques vers la mer. La zone terrestre potentiellement la plus influencée par les rejets d'effluents atmosphériques du CNPE (ZI) se trouve dans le secteur est ou en champ proche (Paluel, Ingouville, Saint-Valéry-en-Caux). La zone hors vents dominants (ZNI) est située dans le secteur sud à sud-est. Depuis 2018, au vu du retour d'expérience, de la rose des vents moyenne sur la décennie précédente et de sa distance au CNPE, la station de Gueutteville-les-Grès, située en secteur est-sud-est et auparavant considérée comme en ZI, est recatégorisée en ZNI.

En 2021, l'IRSN n'a rencontré aucune difficulté de prélèvement dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel.

En outre, l'herbe fait l'objet de quatre mesures de ¹⁴C (une par trimestre) dont les résultats seront présentés dans le rapport simplifié exigé au titre de la réglementation 2021 ainsi que dans le rapport du suivi radioécologique annuel de l'année 2022.



Tableau 29 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique de 2021 et analyses réalisées.

| Situation par rapport au CNPE | Chronique | ronique Commune Longitude Latitude Nature WGS 84 WGS 84 | | Nature | Espèce | Fraction | Date de prélèvement | Type de mesure | Frais/ Sec | Sec/ Cendres | |
|--|---|--|----------|----------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-------------------|--|-----------------|-------|
| 9,66 km E | Paluel - Zone hors vents dominants (>5 km) | Gueutteville-les- Grès | 00,76818 | 49,84410 | Aliments liq. Non transformés | Lait de vache | Entier | 16/08/2021 | Gamma (Cendre) | 8,13 | 16,03 |
| 9,66 km E | Paluel - Zone hors vents dominants (>5 km) | Gueutteville-les- Grès | 00,76818 | 49,84410 | Aliments liq. Non transformés | Lait de vache | Entier | 16/08/2021 | C-14 par SL (Benzène) (Sec) | 7,37 | - |
| 9,66 km E | Paluel - Zone hors vents dominants (>5 km) | Gueutteville-les- Grès | 00,76818 | 49,84410 | Aliments liq. Non transformés | Lait de vache | Entier | 16/08/2021 | C élémentaire (Sec) | 7,37 | - |
| 9,66 km E | Paluel - Zone hors vents dominants (>5 km) | Gueutteville-les- Grès | 00,76818 | 49,84410 | Aliments liq. Non transformés | Lait de vache | Entier | 16/08/2021 | Rapport relatif C13/C12 (Sec) | 7,37 | - |
| 9,66 km E | Paluel - Zone hors vents dominants (>5 km) | Gueutteville-les- Grès | 00,76818 | 49,84410 | Aliments liq. Non transformés | Lait de vache | Entier | 16/08/2021 | H-3 lié (Sec) | 7,37 | - |
| 9,66 km E | Paluel - Zone hors vents dominants (>5 km) | Gueutteville-les- Grès | 00,76818 | 49,84410 | Aliments liq. Non transformés | Lait de vache | Entier | 16/08/2021 | Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec) | 7,37 | - |
| 9,66 km E | Paluel - Zone hors vents dominants (>5 km) | Gueutteville-les- Grès | 00,76818 | 49,84410 | Aliments liq. Non transformés | Lait de vache | Entier | 16/08/2021 | H-3 libre (Liquide) | 7,37 | - |
| 0,86 km NE | Paluel - Zone sous les vents (<5 km) | Paluel | 00,64245 | 49,86372 | Sols non cultivés | Sol de pâturage ou de prairie | ≤ 2 mm Strate 0- 5 cm | 01/02/2021 | Gamma (Sec) | 1,39 | - |
| 0,86 km NE | Paluel - Zone sous les vents (<5 km) | Paluel | 00,64245 | 49,86372 | Sols non cultivés | Sol de pâturage ou de prairie | ≤ 2 mm Strate 0- 5 cm | 01/02/2021 | Granulométrie (Sec) | 1,39 | - |
| 0,86 km NE | Paluel - Zone sous les vents (<5 km) | Paluel | 00,64245 | 49,86372 | Sols non cultivés | Sol de pâturage ou de prairie | ≤ 2 mm Strate 0- 5 cm | 01/02/2021 | MO après combustion (Sec) | 1,39 | - |
| 0,86 km NE | Paluel - Zone sous les vents (<5 km) | Paluel | 00,64245 | 49,86372 | Herbes | Herbe de prairie permanente | Parties aériennes | 01/02/2021 | Gamma (Cendre) | 6,18 | 4,67 |
| 0,86 km NE | Paluel - Zone sous les vents (<5 km) | Paluel | 00,64245 | 49,86372 | Herbes | Herbe de prairie permanente | Parties aériennes | 01/02/2021 | H-3 lié (Sec) | 5,82 | - |
| 0,86 km NE | Paluel - Zone sous les vents (<5 km) | Paluel | 00,64245 | 49,86372 | Herbes | Herbe de prairie permanente | Parties aériennes | 01/02/2021 | Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec) | 5,82 | |
| 0,86 km NE | Paluel - Zone sous les vents (<5 km) | Paluel | 00,64245 | 49,86372 | Herbes | Herbe de prairie permanente | Parties aériennes | 01/02/2021 | H-3 libre (Liquide) | 5,82 | - |
| 1,64 km E | Paluel - Zone sous les vents (<5 km) | Ingouville | 00,65737 | 49,86066 | Légumes | Salade | Parties aériennes | 02/08/2021 | Gamma (Cendre) | 19,67 | 3,95 |
| 1,64 km E | Paluel - Zone sous les vents (<5 km) | Ingouville | 00,65737 | 49,86066 | Légumes | Salade | Parties aériennes | 02/08/2021 | C-14 par SL (Benzène) (Sec) | 13,95 | - |
| 1,64 km E | Paluel - Zone sous les vents (<5 km) | Ingouville | 00,65737 | 49,86066 | Légumes | Salade | Parties aériennes | 02/08/2021 | C élémentaire (Sec) | 13,95 | |
| 1,64 km E | Paluel - Zone sous les vents (<5 km) | Ingouville | 00,65737 | 49,86066 | Légumes | Salade | Parties aériennes | 02/08/2021 | Rapport relatif C13/C12 (Sec) | 13,95 | • |
| 1,64 km E | Paluel - Zone sous les vents (<5 km) | Ingouville | 00,65737 | 49,86066 | Légumes | Salade | Parties aériennes | 02/08/2021 | H-3 lié (Sec) | 13,95 | |
| 1,64 km E | Paluel - Zone sous les vents (<5 km) | Ingouville | 00,65737 | 49,86066 | Légumes | Salade | Parties aériennes | 02/08/2021 | Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec) | 13,95 | |
| 1,64 km E | Paluel - Zone sous les vents (<5 km) | Ingouville | 00,65737 | 49,86066 | Légumes | Salade | Parties aériennes | 02/08/2021 | H-3 libre (Liquide) | 13,95 | |
| 5,1 km E | Paluel - Zone sous les vents (<5 km) | Saint-Valery-en- Caux | 00,70613 | 49,85621 | Mousses terricoles | Polytric Polytrichum species | Entier | 01/02/2021 | Gamma (Frais) | 1,15 | - |



| Situation par rapport au CNPE | Chronique | Commune | Longitude WGS 84 | Latitude WGS 84 | Nature | Espèce | Fraction | Date de prélèvement | Type de mesure | Frais/ Sec | Sec/ Cendres |
|--|---|---------------------------|---------------------|--------------------|--------------|-------------------|------------------|------------------------|------------------------|---------------|-----------------|
| 9,66 km E | Paluel - Eau phréatique hors aval hydraulique | Gueutteville-les- Grès | 00,76818 | 49,84410 | Eaux boisson | Eau de boisson | Filtrée 0,2µm | 17/08/2021 | H-3 libre (Liquide) | - | - |

- : absence de traitement.

Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu terrestre :

| Prélèvements hors vents dominants de l'installation (> 5km) | | | | | | | |
|---|--|---|--|--|--|--|--|
| | | Prélèvements sous les vents dominants de l'installation (< 5km) | | | | | |
| | | Prélèvement d'eau phréatique hors aval hydraulique | | | | | |





Figure 16 - Localisation du CNPE de Paluel et des stations terrestres⁷ échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2021.

⁷ Vert clair : stations hors vents dominants (ZNI). Vert foncé : stations sous les vents dominants (ZI). Les anciens noms des stations (jusqu'en 2018) sont indiqués en italique lorsqu'ils diffèrent de la nomenclature actuelle.



5.2.2. Résultats et interprétation

5.2.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine naturelle dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel sont présentés dans le Tableau 43 page 106.

En 2021, la radioactivité d'origine naturelle quantifiée dans les matrices terrestres environnant le CNPE de Paluel est du même ordre de grandeur que celle mesurée lors de l'état de référence et depuis le début des suivis radioécologiques annuels. Les activités détectées sont en accord avec les valeurs habituelles pour ces matrices [29]. Elles ont pour principale origine le ⁴⁰K et, dans une moindre mesure, les familles du ²³²Th et de I'²³⁸U. Dans le sol, l'activité massique en ⁴⁰K, en fils du ²³²Th et du ²³⁸U est en accord avec les valeurs observées en France métropolitaine [24, 25, 29]. La seconde composante cosmogénique est due au ⁷Be, présent principalement dans les végétaux dont la surface foliaire est propice à la captation des retombées atmosphériques. Dans le lait de vache, le ⁴⁰K est toujours proche de 50 Bq.L⁻¹, quels que soient l'année ou le lieu du prélèvement, car la teneur en potassium du lait est physiologiquement régulée chez l'animal.

Ces résultats de mesure attestent de l'absence de biais dans les étapes de préparation et de mesure des échantillons.

Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine artificielle dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel sont présentés dans le Tableau 44 page 107.

Dans le sol échantillonné dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel, le seul radionucléide d'origine artificielle quantifié est le 137 Cs. Ce radionucléide est également quantifié dans l'herbe, mais il ne l'est pas dans les salades, dans le lait et dans les mousses terrestres. Les analyses d' 131 l réalisées sur l'échantillon frais de mousses ne révèlent pas la présence de cet élément à des niveaux d'activité supérieurs au seuil de décision. Les activités en 137 Cs détectées dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel en 2021 sont en accord avec les niveaux observés au cours des dix dernières années (Tableau 31 à Tableau 35 page 91 et suivantes ; et Figure 17 page 80) et aux niveaux de bruit de fond attendu en milieu continental [3]. L'évolution temporelle des niveaux d'activité du 137 Cs dans l'environnement terrestre du CNPE témoigne de niveaux relativement stables de cet élément au cours des dix dernières années. L'activité γ détectée dans le cadre de cette étude ne met pas en évidence de marquage de l'environnement par les rejets d'effluents atmosphériques du CNPE.

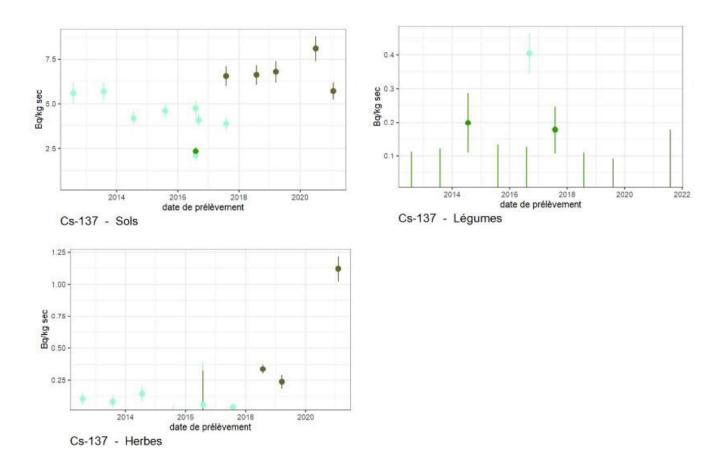
5.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel sont présentés au sein du Tableau 45 et du Tableau 46 page 108, respectivement.

L'activité en tritium libre dans l'eau de boisson est inférieure au seuil de décision. Les activités en tritium dans l'herbe (HTO), la salade (HTO) et le lait (HTO et TOL) sont proches du bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence d'un apport industriel local (0,5 à 2 Bq.L⁻¹ pour l'HTO et 0,37 à 1,8 Bq.L⁻¹ pour le TOL d'après [3]). Dans l'herbe et la salade, l'activité en tritium organiquement lié (3,6±0,9 et 3,5±0,8 Bq.L⁻¹ EC, respectivement) est en revanche supérieure à ce bruit de fond. Ces activités témoignent d'un apport local en champ proche du CNPE de Paluel pour l'herbe et la salade.





Légende pour les figures en milieu terrestre :

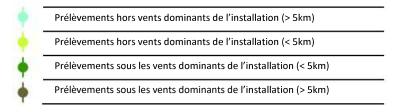


Figure 17 – Variation temporelle des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des sols (cultivés et non cultivés), des végétaux cultivés (légumes) et herbes échantillonnés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel.

Carbone 14

Les résultats d'analyse des activités en ¹⁴C dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel sont présentés au sein du Tableau 47 page 109.

L' activité en ¹⁴C dans les salades échantillonnées (272±13 Bq.kg⁻¹ C) est significativement supérieure au bruit de fond sur le territoire métropolitain français hors influence industrielle locale (223±7 Bq.kg⁻¹ C d'après [3]), et témoignent d'un apport local dans l'environnement du CNPE de Paluel, possiblement par les rejets à l'atmosphère du CNPE. Dans le lait de vache, l'activité en ¹⁴C n'est pas significativement différente du bruit de fond. Les activités mesurées dans l'herbe (228-233 Bq.kg⁻¹ de C) dans le cadre de la surveillance trimestrielle de l'année 2021 ne montrent pas non plus de marquage.



5.3. État radiologique de l'environnement aquatique

5.3.1. Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvements ainsi que la nature des échantillons collectés sont reportées sur la Figure 18 page 85. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 30 pages 82 et suivantes. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique des sédiments échantillonnés sont présentées dans le Tableau 48 page 110. Le choix des stations et de la nature des prélèvements permet la comparaison des résultats avec ceux des études antérieures. Les matrices biologiques échantillonnées sont les plus abondantes localement et/ou caractéristiques de l'économie locale. Elles correspondent également, pour la plupart, aux espèces prélevées lors de l'état de référence et au cours de la dernière décennie. Au niveau des stations côtières, accessibles à marée basse, les prélèvements de sédiments et d'algues ont été effectués à la main, tandis que les prélèvements de poissons, de crustacés et de mollusques (bulots) ont été confiés à un pêcheur professionnel. Dans la mesure du possible, des sédiments fins, ayant une surface spécifique importante plus propice au piégeage des radionucléides, ont été privilégiés (port de Saint-Valéry-en-Caux). De même, des sédiments de granulométrie proche ont été recherchés afin de mieux comparer les résultats des différents points de prélèvement. Cependant, le fort régime hydrodynamique le long de la côte d'Albâtre ne permet pas la sédimentation des particules les plus fines (limons et argiles) autour du CNPE de Paluel hormis dans les ports (cas de Saint-Valéry-en-Caux). Ainsi, aux stations de Sassetot-le-Mauconduit et de Veulettes-sur-Mer, seuls des sédiments relativement grossiers ont pu être récoltés.

Les stations de prélèvements ont été définies en fonction de l'hydrodynamisme local, dominé par des courants parallèles au trait de côte le long de la côte d'Albâtre et globalement orientés d'ouest en est. La zone marine potentiellement la plus influencée est située en champ proche (CP), un terme qui désigne des stations situées à proximité du ou des points de rejets d'effluents liquides du CNPE, et/ou dans la zone d'excursion du panache des rejets d'effluents liquides du CNPE, et qui sont donc potentiellement influencées par ces rejets. A Paluel, le champ proche désigne les stations situées à quelques kilomètres à l'ouest et à l'est du CNPE, de Veulettes-sur-Mer à Saint-Valéry-en-Caux. Les stations de référence sont situées en champ lointain (CL), un terme qui désigne des stations situées suffisamment à distance du ou des points de rejets d'effluents liquides du CNPE pour être considérées comme n'étant que peu influencées par ces rejets. Cette distance s'apprécie en fonction des conditions hydrodynamiques locales moyennes. A Paluel, le champ lointain désigne les stations situées au-delà d'une dizaine de kilomètres en « amont » du CNPE au regard de la circulation résiduelle générale des masses d'eau en Manche [1, 2], de Saint-Pierre-en-Port à Sassetot-le-Mauconduit.

En 2021, concernant les prélèvements et analyses réglementaires, comme auparavant, les analyses sur les crustacés ont été réalisées sur l'animal entier pour ce qui est de la spectrométrie gamma, et sur la chair du corps et des pinces qui a été décortiquée pour la recherche du tritium organiquement lié. De plus, comme depuis 2018, pour des raisons de sécurité, les prélèvements de sédiment, d'algues et de mollusques (patelles) habituellement effectués à Saint-Pierre-en-Port en champ lointain, ont été remplacés par des prélèvements effectués à Sassetot-le-Mauconduit (algues et sédiment) et au large de Saint-Pierre-en-Port (mollusques : patelles remplacées par des bulots). L'IRSN n'a rencontré aucune autre difficulté de prélèvement dans l'environnement marin du CNPE de Paluel.

Des analyses quinquennales ont été ajoutées sur les sédiments (tritium organiquement lié et ¹⁴C) et les mollusques (⁶³Ni et ⁵⁵Fe).



Tableau 30 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel en 2021 et analyses réalisées.

| Situation par rapport au CNPE | Chronique | Commune | Longitude WGS 84 | Latitude WGS 84 | Nature | Espèce | Fraction | Date de prélèvement | Type de mesure | Frais/ Sec | Sec/ Cendres |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------|------------------|---------------------------------------|----------|------------------------|--|---------------|-----------------|
| 8,7 km | Paluel - Champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 00,52377 | 49,82632 | Algues brunes | Fucus Fucus serratus | Entier | 03/02/2021 | Gamma (Cendre) | 4,82 | 3,94 |
| 8,7 km | Paluel - Champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 00,52377 | 49,82632 | Algues brunes | Fucus Fucus serratus | Entier | 03/02/2021 | Gamma (Frais) | 4,84 | - |
| 8,7 km | Paluel - Champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 00,52377 | 49,82632 | Algues brunes | Fucus Fucus serratus | Entier | 03/02/2021 | C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec) | 4,84 | - |
| 8,7 km | Paluel - Champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 00,52377 | 49,82632 | Algues brunes | Fucus Fucus serratus | Entier | 03/02/2021 | C élémentaire (Sec) | 4,84 | - |
| 8,7 km | Paluel - Champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 00,52377 | 49,82632 | Algues brunes | Fucus Fucus serratus | Entier | 03/02/2021 | Rapport relatif C13/C12 (Sec) | 4,84 | - |
| 8,7 km | Paluel - Champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 00,52377 | 49,82632 | Algues brunes | Fucus Fucus serratus | Entier | 03/02/2021 | H-3 lié (Sec) | 4,84 | - |
| 8,7 km | Paluel - Champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 00,52377 | 49,82632 | Algues brunes | Fucus Fucus serratus | Entier | 03/02/2021 | Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec) | 4,84 | - |
| 8,7 km | Paluel - Champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 00,52377 | 49,82632 | Algues brunes | Fucus Fucus serratus | Entier | 03/02/2021 | H-3 libre (Liquide) | 4,84 | - |
| 8,7 km | Paluel - Champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 00,52377 | 49,82632 | Algues brunes | Fucus Fucus serratus | Entier | 03/02/2021 | Fe-55 par SL (Cendre) | 4,82 | 3,94 |
| 8,7 km | Paluel - Champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 00,52377 | 49,82632 | Algues brunes | Fucus Fucus serratus | Entier | 03/02/2021 | Ni-63 par Sc. Liq. (Cendre) | 4,82 | 3,94 |
| 8,7 km | Paluel - Champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 00,52377 | 49,82632 | Sédiments | Sable de plage | ≤ 2 mm | 03/02/2021 | Gamma (Sec) | 1,33 | - |
| 8,7 km | Paluel - Champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 00,52377 | 49,82632 | Sédiments | Sable de plage | ≤ 2 mm | 03/02/2021 | C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec) | 1,35 | - |
| 8,7 km | Paluel - Champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 00,52377 | 49,82632 | Sédiments | Sable de plage | ≤ 2 mm | 03/02/2021 | C élémentaire (Sec) | 1,35 | - |
| 8,7 km | Paluel - Champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 00,52377 | 49,82632 | Sédiments | Sable de plage | ≤ 2 mm | 03/02/2021 | Rapport relatif C13/C12 (Sec) | 1,35 | - |
| 8,7 km | Paluel - Champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 00,52377 | 49,82632 | Sédiments | Sable de plage | ≤ 2 mm | 03/02/2021 | H-3 lié (Sec) | 1,35 | - |
| 8,7 km | Paluel - Champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 00,52377 | 49,82632 | Sédiments | Sable de plage | ≤ 2 mm | 03/02/2021 | Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec) | 1,35 | - |
| 8,7 km | Paluel - Champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 00,52377 | 49,82632 | Sédiments | Sable de plage | ≤ 2 mm | 03/02/2021 | Granulométrie (Sec) | 1,33 | - |
| 8,7 km | Paluel - Champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 00,52377 | 49,82632 | Sédiments | Sable de plage | ≤ 2 mm | 03/02/2021 | MO après combustion (Sec) | 1,33 | - |
| 12,33 km | Paluel - Champ lointain | Saint-Pierre-en- Port au large | 00,47330 | 49,82000 | Crustacés | Araignée de mer Maja brachydactyla | Entier | 06/01/2021 | Gamma (Cendre) | 2,43 | 1,78 |
| 12,33 km | Paluel - Champ lointain | Saint-Pierre-en- Port au large | 00,47330 | 49,82000 | Crustacés | Araignée de mer Maja brachydactyla | Chair | 06/01/2021 | H-3 lié (Sec) | 3,69 | - |
| 12,33 km | Paluel - Champ lointain | Saint-Pierre-en- Port au large | 00,47330 | 49,82000 | Crustacés | Araignée de mer Maja brachydactyla | Chair | 06/01/2021 | Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec) | 3,69 | - |
| 12,33 km | Paluel - Champ lointain | Saint-Pierre-en- Port au large | 00,47330 | 49,82000 | Mollusques | Bulot Buccinum undatum | Chair | 21/01/2021 | Gamma (Cendre) | 4,45 | 8,68 |
| 12,33 km | Paluel - Champ lointain | Saint-Pierre-en- Port au large | 00,47330 | 49,82000 | Mollusques | Bulot Buccinum undatum | Chair | 21/01/2021 | C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec) | 4,46 | - |
| 12,33 km | Paluel - Champ lointain | Saint-Pierre-en- Port au large | 00,47330 | 49,82000 | Mollusques | Bulot Buccinum undatum | Chair | 21/01/2021 | C élémentaire (Sec) | 4,46 | - |
| 12,33 km | Paluel - Champ lointain | Saint-Pierre-en- Port au large | 00,47330 | 49,82000 | Mollusques | Bulot Buccinum undatum | Chair | 21/01/2021 | Rapport relatif C13/C12 (Sec) | 4,46 | - |



| Situation par rapport au CNPE | Chronique | Commune | Longitude WGS 84 | Latitude WGS 84 | Nature | Espèce | Fraction | Date de prélèvement | Type de mesure | Frais/ Sec | Sec/ Cendres |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------|------------|--|----------|------------------------|--|---------------|-----------------|
| 12,33 km | Paluel - Champ lointain | Saint-Pierre-en- Port au large | 00,47330 | 49,82000 | Mollusques | Bulot Buccinum undatum | Chair | 21/01/2021 | H-3 lié (Sec) | 4,46 | - |
| 12,33 km | Paluel - Champ lointain | Saint-Pierre-en- Port au large | 00,47330 | 49,82000 | Mollusques | Bulot Buccinum undatum | Chair | 21/01/2021 | Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec) | 4,46 | - |
| 12,33 km | Paluel - Champ lointain | Saint-Pierre-en- Port au large | 00,47330 | 49,82000 | Mollusques | Bulot Buccinum undatum | Chair | 21/01/2021 | Fe-55 par SL (Cendre) | 4,45 | 8,68 |
| 12,33 km | Paluel - Champ lointain | Saint-Pierre-en- Port au large | 00,47330 | 49,82000 | Mollusques | Bulot Buccinum undatum | Chair | 21/01/2021 | Ni-63 par Sc. Liq. (Cendre) | 4,45 | 8,68 |
| 12,33 km | Paluel - Champ lointain | Saint-Pierre-en- Port au large | 00,47330 | 49,82000 | Poissons | Bar ou Loup Dicentrarchus labrax | Muscle | 03/01/2021 | Gamma (Cendre) | 4,35 | 16,40 |
| 12,33 km | Paluel - Champ lointain | Saint-Pierre-en- Port au large | 00,47330 | 49,82000 | Poissons | Bar ou Loup Dicentrarchus labrax | Muscle | 03/01/2021 | C-14 par SL (Benzène) (Sec) | 4,63 | - |
| 12,33 km | Paluel - Champ lointain | Saint-Pierre-en- Port au large | 00,47330 | 49,82000 | Poissons | Bar ou Loup Dicentrarchus labrax | Muscle | 03/01/2021 | C élémentaire (Sec) | 4,63 | - |
| 12,33 km | Paluel - Champ lointain | Saint-Pierre-en- Port au large | 00,47330 | 49,82000 | Poissons | Bar ou Loup Dicentrarchus labrax | Muscle | 03/01/2021 | Rapport relatif C13/C12 (Sec) | 4,63 | - |
| 12,33 km | Paluel - Champ lointain | Saint-Pierre-en- Port au large | 00,47330 | 49,82000 | Poissons | Bar ou Loup Dicentrarchus labrax | Muscle | 03/01/2021 | H-3 lié (Sec) | 4,63 | - |
| 12,33 km | Paluel - Champ lointain | Saint-Pierre-en- Port au large | 00,47330 | 49,82000 | Poissons | Bar ou Loup Dicentrarchus labrax | Muscle | 03/01/2021 | Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec) | 4,63 | - |
| 1,14 km | Paluel - Champ proche | Paluel au large | 00,63110 | 49,86750 | Crustacés | Araignée de mer Maja brachydactyla | Entier | 09/02/2021 | Gamma (Cendre) | 2,26 | 1,76 |
| 1,14 km | Paluel - Champ proche | Paluel au large | 00,63110 | 49,86750 | Crustacés | Araignée de mer Maja brachydactyla | Chair | 09/02/2021 | H-3 lié (Sec) | 3,67 | - |
| 1,14 km | Paluel - Champ proche | Paluel au large | 00,63110 | 49,86750 | Crustacés | Araignée de mer Maja brachydactyla | Chair | 09/02/2021 | Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec) | 3,67 | - |
| 1,14 km | Paluel - Champ proche | Paluel au large | 00,63110 | 49,86750 | Mollusques | Bulot Buccinum undatum | Chair | 01/05/2021 | Gamma (Cendre) | 3,96 | 9,71 |
| 1,14 km | Paluel - Champ proche | Paluel au large | 00,63110 | 49,86750 | Mollusques | Bulot Buccinum undatum | Chair | 01/05/2021 | C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec) | 4,13 | - |
| 1,14 km | Paluel - Champ proche | Paluel au large | 00,63110 | 49,86750 | Mollusques | Bulot Buccinum undatum | Chair | 01/05/2021 | C élémentaire (Sec) | 4,13 | - |
| 1,14 km | Paluel - Champ proche | Paluel au large | 00,63110 | 49,86750 | Mollusques | Bulot Buccinum undatum | Chair | 01/05/2021 | Rapport relatif C13/C12 (Sec) | 4,13 | - |
| 1,14 km | Paluel - Champ proche | Paluel au large | 00,63110 | 49,86750 | Mollusques | Bulot Buccinum undatum | Chair | 01/05/2021 | H-3 lié (Sec) | 4,13 | - |
| 1,14 km | Paluel - Champ proche | Paluel au large | 00,63110 | 49,86750 | Mollusques | Bulot Buccinum undatum | Chair | 01/05/2021 | Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec) | 4,13 | - |
| 1,14 km | Paluel - Champ proche | Paluel au large | 00,63110 | 49,86750 | Mollusques | Bulot Buccinum undatum | Chair | 01/05/2021 | Fe-55 par SL (Cendre) | 3,96 | 9,71 |
| 1,14 km | Paluel - Champ proche | Paluel au large | 00,63110 | 49,86750 | Mollusques | Bulot Buccinum undatum | Chair | 01/05/2021 | Ni-63 par Sc. Liq. (Cendre) | 3,96 | 9,71 |
| 1,14 km | Paluel - Champ proche | Paluel au large | 00,63110 | 49,86750 | Poissons | Bar ou Loup Dicentrarchus labrax | Muscle | 30/04/2021 | Gamma (Cendre) | 4,61 | 16,70 |
| 1,14 km | Paluel - Champ proche | Paluel au large | 00,63110 | 49,86750 | Poissons | Bar ou Loup Dicentrarchus labrax | Muscle | 30/04/2021 | C-14 par SL (Benzène) (Sec) | 4,34 | |
| 1,14 km | Paluel - Champ proche | Paluel au large | 00,63110 | 49,86750 | Poissons | Bar ou Loup Dicentrarchus labrax | Muscle | 30/04/2021 | C élémentaire (Sec) | 4,34 | |
| 1,14 km | Paluel - Champ proche | Paluel au large | 00,63110 | 49,86750 | Poissons | Bar ou Loup Dicentrarchus labrax | Muscle | 30/04/2021 | Rapport relatif C13/C12 (Sec) | 4,34 | |
| 1,14 km | Paluel - Champ proche | Paluel au large | 00,63110 | 49,86750 | Poissons | Bar ou Loup Dicentrarchus labrax | Muscle | 30/04/2021 | H-3 lié (Sec) | 4,34 | - |



| Situation par rapport au CNPE | Chronique | Commune | Longitude WGS 84 | Latitude WGS 84 | Nature | Espèce | Fraction | Date de prélèvement | Type de mesure | Frais/ Sec | Sec/ Cendres |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------|------------------|--|----------|------------------------|--|---------------|-----------------|
| 1,14 km | Paluel - Champ proche | Paluel au large | 00,63110 | 49,86750 | Poissons | Bar ou Loup Dicentrarchus labrax | Muscle | 30/04/2021 | Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec) | 4,34 | |
| 1,44 km | Paluel - Champ proche | Paluel | 00,61527 | 49,85988 | Algues brunes | Fucus Fucus serratus | Entier | 02/02/2021 | Gamma (Cendre) | 5,19 | 4,00 |
| 2,2 km | Paluel - Champ proche | Veulettes-sur- Mer | 00,60454 | 49,85582 | Sédiments | Sable de plage | ≤ 2 mm | 02/02/2021 | Gamma (Sec) | 1,32 | - |
| 2,2 km | Paluel - Champ proche | Veulettes-sur- Mer | 00,60454 | 49,85582 | Sédiments | Sable de plage | ≤ 2 mm | 02/02/2021 | Granulométrie (Sec) | 1,32 | |
| 2,2 km | Paluel - Champ proche | Veulettes-sur- Mer | 00,60454 | 49,85582 | Sédiments | Sable de plage | ≤ 2 mm | 02/02/2021 | MO après combustion (Sec) | 1,32 | |
| 5,74 km | Paluel - Champ proche | Saint-Valéry-en- Caux | 00,71256 | 49,87052 | Sédiments | Sable de plage | ≤ 2 mm | 02/02/2021 | Gamma (Sec) | 1,91 | |
| 5,74 km | Paluel - Champ proche | Saint-Valéry-en- Caux | 00,71256 | 49,87052 | Sédiments | Sable de plage | ≤ 2 mm | 02/02/2021 | C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec) | 2,01 | |
| 5,74 km | Paluel - Champ proche | Saint-Valéry-en- Caux | 00,71256 | 49,87052 | Sédiments | Sable de plage | ≤ 2 mm | 02/02/2021 | C élémentaire (Sec) | 2,01 | |
| 5,74 km | Paluel - Champ proche | Saint-Valéry-en- Caux | 00,71256 | 49,87052 | Sédiments | Sable de plage | ≤ 2 mm | 02/02/2021 | Rapport relatif C13/C12 (Sec) | 2,01 | - |
| 5,74 km | Paluel - Champ proche | Saint-Valéry-en- Caux | 00,71256 | 49,87052 | Sédiments | Sable de plage | ≤ 2 mm | 02/02/2021 | H-3 lié (Sec) | 2,01 | - |
| 5,74 km | Paluel - Champ proche | Saint-Valéry-en- Caux | 00,71256 | 49,87052 | Sédiments | Sable de plage | ≤ 2 mm | 02/02/2021 | Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec) | 2,01 | |
| 5,74 km | Paluel - Champ proche | Saint-Valéry-en- Caux | 00,71256 | 49,87052 | Sédiments | Sable de plage | ≤ 2 mm | 02/02/2021 | Granulométrie (Sec) | 1,91 | |
| 5,74 km | Paluel - Champ proche | Saint-Valéry-en- Caux | 00,71256 | 49,87052 | Sédiments | Sable de plage | ≤ 2 mm | 02/02/2021 | MO après combustion (Sec) | 1,91 | |
| 6,26 km | Paluel - Champ proche | Saint-Valéry-en- Caux | 00,71971 | 49,87136 | Algues brunes | Fucus Fucus serratus | Entier | 02/02/2021 | Gamma (Cendre) | 5,21 | 3,64 |
| 6,26 km | Paluel - Champ proche | Saint-Valéry-en- Caux | 00,71971 | 49,87136 | Algues brunes | Fucus Fucus serratus | Entier | 02/02/2021 | Gamma (Frais) | 5,21 | |
| 6,26 km | Paluel - Champ proche | Saint-Valéry-en- Caux | 00,71971 | 49,87136 | Algues brunes | Fucus Fucus serratus | Entier | 02/02/2021 | C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec) | 4,92 | - |
| 6,26 km | Paluel - Champ proche | Saint-Valéry-en- Caux | 00,71971 | 49,87136 | Algues brunes | Fucus Fucus serratus | Entier | 02/02/2021 | C élémentaire (Sec) | 4,92 | |
| 6,26 km | Paluel - Champ proche | Saint-Valéry-en- Caux | 00,71971 | 49,87136 | Algues brunes | Fucus Fucus serratus | Entier | 02/02/2021 | Rapport relatif C13/C12 (Sec) | 4,92 | |
| 6,26 km | Paluel - Champ proche | Saint-Valéry-en- Caux | 00,71971 | 49,87136 | Algues brunes | Fucus Fucus serratus | Entier | 02/02/2021 | H-3 lié (Sec) | 4,92 | - |
| 6,26 km | Paluel - Champ proche | Saint-Valéry-en- Caux | 00,71971 | 49,87136 | Algues brunes | Fucus Fucus serratus | Entier | 02/02/2021 | Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec) | 4,92 | |
| 6,26 km | Paluel - Champ proche | Saint-Valéry-en- Caux | 00,71971 | 49,87136 | Algues brunes | Fucus Fucus serratus | Entier | 02/02/2021 | H-3 libre (Liquide) | 4,92 | |
| 6,26 km | Paluel - Champ proche | Saint-Valéry-en- Caux | 00,71971 | 49,87136 | Algues brunes | Fucus Fucus serratus | Entier | 02/02/2021 | Fe-55 par SL (Cendre) | 5,21 | 3,64 |
| 6,26 km | Paluel - Champ proche | Saint-Valéry-en- Caux | 00,71971 | 49,87136 | Algues brunes | Fucus Fucus serratus | Entier | 02/02/2021 | Ni-63 par Sc. Liq. (Cendre) | 5,21 | 3,64 |

^{- :} absence de traitement.

Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu marin :

Prélèvements en champ lointain et hors influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE

Prélèvements en champ proche et sous influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE



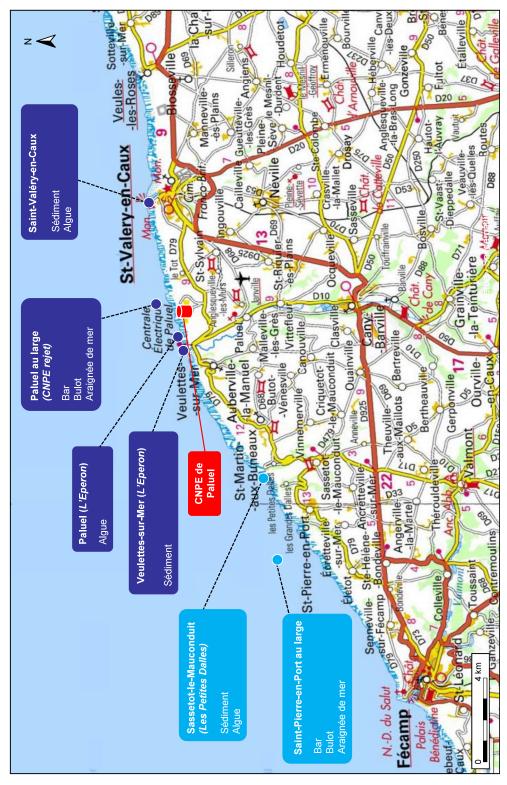


Figure 18 - Localisation du CNPE de Paluel et des stations marines⁸ échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2021.

⁸ Bleu foncé : stations en champ proche (sous influence potentielle des rejets d'effluents liquides du CNPE ; CP). Bleu clair : station en champ lointain et hors influence potentielle des rejets d'effluents liquides du CNPE (CL). Les anciens noms des stations (jusqu'en 2018) sont indiqués en italique lorsqu'ils diffèrent de la nomenclature actuelle.



5.3.2. Résultats et interprétation

5.3.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine naturelle dans l'environnement marin du CNPE de Paluel sont présentés au sein du Tableau 49 page 111.

En 2021, la radioactivité d'origine naturelle détectée dans les matrices marines environnant le CNPE de Paluel est qualitativement et quantitativement du même ordre de grandeur que celle mesurée lors de l'état de référence et depuis le début des suivis radioécologiques annuels. Les activités détectées sont en accord avec les valeurs habituelles pour ces matrices [3]. Le ⁴⁰K est le radionucléide prépondérant en termes d'activité. Les activités en ⁴⁰K dans les poissons sont en accord avec les valeurs attendues pour ces animaux dont la teneur en potassium est physiologiquement régulée (activité massique toujours proche de 100 Bq.kg⁻¹ frais). Le ⁷Be est détecté dans les matrices régulièrement émergées lors du cycle de marée, c'est le cas notamment des algues, présentant des niveaux d'activité élevés du fait de leur capacité à capter les aérosols, ainsi que des sédiments fins du port de Saint-Valéry-en-Caux. Le ⁷Be est également détecté à un niveau proche du seuil de détection dans les crustacés prélevés en champ lointain.

L'ensemble des résultats obtenus permet d'assurer que les échantillons n'ont pas subi de biais au cours des étapes de préparation et d'analyse par spectrométrie gamma.

Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine artificielle dans l'environnement marin du CNPE de Paluel sont présentés au sein du Tableau 50 page 112.

La radioactivité d'origine artificielle au sein des sédiments et des organismes marins végétaux et animaux est essentiellement imputable au ¹³⁷Cs, et dans une moindre mesure, au ⁶⁰Co, au ²⁴¹Am et à l'^{108m}Ag. Le ¹³⁷Cs, qui trouve son origine à la fois dans les retombées des essais aériens et de l'accident de Tchernobyl, ainsi que dans les rejets d'effluents liquides de l'usine de retraitement ORANO de la Hague et dans ceux des CNPE, est le plus fréquemment quantifié. Comme il le fut régulièrement au cours de la dernière décennie, l'^{108m}Ag est détecté dans les bulots en champ proche du CNPE de Paluel en 2021, à un niveau proche du seuil de décision. L'origine de ce radionucléide est incertaine. Le ⁶⁰Co, provenant à la fois des rejets d'effluents liquides de l'usine de retraitement ORANO de la Hague et dans ceux des CNPE, est quant à lui détecté en champ proche du CNPE (sédiments et algues) mais toujours à des activités proches des seuils des décisions en amont. Le ²⁴¹Am, provenant des rejets d'effluents liquides de l'usine de retraitement ORANO de la Hague, est détecté dans les sédiments fins du Port de Saint-Valéry-en-Caux, en champ proche du CNPE de Paluel. L'¹³¹I, présent dans les rejets d'effluents liquides de l'usine de retraitement ORANO de la Hague et dans ceux des CNPE, et recherché dans les algues ne présente pas d'activité supérieure au seuil de décision.

Les résultats de mesure par spectrométrie gamma obtenus en 2021 confirment ceux des années précédentes quant à la stabilité des niveaux d'activités en radionucléides artificiels mesurés dans les matrices environnementales marines proches du CNPE de Paluel (Tableau 37 à Tableau 41, pages 97 et suivantes; et Figure 19 page 88). Par ailleurs, le contexte régional (dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague en « amont » du CNPE de Paluel) et hydrologique local rend difficile une discrimination du marquage spécifique par les rejets du CNPE de Paluel sur l'environnement marin.



5.3.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans l'environnement marin du CNPE de Paluel sont présentés au sein du Tableau 51 et du Tableau 52 page 113, respectivement.

Les activités en tritium libre dans les algues correspondent aux valeurs attendues du fait des niveaux d'activités mesurables dans l'eau de mer en Manche (de l'ordre de 5 Bq.L⁻¹, et comprises entre 3,7 et 5,9 Bq.L⁻¹ à distance de l'usine ORANO [3, 26, 27]) et majoritairement imputables à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague. Les activités en tritium libre mesurées dans les algues sont plus élevées en champ proche qu'en champ lointain. Les activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés, toutes matrices confondues correspondent également aux valeurs attendues en Manche. Les activités en tritium organiquement lié sont comparables en champ proche et en champ lointain. Cette observation cohérente avec les valeurs observées au cours de la dernière décennie, témoigne de l'absence de marquage par ce radionucléide de l'environnement proche de l'émissaire du CNPE.

Carbone 14

Les résultats d'analyse des activités en ¹⁴C dans l'environnement marin du CNPE de Paluel sont présentés au sein du Tableau 53 page 114.

Les activités en ¹⁴C quantifiées au sein des sédiments, algues, mollusques et poissons collectés en champ proche et/ou en champ lointain des rejets d'effluents liquides du CNPE de Paluel sont supérieures au bruit de fond en ¹⁴C observé hors influence dans les matrices biologiques collectées en entrée de Manche (233±5 Bq.kg⁻¹ C en 2021 d'après nos mesures et d'après [3]). Dans les algues, ainsi que dans une moindre mesure dans les poissons, les activités sont supérieures en champ lointain par rapport au champ proche. Dans les mollusques, les activités sont comparables en champ proche et en champ lointain. Ces activités sont cohérentes avec les valeurs moyennes enregistrées par le passé du fait du marquage global par les INB de la Manche [3], et notamment de la proximité de l'usine ORANO La Hague.

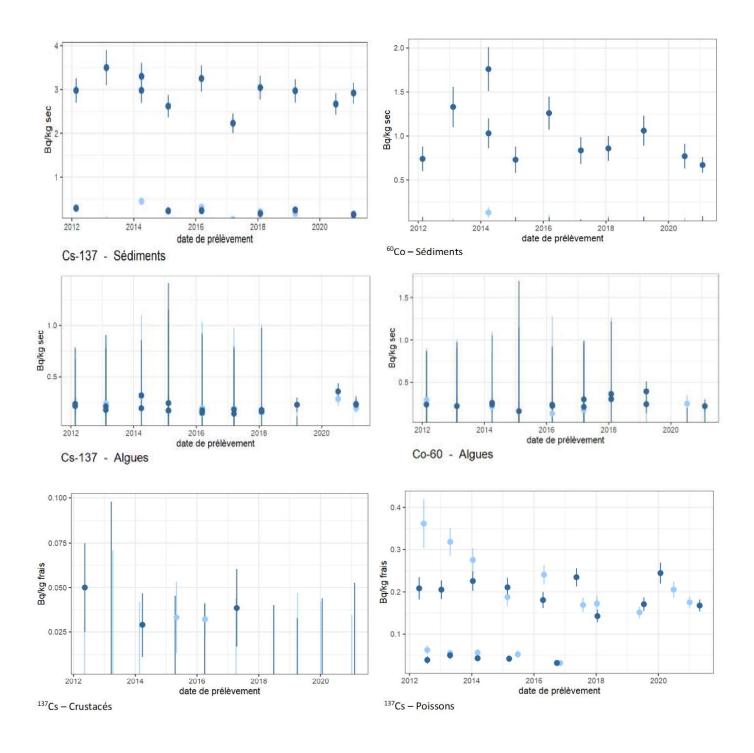
Nickel 63 et Fer 55

Les résultats d'analyse des activités en ⁶³Ni et en ⁵⁵Fe dans l'environnement marin du CNPE de Paluel sont présentés au sein du Tableau 54 et du Tableau 55 page 115, respectivement.

Le ⁶³Ni est détectable dans les algues en champ proche et lointain des rejets d'effluents liquides du CNPE de Paluel, avec des activités comparables en champ proche et lointain. Le ⁶³Ni est quantifiable dans les bulots collectés en champ proche, avec des activités semblables au seuil de décision observé en champ lointain. Les activités mesurées dans l'environnement du CNPE de Paluel sont dans la même gamme que les valeurs mesurées depuis 2016 dans les algues et depuis 2018 dans les mollusques.

Le ⁵⁵Fe, recherché dans les algues et les bulots, n'y est pas décelable en 2021. La technique de mesure du ⁵⁵Fe fournit pour ces échantillons des limites de détection trop élevées pour affiner le diagnostic, comme ce fut le cas pour les précédents bilans décennaux des CNPE de la Manche et de la Mer du Nord depuis 2011.





Légende pour les figures des pages suivantes en milieu marin :



Prélèvements en champ lointain et hors influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE

Prélèvements en champ proche et sous influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE

Figure 19 – Variation temporelle des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des sédiments, des algues, des crustacés et des poissons échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel.



5.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Paluel

Les niveaux d'activités des radionucléides naturels détectés en 2021 dans l'environnement du CNPE de Paluel sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés depuis l'instauration des suivis radioécologiques. Le ⁴⁰K est le radionucléide d'origine naturelle prépondérant.

La radioactivité gamma d'origine artificielle dans le sol et l'herbe est exclusivement imputable au ¹³⁷Cs. La présence de ce radionucléide artificiel dans l'environnement terrestre est essentiellement liée aux retombées des essais aériens d'armes nucléaires, l'accident de Tchernobyl ayant peu marqué la Normandie. La dispersion de ¹³⁷Cs depuis le milieu marin vers l'environnement terrestre *via* les aérosols marins, quelle qu'en soit l'origine, n'est également pas à exclure pour expliquer la présence de ce radionucléide au sein des matrices terrestres échantillonnées à proximité immédiate de la côte. L'activité en tritium organiquement lié met en évidence un marquage lié aux rejets d'effluents à l'atmosphère pour la salade et l'herbe. L'activité en ¹⁴C dans les salades est significativement supérieure au bruit de fond sur le territoire français hors influence industrielle (223±7 Bq.kg⁻¹ C d'après [3]). Au vu des résultats obtenus dans le cadre du suivi radioécologique 2021, il apparaît que les rejets d'effluents à l'atmosphère ne donnent pas lieu à un marquage quantifiable de l'environnement terrestre du site, si ce n'est pour le ¹⁴C dans les salades et le ³H dans l'herbe et la salade.

En 2021, les diverses matrices sédimentaires et biologiques collectées dans l'environnement marin du CNPE de Paluel sont essentiellement marquées par le ¹³⁷Cs. À une fréquence moindre, d'autres radionucléides artificiels tels le ⁶⁰Co (sédiments, algues), le ²⁴¹Am (sédiments), et l'^{108m}Ag (dans les mollusques) sont également quantifiés. Outre la rémanence des retombées atmosphériques globales dans le cas du ¹³⁷Cs, les radionucléides artificiels quantifiés dans les matrices marines ont parfois une double origine : les rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague et ceux du CNPE de Paluel (hormis pour le ²⁴¹Am, présent uniquement dans les rejets de l'usine ORANO La Hague). L'108mAg, qui peut se trouver ponctuellement dans les rejets liquides des CNPE, est uniquement quantifié dans les bulots en champ proche, sans que son origine ne soit clairement établie. En 2021, le 60Co est quantifié dans les sédiments et les algues prélevés en champ proche uniquement. Les niveaux d'activité en radionucléides artificiels émetteurs gamma quantifiés dans l'environnement marin proche du CNPE de Paluel, notamment dans les produits de consommation (mollusques, crustacés et poissons) restent très faibles. Les activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans les différents échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel sont dans la gamme des valeurs attendues considérant les niveaux d'activité mesurables dans l'eau de mer principalement liés à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague, et ne mettent pas en évidence de marquage spécifique par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Paluel. Les activités en ¹⁴C témoignent de l'influence globale des INB de la Manche [3], sans que l'influence des rejets d'effluents liquides du CNPE de Paluel ne puisse être mise en évidence.



5.5. Tableaux de résultats

Tableau 31 - Activités en radionucléides émetteurs y au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique.

| Date | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|--|--------------------------------|-------|-------|-------|---------------|----------------|--------|--------|--------|--------|
| Distance au site | 10 km | 10 km | 10 km | 10 km | 1,6 à 10,3 km | 0,8 et 10,0 km | 0,7 km | 0,7 km | 0,8 km | 0,9 km |
| Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg $^{	ext{-}}$ sec) | elle (Bq.kg ⁻¹ sec) | | | | | | | | | |
| 134Cs | | | | | | | | | • | |
| 137. | 5,6 | 5,7 | 4,2 | 4,6 | 2,1-4,7 | 3,87-6,60 | 9,9 | 8,9 | 8,1 | 5,72 |
| s) (5) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | (4/4) | (2/2) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | (1/1) |
| 57Co | | | | | | | | | | |
| ₅₈ Co | | | | | | | | | | |
| o ₀₀₉ | | | | | | | | | | |
| 110m Ag | • | | | | · | • | | , | | |
| 106Ru/Rh | | | | • | | | | | | • |
| ²⁴¹ Am | п.а. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | |

n.a : non analysé ; - : inférieur au seuil de décision.



Tableau 32 - Activités en radionucléides émetteurs y au sein d'échantillons de mousses et de lichens collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2012

à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique.

| 2021 | Entier | Paluel - zone sous les vents (<5 km) | | | | | | | | | | | • |
|-------|----------|---|--|-------|-----------|-------|------------------|-------|--------|------------------|-------------------|-------------------|-----|
| 2019 | Entier | Paluel - zone sous les vents (<5 km) | | | 0,40 | (1/1) | | | | | | | • |
| 2018 | Entier | Paluel - zone hors vents dominants (>5 km) | | | 0,75 | (1/1) | | | | | | | • |
| 17 | ier | Paluel - zone hors vents dominants (<5 km) | | | 0,45 | (1/1) | | | | | | | |
| 2017 | Entier | Paluel - zone hors vents dominants (>5 km) | | | 0,45-1,72 | (2/2) | | | | | | | |
| 16 | ier | Paluel - zone hors vents dominants (<5 km) | | | 0,42 | (1/2) | | | | | | | |
| 2016 | Entier | Paluel - zone hors vents dominants (>5 km) | ¹ sec) | | 0,76 | (1/1) | | | | | | | |
| 15 | ier | Paluel - zone hors vents dominants (<5 km) | Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec) | | 0,21 | (1/2) | • | | • | · | • | · | • |
| 2015 | Entier | Paluel - zone hors vents dominants (>5 km) | gamma d'origine a | | , | | | | | | | | |
| 14 | ier | Paluel - zone hors vents dominants (<5 km) | Emetteurs | | 0,48-1,87 | (2/2) | | | | | | | |
| 2014 | Entier | Paluel - zone hors vents dominants (>5 km) | | | 1,14 | (1/1) | | | | | | | , |
| 13 | ier | Paluel - zone hors vents dominants (<5 km) | | | 0,78 | (1/1) | | | | | | | |
| 2013 | Entier | Paluel - zone hors vents dominants (>5 km) | | | 1,41-9,7 | (2/2) | | | | | | | |
| 12 | ier | Paluel - zone hors vents dominants (<5 km) | | | 0,34-1,83 | (2/2) | | | | | | | |
| 2012 | Entier | Paluel - zone hors vents dominants (>5 km) | | | 4,75 | (1/1) | | | | | | | , |
| Année | Fraction | Chronique | | 134Cs | 137Cs | | ₅₈ Co | °0,Co | 110mAg | ⁵⁴ Mn | ¹²⁴ Sb | ¹²⁵ Sb | 131 |

Espèces concernées : Eurhynchium species, Polytric, Polytric formosum, Ramaline des Rochers

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.



Tableau 33 - Activités en radionucléides émetteurs γ et θ au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique.

| Emetteurs y d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec) 134Cs 137Cs 0,11 0,00 (1/1) (1/1) (1/1) 57Co 58Co 110mAg 106Ru/Rh | 10 km 0,08 (1/1) | 10 km 0,15 (1/1) | 10 km | 0,8 et 10,3 km | 10 km | 0,7 km 0,34 (1/1) | 0,7 km 0,24 (1/1) | 0,8 km n.a. | 0,9 km |
|---|-------------------------------|------------------------------------|---------|----------------|---------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|---------|
| urs y d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec) 0,11 (1/1) | | 0,15 (1/1) | | 0,06 (1/3) | 0,04 | 0,34 (1/1) | 0,24 | n.a. | |
| . (1/1) | | (1/1) | | 0,06 (1/3) | 0,04 | 0,34 (1/1) | 0,24 (1/1) | n.a. | |
| 0,11 | | 0,15 | | 0,06 (1/3) | 0,04 | 0,34 | 0,24 (1/1) | | |
| · · · · · · | ` | · · · · · · | | | | | | n.a. | 1,119 |
| 58Co | | | | | | | | n.a. | |
| 60Co | | | | | | | | n.a. | |
| 110mAg 100Ru/Rh | | | | | | • | | n.a. | |
| 106Ru/Rh | | | | | | • | | n.a. | |
| | | | | | | | | n.a. | |
| | | , | | | | | | n.a. | |
| Émetteurs β (³H libre : Bq.L¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L¹ d'eau de combustion ; 14 C : Bq. 1 Kg 1 | q.L ^{.1} d'eau de co | ombustion; ¹⁴ C : Bq.kg | () | | | | | | |
| ³ H libre n.a. n.a | n.a. | n.a. | 3,0 | 1,8-5,8 | 2,4 | 2,5 | 4,1 | 2,8 | 2,3 |
| ³Н lié n.a. n.a | n.a. | n.a. | n.a. | 1,4-3,6 (2/2) | 3,1 | 2,5 | 3,5 | 2,7 | 3,6 |
| 14C 233 233 | 232 | 229-244 | 230-252 | 231-278 | 232-272 | 226-242 | 244-259 | 232-264 | 221-233 |

n.a.: non analysé. -: inférieur au seuil de décision.



Tableau 34 - Activités en radionucléides émetteurs γ et θ au sein d'échantillons de salades collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2012 à 2021

dans le cadre du suivi radioécologique.

| Date | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|---|------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|------|--------|
| Distance au site | 1,6 km | 1,6 km | 1,6 km | 1,6 km | 1,6 et 5,7 km | 1,6 km | 1,6 km | 1,6 km | | 1,6 km |
| Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg $^{	ext{-}}$ sec) | ificielle (Bq.kg ⁻¹ sec | : | | | | | | | | |
| ¹³⁴ Cs | | | | | | • | | | n.a. | |
| ¹³⁷ Cs | | | 0,20 | | 0,40 | 0,18 | | | n.a. | |
| ₅₇ Co | , | | | | | , | | | n.a. | , |
| ₅₈ Co | , | | | | | | | | n.a. | , |
| ٥٥,00 | • | | | | | • | | | n.a. | • |
| 110m Ag | • | | | | | | | • | n.a. | • |
| 106Ru/Rh | • | | | | | | | • | n.a. | • |
| ²⁴¹ Am | , | | | | | | | | n.a. | |
| | | | | | | | | | | |
| Date | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| Distance au site | 1,6 km | 1,6 km | 1,6 km | 1,6 km | 1,6 et 5,7 km | 1,6 km | 1,6 km | 1,6 km | | 1,6 km |
| Émetteurs β (³H libre : Bq.L¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L¹ d'eau de combustion ; 14C : Bq.kg¹ C) | d'eau de dessiccation, | , ³H lié : Bq.L¹¹ d'eau d≀ | e combustion; ¹⁴ C : Bq. | .kg ^{.1} C) | | | | | | |
| | | | | 2.6 | 1.2-1.6 | 1.6 | 2.2 | 1.7 | | 2.7 |
| ³H libre | n.a. | n.a. | n.a. | (1/1) | (2/2) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | n.a. | (1/1) |
| ³H lié | n.a. | n.a. | n.a. | 2,5 (1/1) | 2,7-3,2 (2/2) | 2,6 (1/1) | 2,4 (1/1) | 2,2 (1/1) | n.a. | 3,5 |
| | | | | | | | | | | |

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

272 (1/1)

n.a.

239 (1/1)

235 (1/1)

n.a.

236-257 (2/2)

n.a.

n.a.

n.a.

n.a.

δ



Tableau 35 - Activités en radionucléides émetteurs γ et θ au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique.

| Distance au site 10 km Emetteurs γ d'origine artificielle (Bq.L-¹) 134Cs | 2013 10 km | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|--|---------------------------------|-----------------------------------|---------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|
| nce au site 10 km teurs γ d'origine artificielle (Bq.L-¹) | 10 km | - 07 | | | | | | | |
| Émetteurs y d'origine artificielle (Bq.L ⁻¹) ¹³⁴ Cs . ¹³⁷ Cs . | | 10 km | 10 km | 10 km | 10 km | 9,5 km | 9,6 km | 9,6 km | 9,7 km |
| 137Cs | | | | | | | | | |
| | | | , | , | , | | | n.a. | |
| - ° ° ° ° ° ° ° ° ° ° ° ° ° ° ° ° ° ° ° | | | | 0,009 | | 0,006 | 0,004 | n.a. | |
| | | | | • | | | | n.a. | |
| . · · · · · · · · · · · · · · · · · · · | | | | | | | | n.a. | |
| · • • • • • • • • • • • • • • • • • • • | | | | | | | | n.a. | |
| 110mAg - | | | | | | | | n.a. | |
| 106Ru/Rh - | • | | | | | | | n.a. | |
| ²⁴¹ Am - | | | | · | | | | п.а. | |
| | | | | | | | | | |
| Date 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| Distance au site 10 km | 10 km | 10 km | 10 km | 10 km | 10 km | 9,5 km | 9,6 km | 9,6 km | 9,7 km |
| Émetteurs $oldsymbol{\beta}$ (³H libre : Bq.L¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg¹¹ C) | : Bq.L ⁻¹ d'eau de c | ombustion, ¹⁴ C : Bq.k | ŗ¹ C) | | | | | | |
| 6,0 | | 0,8 | 0,7 | 6,0 | | | | | 0,9 |
| (1/1) | | (1/1) | (1/1) | (1/1) | | | | | (1/1) |
| אוו ווג | 1,2 | 1,7 | 1,8 | 6,0 | 6,0 | 1,4 | 9,0 | ŝ | 1,2 |
| י בו | (1/1) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | ·a | (1/1) |
| 7 | 2 | 2 | 230-233 | 227-235 | 234 | 243 | 229 | 246 | 227 |
| 1:0: | | | (4/4) | (2/2) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | (1/1) |



Tableau 36 - Activités en radionucléides émetteurs γ et heta au sein d'échantillons d'eau de boisson collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2012 à

2021 dans le cadre du suivi radioécologique.

| Date | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | |
|---|---------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|------|--------|--|
| Distance au site | 1,6 km | 1,6 km | 10 km | 1,6 km | • | 9,7 km | |
| Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.L-¹) | tificielle (Bq.L⁻¹) | | | | | | | | | | |
| ¹³⁴ Cs | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | |
| ¹³⁷ Cs | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | |
| ₅₇ Co | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | • | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | |
| ₅₈ Co | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | |
| 00,9 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | |
| 110mAg | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | |
| 106Ru/Rh | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | |
| ²⁴¹ Am | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | |
| Émetteurs $oldsymbol{\beta}$ (³H libre : Bq.L ⁻¹) | -1) | | | | | | | | | | |
| ³ H libre | | 1,1 | | , | | | 0,7 | • | n.a. | | |
| | | | | | | | | | | | |

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.



Tableau 37 - Activités en radionucléides émetteurs γ et θ au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2012 à 2021

dans le cadre du suivi radioécologique.

| 21 | mm | Paluel - champ proche | | • | 0,150- 2,92 (2/2) | • | 0,670 | (1/2) | | • | | | 1,49 | n.a. | | n.a. | 2,13 (1/1) | 340,9 | n.a. |
|-------|----------|-------------------------------|--|-------|-------------------------|------------------|-----------|-------|--------|------------------|-------------------|-------|-------------------|------|---|-----------------|-------------|-------------------|------------------|
| 2021 | ≤ 2 mm | Paluel - champ lointain | | | 0,133 | | | | | · | , | ı | n.a. | n.a. | | n.a. | 4,8 (1/1) | n.d. (1/1) | n.a. |
| 0; | nm | Paluel - champ proche | | | 2,67 | | 0,77 | (1/1) | | | | | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| 2020 | < 2 mm | Paluel - champ lointain | ' | | | | | | | | | | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| 6 | шı | Paluel - champ proche | | | 0,250-2,97 | | 1,06 | (1/2) | | | | | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| 2019 | < 2 mm | Paluel - champ lointain | ' | , | 0,170 | | | | | | | | n.a. | n.a. | sec) | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| 8 | mu | Paluel - champ proche | | | 0,167- 3,04 (2/2) | | 0,86 | (1/2) | | | | | n.a. | n.a. | ا: Bq.kg ⁻¹ | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| 2018 | < 2 mm | Paluel - champ lointain | | | 0,213 | | | | | | | | n.a. | n.a. | 3q.kg ^{.1} C; ⁶³ l | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| 7 | nm | Paluel - champ proche | sec) | | 2,23 | | 0,84 | (1/2) | | | | | n.a. | n.a. | ustion, ¹⁴ C : E | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| 2017 | ≥ 2 mm | Paluel - champ lointain | ielle (Bq.kg ⁻¹ | | 0,032 | | | | | | | | n.a. | n.a. | au de combu | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| 2016 | ≤ 2 mm | Paluel - champ proche | Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec) | | 0,235-3,25 | | 1,26 | (1/2) | | | | | n.a. | n.a. | essication, ³H lié:Bq.L'¹ d'eau de combustion, ¹⁴C:Bq.kg¹¹ C; ⁶³ Ni:Bq.kg⁻¹ sec) | n.a. | 34-44 (2/2) | 135,0-206,6 (2/2) | 1,99 |
| 21 | < 2 | Paluel - champ lointain | eurs gamma | | 0,313 | | | | | | | | n.a. | n.a. | lessication, ³ | n.a. | n.a. | 95,6 (1/1) | |
| 15 | mm | Paluel - champ proche | Emett | | 0,230- 2,62 (2/2) | · | 0,73 | (1/2) | | | · | | n.a. | n.a. | Emetteurs beta (³H libre: Bq.L⁻¹ d'eau de d | 6,50-6,90 (2/2) | n.a. | n.a. | n.a. |
| 2015 | ≥ 2 mm | Paluel - champ lointain | | | | | | | | | | | n.a. | n.a. | 'H libre : Bq. | 7,60 | n.a. | n.a. | n.a. |
| 2014 | ≤ 2 mm | Paluel - champ proche | | | 2,98-3,30 (2/2) | | 1,03-1,76 | (2/2) | | | | | n.a. | n.a. | tteurs beta (| n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| 20 | < 2 | Paluel - champ lointain | | | 0,450 (1/1) | | 0,130 | (1/1) | | | | | n.a. | n.a. | Eme | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| 13 | шш | Paluel - champ proche | | | 3,50 | | 1,33 | (1/2) | | | | | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| 2013 | ≥ 2 mm | Paluel - champ lointain | | , | | | | | | , | , | , | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| 12 | mm | Paluel - champ proche | | · | 0,290- 2,98 (2/2) | | 0,74 | (1/2) | , | • | · | | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| 2012 | ≥ 2 mm | Paluel - champ lointain | | | 0,300 | | | | | , | | , | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| Année | Fraction | Chronique | | 134Cs | 137Cs | ₅₈ Co | °CO | | 110mAg | ₅₄ Mn | ¹²⁴ Sb | 125Sb | ²⁴¹ Am | 131 | | ³H libre | ³H Lié |) O | iN ⁶⁹ |



| Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite | préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de | la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale. |
|---|--|--|
| | こうと | |

| | i | | | | | | | | |
|-------|----------|---|------------------------------|-----------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| 21 | ≤ 2 mm | Paluel - champ proche | | n.a. | | n.a. | | n.a. | |
| 2021 | < 2 | Paluel - champ lointain | | n.a. | | n.a. | | n.a. | |
| 50 | шш | Paluel - champ proche | | n.a. | | n.a. | | n.a. | |
| 2020 | ≥ 2 mm | Paluel - champ lointain | | n.a. | | n.a. | | n.a. | |
| 2019 | mm | Patuet - champ proche | | n.a. | | n.a. | | n.a. | |
| 07 | ≥ 2 mm | Paluel - champ lointain | | n.a. | | n.a. | | n.a. | |
| 2018 | ≤ 2 mm | Paluel - champ proche | | n.a. | | n.a. | | n.a. | |
| 07 | < 2 | Paluel - champ lointain | | n.a. | | n.a. | | n.a. | |
| 2017 | ≤ 2 mm | Paluel - champ proche | | n.a. | | n.a. | | n.a. | |
| 07 | < 2 | Paluel - champ lointain | g.1 sec) | n.a. | | n.a. | | n.a. | |
| 2016 | ≤ 2 mm | Paluel - champ proche | Emetteurs alpha (Bq.kg¹ sec) | 0,970 | (1/1) | 0,332 | (1/1) | 1,660 | (1/1) |
| 30 | < 2 | Paluel - champ lointain | Emette | 0,0955 | (1/1) | 0,0287 | (1/1) | 0,1069 | (1/1) |
| 2015 | ≤ 2 mm | Paluel - champ proche | | n.a. | | n.a. | | n.a. | |
| 07 | < 2 | Paluel - champ lointain | | n.a. | | n.a. | | n.a. | |
| 2014 | ≤ 2 mm | Paluel - champ proche | | n.a. | | n.a. | | n.a. | |
|)7 | < 2 | Paluel - champ lointain | | n.a. | | n.a. | | n.a. | |
| 2013 | ≤ 2 mm | Paluel - champ proche | | n.a. | | n.a. | | n.a. | |
| 07 | < 2 | Paluel - champ lointain | | n.a. | | n.a. | | n.a. | |
| 12 | ≤ 2 mm | Paluel - champ proche | | n.a. | | n.a. | | n.a. | |
| 2012 | < 2 I | Chronique Paluel - champ lointain | | n.a. | | n.a. | | n.a. | |
| Année | Fraction | Chronique | | ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu | | 238Pu | | 241Am | |

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision. n.d. : non déterminé car %C₁o⊤ trop faible pour effectuer la mesure de 14C.

Tableau 38 - Activités en radionucléides émetteurs γ et θ au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique.

| Date | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|--|----------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|---|---------------------|--------------------|--------------------|------------------|---------------|----------------------|
| Distance au site | 0,8 à 12 km | 0,8 à 12 km | 0,8 à 12 km | 0,8 à 12 km | 0,8 à 12 km | 0,8 à 12 km | 1,6 à 8,8 km | 1,6 à 8,8 km | 6,3 et 9,7 km | 1,4 à 8,7 km |
| Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg $^{	ext{-}1}$ sec) | icielle (Bq.kg ⁻¹ sec | ÷ | | | | | | | | |
| 134Cs | , | | | | | , | • | | • | |
| ¹³⁷ Cs | 0,21-0,24 | 0,18-0,24 | 0,19-0,32 | 0,17-0,24 | 0,15-0,19 | 0,14-0,19 | 0,15-0,18 | 0,23 | 0,28-0,36 | 0,193-0,235 |
| 28℃ | () - | · · | () - | · | · ' | | | () - | i ' | · |
| o ₀₉ | 0,24-0,30 | 0,22 | 0,21-0,26 | 0,16 | 0,13-0,24 | 0,18-0,30 | 0,30-0,36 | 0,24-0,39 | 0,25 | 0,220 |
| 110m Å g | (2/3) | (1/3) | (3/3) | (1/3) | (3/4) | (3/3) | (3/3) | (2/3) | (1/7) | (5/1) |
| 106Ru/Rh | | | | | | | | | | |
| ²⁴¹ Am | | 0,18 | | | | | | | | |
| 129 | , | (6) | | | 4,6-10,8 | , | , | | | |
| 131 | | | | | ' | | | | | |
| Émetteurs β (³H libre : Bq.L·¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L·¹ d'eau de combustion ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C, ⁶³ Ni : Bq.kg ⁻¹ sec) | 'eau de dessiccation, | , ³H lié : Bq.L¹¹ d'eau d | e combustion ; ¹⁴ C : Bq | .kg ⁻¹ C ; ⁶³ Ni : Bq.kg ⁻¹ st | (pa | | | | | |
| ³H libre | n.a. | n.a. | n.a. | 5,2-6,5 (3/3) | 4,0-6,8 (4,4) | n.a. | 5,6-6,9 (2/2) | 4,6-9,5 (2/2) | n.a. | 3,4-5,4 (2/2) |
| ³H lié | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 4,8-7,3 (4,4) | n.a. | 6,0-7,1 (2/2) | 6,5-7,3 (2/2) | n.a. | 5,1-5,3 (2/2) |
| 14C | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 288-302 (3/3) | n.a. | 286-290 (2/2) | 269-278 (2/2) | n.a. | 274,5-284,1 (2/2) |
| 63Ni - | n.a. | n.a. | n.a. | 0,462-0,91 (2/2) | 0,36-1,32 (3/3) | 1,08-1,53 (2/2) | 1,00-1,92 (3/3) | 1,10-1,16 (2/2) | n.a. | 0,86-1,13 (2/2) |
| Émetteurs α (Bq.kg ⁻¹ sec) | | | | | | | | | | |
| 239+240 pu | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 87,8-172,0 (3/3) | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| 238 Pu | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 32,8-61,1 (3/3) | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| ²⁴¹ Am | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 18,8-26,2 (3/3) | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |



n.a. n.a. n.a. n.a. n.a. 0,94-1,58 (3/3) n.a. n.a. n.a. n.a. 244Cm

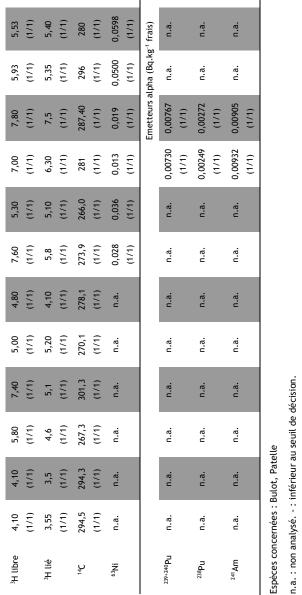
n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 39 - Activités en radionucléides émetteurs γ et θ au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique.

| 21 | air | Paluel - champ proche | | | 0,0154 | n.a. | | | | | | | n.a. | n.a. | 0,0240 (1/1) |
|-------|----------|-------------------------------|--|-------|----------------------------|-------------------|------------------|--------------------------|--------------|------|-------------------|-------|------|----------------------|----------------------------|
| 2021 | Chair | Paluel - champ lointain | | | 0,0111 | n.a. | | | | | | | n.a. | n.a. | |
| | Chair | Paluel - champ proche | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| 2020 | 5 | Paluel - champ lointain | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |
| 20 | Chair | Paluel - champ proche | | | 0,0136 | n.a. | • | 0,0087 | | • | • | • | n.a. | n.a. | 0,0159 |
| | 5 | Paluel - champ lointain | | | • | n.a. | | • | | | | | n.a. | n.a. | 0,047 |
| 2019 | Chair | Paluel - champ proche | | | 0,0163 | n.a. | ٠ | • | | | ٠ | | n.a. | n.a. | 0,0137 |
| 70 | 5 | Paluel - champ lointain | | | 0,0235 | n.a. | ٠ | • | | • | ٠ | • | n.a. | n.a. | 0,0276 (1/1) |
| 2018 | Chair | Paluel - champ proche | | | 0,0214-0,049 | 0,0192 | | 0,0142 | 0,0119 (1/2) | | , | | n.a. | 0,100 | 0,0510 (1/2) |
| 20 | Ch | Paluel - champ lointain | ' frais) | | 0,0175 | n.a. | | 0,0118 | 0,0127 | | ı | | n.a. | 0,155 | 0,0519 (1/1) |
| 2017 | Chair | Paluel - champ proche | Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ frais) | | 0,0393 | n.a. | | | | | | | n.a. | n.a. | 0,0141 |
| 20 | Š | Paluel - champ lointain | igine artific | | 0,0177 | n.a. | | | | • | ı | 1 | n.a. | n.a. | n.a. |
| 2016 | air | Paluel - champ proche | gamma d'or | | 0,0180-0,0208 | n.a. | | | 0,054 | | , | , | | n.a. | 0,0184 (1/2) |
| 20. | Chair | Paluel - champ lointain | Emetteurs | | 0,0147- 0,0209 (2/2) | n.a. | , | | 0,025 | , | | | | n.a. | 0,0180- 0,0332 (2/2) |
| 5 | ir | Paluel - champ proche | | | 0,0184- 0,0745 (2/2) | 0,0318 | | 0,0432 (1/2) | 0,0169 (1/2) | , | , | , | n.a. | n.a. | 0,0217 |
| 2015 | Chair | Paluel - champ lointain | | | 0,0196- 0,0290 (2/2) | n.a. | | | 0,0137 | , | | | n.a. | n.a. | 0,0185- 0,0220 (2/2) |
| 4 | ir | Paluel - champ proche | | | 0,0214- 0,128 (2/2) | 0,051 | • | 0,071 | 0,025 | , | , | | n.a. | n.a. | n.a. |
| 2014 | Chair | Paluel - champ lointain | | | 0,0357 | n.a. | | 0,023- 0,031 (2/2) | | | | | n.a. | n.a. | 0,026 (1/1) |
| 3 | į. | Paluel - champ proche | | | 0,0220- 0,076 (2/2) | 0,027 | | 0,0150 | | | | | n.a. | n.a. | 0,0191 |
| 2013 | Chair | Paluel - champ lointain | | , | 0,0172- 0,037 (2/2) | n.a. | , | | | , | , | , | n.a. | n.a. | 0,0199 |
| 2 | ir | Paluel - champ proche | | | 0,028- 0,0314 (2/2) | n.a. | | | | | | | n.a. | n.a. | n.a. |
| 2012 | Chair | Paluel - champ lointain | | | 0,0219- 0,0275 (2/2) | n.a. | | 0,031 | | | | | n.a. | n.a. | n.a. |
| Année | Fraction | Chronique | | 134Cs | ¹³⁷ Cs | ²⁴¹ Am | ₅₈ Co | °50,9 | 110m Ag | 54Mn | ¹²⁴ Sb | 125Sb | 131 | ¹⁰⁶ Ru/Rh | ¹08mAg |

Emetteurs beta (3H libre: Bq.L¹ d'eau de dessication, 3H lié: Bq.L¹ d'eau de combustion, ¹⁴C: Bq.kg¹ C; 63Ni: Bq.kg⁻¹ sec)





²³⁹⁺²⁴⁰Pu

e3 Ni

0,0138

n.a.

n.a.

n.a.

n.a.

0,0227

(1/1) 0,079 (1/1)

(1/1) 368

287

(1/1)

n.a.

335,0 (1/1)

334,7 5,1

n.a.

n.a.

n.a.

n.a.

333,2 (1/1) 0,0124 (1/1)

(1/1) 330,6 (1/1)

6,2 (1/1)

5,22 (1/1)

(1/1)

5,3 (1/1)

4,1

4,60

n.a.

3H libre

³H lié

4

Espèces concernées : Bulot, Patelle

241Am

²³⁸Pu



Tableau 40 - Activités en radionucléides émetteurs γ et θ au sein d'échantillons de crustacés collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2012 à

2021 dans le cadre du suivi radioécologique.

| | l | Ì | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--------------|--|-------------------|-------|-------|-------------------|---------|------------------|------------------|-------|--------|------|-------------------|-------|------|---|---|------------------------|------------------------|-------------------------------|
| | Chair | | n.a. | n.a. | | n.a. | | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | | | n.a. | 3,50 | n.a. |
| 2021 | 5 | | n.a. | n.a. | | n.a. | | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | | | n.a. | 3,90 | n.a. |
| 70 | ier | | | | | n.a | | | | | | | | | n.a | | | n.a | п.а | n.a |
| | Entier | | | | | n.a | | | | | | | | | n.a | ٠ | | n.a | n. a | n.a |
| | air | | n.a. | n.a. | | n.a. | | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | | | n.a. | 3,50 | n.a. |
| 2020 | Chair | | n.a. | n.a. | | n.a. | | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | | | n.a. | 3,50 | n.a. |
| 20 | ier | | | | | n.a | | | | | | | | | n.a | | | n.a | n.a | n.a |
| | Entier | | | | | n.a | | | | | ٠ | | | | n.a | | | n.a | n.a | n.a |
| | Chair | | n.a. | n.a. | | n.a. | | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | | | n.a. | 4,10 | n.a. |
| 2019 | ų. | | n.a. | n.a. | | n.a. | | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | | | n.a. | 1,1 | n.a. |
| 70 | Entier | | | | | n.a | | | | | | | , | | n.a | | C) | n.a | п.а | n.a |
| | Ent | | | | | n.a | | | | | | | | | n.a | ٠ | : Bq.kg | n. | ъ. | л. |
| | Chair | | n.a. | n.a. | | n.a. | | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | | on, ¹⁴ C | n.a. | 6,62 | n.a. |
| 2018 | ម | | n.a. | n.a. | | n.a. | | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | | mbustic | n.a. | 4,79 | n.a. |
| 70 | Entier | frais) | | | | n.a | | | | | | | | | n.a | • | o ap r | n.a | n.a | n.a |
| | Ent | Bq.kg ⁻¹ | | | | n.a | | | | | | | | | n.a | ٠ | .¹ ďeau | n.a | л. | n.a |
| | Chair | cielle (| n.a. | n.a. | | n.a. | | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | | é : Bq.L | n.a. | 4,81 | n.a. |
| 2017 | 5 | e artifi | n.a. | n.a. | | n.a. | | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | | n, ³H li | n.a. | 4,4 | n.a. |
| 20 | Entier | d'origir | | 0,03 | (1/1) | n.a. | | | | | | | | | n.a. | | ssicatio | n.a. | n.a. | n.a. |
| | En | gamma | | | | n.a | • | | | | | | | | n.a | | ap ap r | л. | л. | л. Э. |
| | Viscère s | Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ frais) | n.a. | n.a. | | n.a. | | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | | : Bq.L'¹ d'eau de dessication, 3H lié : Bq.L'¹ d'eau de combustion, ^{14}C : Bq.kg¹ C) | 4,90 | 5,33 | 356,1 |
| | | Επ | n.a. | n.a. | | n.a. | | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | | | 6,60 | 5,00 | 337, 7 (1/1) |
| 2016 | Chair | | n.a. | n.a. | | n.a. | | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | | Emetteurs beta (³H libre | 5,20- 5,60 (2/2) | 5,23- 6,00 (2/2) | 341,0- 393,1 0 (2/2) |
| | <u>.</u> | | | | | n.a | | | | | | | | | | | tteurs l | n.a | л.а | n.a |
| | Entier | | | 0,032 | (1/1) | 0,022 | 4 (1/1) | | 0,042 | (1/1) | | | | | | | Eme | n.a. | n.a. | n.a. |
| 2 | er | | | , | | 0,05 | (1/1) | | | | | , | | | n.a. | | | 4,90 | n.a. | n.a. |
| 2015 | Entier | | | 0,03 | (1/1) | n.a. | | | | | | | | | n.a. | | | 5,70 | n.a. | n.a. |
| 2014 | Entier | | | 0,02 | (1/1) | n.a. | | | | | | | , | | n.a. | | | n.a. | n.a. | n.a. |
| 20 | 딥 | | | | | n.a | | | | | | | | | n.a | · | | n.a · | n.a | n.a |
| 2013 | Entier | | | , | | n.a | • | | | | | | | | n.a | • | | n.a | л. | n.a |
| 2(| 끕 | | • | | | n.a | | • | • | | | • | • | • | n.a | | | n.a. | л. В | n.a |
| 2012 | Entier | | • | 0,05 | (1/1) | n.a. | | • | • | | | • | • | | n.a. | | | n.a. | п.а. | n.a. |
| 2, | | | • | | | n.a | | • | | | ٠ | • | ٠ | • | n.a | | | л.а | л. Б | п. |
| Année | Fractio n | | ¹³⁴ Cs | 137Cs | | ²⁴¹ Am | | _{s8} Co | 00 ₀₉ | | 110mAg | 54Mn | ¹²⁴ Sb | 125Sb | 131 | | | ³H libre | ³H lié | ¹ 4C |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Espèces concernées : Araignée de mer, Homard gammarus, Tourteau. Paluel - champ lointain : blanc, Paluel - champ proche : gris foncé n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.



Tableau 41 - Activités en radionucléides émetteurs γ et $oldsymbol{ heta}$ au sein d'échantillons de poissons collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique.

| Année | 20 | 2012 | 2013 | 13 | 20 | 2014 | 20 | 2015 | 2016 | 16 | 2017 | 7 | 2018 | _ | 2019 | | 2020 | | 2021 | _ |
|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|--|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Fraction | Wu: | Muscle | Muscle | cle | Wus | Muscle | Wus | Muscle | Muscle | cle | Muscle | cle | Muscle | el | Muscle | e | Muscle | le | Muscle | le |
| Chronique | Paluel - champ lointain | Paluel - champ proche | Paluel - champ lointain | Paluel - champ proche | Paluel - champ lointain | Paluel - champ proche | Paluel - champ lointain | Paluel - champ proche | Paluel - champ lointain | Paluel - champ proche | Paluel - champ lointain | Paluel - champ proche | Paluel - champ Iointain | Paluel - champ proche |
| | | | | | | | | Emette | urs gamma d'o | urs gamma d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ frais) | lle (Bq.kg ⁻¹ f | rais) | | | | | | | ' | |
| ¹³⁴ Cs | | | , | | | | | | , | | , | | | , | , | | | | | |
| ¹³⁷ Cs | 0,062-0,362 | 0,0388- | 0,0551- 0,318 | 0,0498- | 0,0561- | 0,0429- | 0,0521- | 0,0418- | 0,0315- 0,241 | 0,0317- | 0,169 | 0,235 | 0,172 | 0,143 | 0,152 | 0,171 | 0,205 | 0,245 | 0,175 | 0,168 |
| | (2/2) | (2/2) | (2/2) | (2/2) | (2/2) | (2/2) | (2/2) | (2/2) | (2/2) | (2/2) | | | | | | | | | | |
| ₅₈ Co | | | , | ۰ | | | | | , | | , | | | , | , | , | | | | |
| 00 ₀₉ | | | | · | | • | | | | | | • | | • | | • | | | | |
| 110mAg | | | , | , | , | , | | | , | | , | | | , | , | | | | | , |
| ⁵⁴ Mn | | | | , | , | | | , | , | | | , | | , | | | | , | | , |
| ¹²⁴ Sb | | | | · | , | | | | | | | | | · | | | | | | |
| 125Sb | | | | , | , | | | | , | | | | , | , | ı | | | | ı | , |
| 131 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | | n.a. | n.a. |
| | | | | | | Emetteu | ırs beta (³H l | Emetteurs beta (3 H libre : Bq.L 4 d | | eau de dessication, ${}^3{\rm H}$ lié : Bq.L $^{-1}$ d'eau de combustion, ${}^{14}{\rm C}$: Bq.kg 1 C) | Bq.L ⁻¹ d'eau | de combustio | n, ¹⁴C : Bq.kፂ | ş ⁻¹ C) | | | | | | |
| ³H libre | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 7,10 | 3,90-6,90 | 5,50-9,5 | 6,60-8,60 | n.a. | n.a. |
| | | | | | | | (1/1) | (2/2) | (2/2) | (2/2) | | | | | | | | | | |
| ³H lié | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 4,40 | 4,10-4,20 | 4,90-5,50 | 5,09-7,50 | 6,04 | 3,75 | 0,6 | 7,88 | 11,3 | 4,70 | 2,30 | 5,2 | 4,20 | 4,0 |
| | | | | | | | (1/1) | (2/2) | (2/2) | (2/2) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | (1/1) |
| ¹ | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 369 | 290-322 | 314-390 | 324-447,60 | 343 | 319 | 346 | 338 | 346 | 371 | 308 | 315 | 322 | 294 |
| | | | | | | | (1/1) | (2/2) | (2/2) | (2/2) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | (1/1) | (1/1) |
| | | | | | | | | | Emetteurs | Emetteurs alpha (Bq.kg ⁻¹ frais) | frais) | | | | 1 | | | | 1 | |
| ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | , | 0,000012 | n.a. | n.a. |
| | | | | | | | | | | (1/1) | | | | | | | | | | |
| 238Pu | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | | | n.a. | n.a. |
| ²⁴¹ Am | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 0,0000104 | 0,000024 | n.a. | n.a. |
| | | | | | | | | | (1,/1) | (1/1) | | | | | | | | | | |

Espèces concernées : Bar ou Loup, Sole, Vieille. n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.



105/ 228

Tableau 42 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sol collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2021.

| Chronique | Commune | Date de prélèvement | Nature | Espèce | Fraction | Date de mesure | Qualité Frais/sec | Frais/sec | Fractions | % |
|----------------------------------|---------|------------------------|--------|-------------------------------|----------|-------------------|-------------------|-----------|-------------------|----------|
| Paluel - zone sous les vents (<5 | Paluel | 01/02/2021 | Sols | Sol de pâturage ou de prairie | ≥ 2 mm | 21/10/2021 | sec | 1,39 | Matière organique | 6,2±0,2 |
| KIII) | | | | | | | | | Argile (< 2µm) | 20,6±0,8 |
| | | | | | | | | | Limons fins | 8,3±0,5 |
| | | | | | | | | | Limons grossiers | 23,1±1,1 |
| | | | | | | | | | Sables fins | 24,6±0,7 |
| | | | | | | | | | Sables grossiers | 23,4±1,0 |

Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu terrestre :

| Prélèvements hors vents dominants de l'installation (> 5km) |
|---|
| Prélèvements sous les vents dominants de l'installation (< 5km) |
| Prélèvement d'eau phréatique hors aval hydraulique |



Tableau 43 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2021.

| | Unité | | Bq.kg ⁻¹ sec | Bq.kg ⁻¹ sec | Bq.kg ⁻¹ sec | Bq.kg ⁻¹ sec | Bq.L¹ |
|---|---------------------------------|-------------------|---|---|---|---|--|
| | ⁷ Be | | > 2,2 | 123±10 | 1 128±86 | 382±19 | ≤ 0,12 |
| | | ²¹⁰ Pb | 36±12 | 9,6±1,8 | 81±15 | n.a. | ≥ 0,069 |
| | Famille de l' ²³⁸ U | 234тРа | 27,0±8,0 | ≥ 30 | ≥ 5,8 | n.a. | <i>5</i> 0,77 ≥ |
| | Far | ²³⁴ Th | 24,0±5,0 | 2,13±0,99 | 4,13±0,64 | n.a. | ≥ 0,061 |
| - | Famille du ²³² Th | ²²⁸ Ac | 21,3±2,4 | 2,53±0,66 | 4,45±0,36 | ≥ 1,4 | ≤ 0,025 |
| | 40K | | 211±17 | 2 200±200 | 323±28 | 215±11 | 45,3±3,8 |
| - | Date de mesure | | 16/04/2021 | 20/10/2021 | 12/04/2021 | 05/02/2021 | 25/11/2021 |
| | Frais/Sec | | 1,39 | 19,67 | 6,18 | 1,15 | 8,13 |
| | Qualité | | Sec | Cendre | Cendre | Frais | Cendre |
| | Fraction | | ≥ 2 mm | Parties aériennes | Parties aériennes | Entier | Entier |
| | Espèce | | Sol de pâturage ou de prairie | Salades | Herbe de prairie permanente | Polytric | Lait de vache |
| | Nature | | Sols | Légumes | Herbes | Mousses terrestres | Produits laitiers |
| - | Date de prélèvement | | 01/02/2021 | 02/08/2021 | 01/02/2021 | 01/02/2021 | 16/08/2021 |
| | Commune | | Paluel | Ingouville | Paluel | Saint-Valery- en-Caux | Gueutteville- les-Grès |
| | Chronique | | Paluel - zone sous les vents (<5 km) | Paluel - zone sous les vents (<5 km) | Paluel - zone sous les vents (<5 km) | Paluel - zone sous les Saint-Valery- vents (<5 km) en-Caux | Paluel - zone hors vents dominants (>5 km) |

n.a. : non analysé.



Tableau 44 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2021.

| Chronique | Commune | Date de prélèvement | Nature | Espèce | Fraction | Qualité | Frais/ Sec | Frais/ Date de Sec mesure | 134Cs | ¹³⁷ Cs | 1232тТе | ₅₈ Co | O ₀₉ | 1232mTe 59Co 60Co 110mAg 54Mn 124Sb 125Sb 131f* | 54Mn | ^{12.4} Sb | ¹²⁵ Sb | 131 * | Unité |
|---|--------------------------|-------------------------------|-----------------------|----------------------------------|--|---------|---------------|------------------------------|----------|---|----------|------------------|-----------------|---|-----------|--------------------|-------------------|---------|---|
| Paluel - zone sous les vents (<5 km) | Paluel | Paluel 01/02/2021 Sols | | Sol de pâturage ou de prairie | ≥ 2 mm | Sec | 1,39 1 | Sec 1,39 16/04/2021 ≤ 0,11 | ≥ 0,11 | $5,72\pm0,49$ $\leq 0,15$ $\leq 0,20$ $\leq 0,11$ $\leq 0,15$ $\leq 0,14$ $\leq 0,23$ $\leq 0,33$ n.a. Bq.kg¹ sec | ≥ 0,15 | ≤ 0,20 | ≥ 0,11 | ≥ 0,15 | ≥ 0,14 ≥ | ≤ 0,23 ≤ | ≤ 0,33 | n.a. Bc | 1.kg ^{.1} sec |
| Paluel - zone sous les vents (<5 km) | Ingouville | Ingouville 02/08/2021 Légumes | Légumes | Salades | Parties aériennes Cendre 19,67 $20/10/2021 \le 0,18$ | Cendre | 19,67 2 | 0/10/2021 | s 0,18 | ≥ 0,18 | ≤ 0,13 | ≥ 0,46 | ≥ 0,33 | ≥ 0,30 | < 0,25 | ≤ 0,41 ≤ | ≤ 0,46 | n.a. Bo | $\leq 0,13 \leq 0,46 \leq 0,33 \leq 0,30 \leq 0,25 \leq 0,41 \leq 0,46$ n.a. Bq.kg¹ sec |
| Paluel - zone sous les vents (<5 km) | Paluel | Paluel 01/02/2021 Herbes | Herbes | Herbe de prairie permanente | Parties aériennes Cendre 6,18 12/04/2021 ≤ 0,039 1,119± 0,098 ≤ 0,045 ≤ 0,077 ≤ 0,056 ≤ 0,058 ≤ 0,062 ≤ 0,073 ≤ 0,13 n.a. Bq.kg¹ sec | Cendre | 6,18 1 | 2/04/2021 | ≥ 0,039 | 1,119± 0,098 | < 0,045 | ≥ 0,077 | > 0,056 | ≥ 0,058 | < 0,062 < | 0,073 = | ≤ 0,13 | n.a. Bc | 1.kg ^{.1} sec |
| Paluel - zone sous les Saint-Valery- 01/02/2021 Mousses vents (<5 km) en-Caux | Saint-Valery en-Caux | , 01/02/2021 | Mousses terrestres | Polytric | Entier | Frais | 1,15 0 | Frais 1,15 05/02/2021 < 0,25 | < 0,25 | ≥ 0,33 | n.a. | s 0,31 | ≥ 0,34 | n.a. $\leq 0,31 \leq 0,34 \leq 0,26 \leq 0,31 \leq 0,28 \leq 0,69 \leq 0,34$ Bq.kg $^{'}$ sec | ≤ 0,31 = | ≤ 0,28 ≤ | > 69'0 > | 0,34 Bc | a.kg ^{.¹} sec |
| Paluel - zone hors vents Gueutteville- 16/08/2021 Produits dominants (>5 km) les-Grès latiers | Gueuttevill∈ les-Grès | 16/08/2021 | Produits laitiers | Lait de vache | Entier | Cendre | 8,13 2 | 5/11/2021 | ≤ 0,0054 | Cendre 8,13 25/11/2021 ≤ 0,0054 ≤ 0,0054 ≤ 0,0046 ≤ 0,015≤ 0,0077≤ 0,0084≤ 0,0069≤ 0,014 ≤ 0,013 n.a. | ≤ 0,004€ | ; ≤ 0,015. | ≥ 0,0077 | ≤ 0,0084≤ | ≥6900'0 ≥ | . 0,014 ≤ | 0,013 | n.a. | Bq.L¹ |

n.a.: non analysé. * Du fait de sa courte période radioactive, 1'131 a été analysé sur des échantillons frais.



Tableau 45 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2021.

| Chronique | Commune | Date de prélèvement | Nature | Espèce | Fraction | Frais/Sec | Date de mesure | ³ H libre (Bq. L¹ d'eau de (Bq. kg¹ sec dessiccation) ou frais ou Bq.L¹) | ³ H libre (Bq.kg ¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹) | Unité |
|--|--|------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|-------------------|---|--|---------|
| Paluel - zone sous les vents (<5 km) | Ingouville | 02/08/2021 | Légumes | Salades | Parties aériennes | 13,95 | 13,95 14/10/2021 | 2,7±0,8 | 2,51±0,74 | Frais |
| Paluel - zone sous les vents (<5 km) | Paluel | 01/02/2021 | Herbes | Herbe de prairie permanente | Parties aériennes | 5,82 | 5,82 04/04/2021 | 2,3±0,8 | 1,90±0,66 Frais | Frais |
| Paluel - zone hors vents dominants (>5 km) | Paluel - zone hors vents Gueutteville-les-Grès 16/08/2021 Produits laitiers dominants (>5 km) | 16/08/2021 | Produits laitiers | Lait de vache | Entier | 7,37 | 7,37 22/11/2021 | 0,9±0,7 | 0,78±0,61 Liquide | Liquide |
| Paluel - Eau phréatique hors aval hydraulique | Paluel - Eau phréatique Gueutteville-les-Grès 17/08/2021 Eaux de boisson hors aval hydraulique | 17/08/2021 | Eaux de boisson | Eau de boisson | Filtrée 0,2µm | | 14/10/2021 | 9,0≥ | ≤ 0,60 Liquide | Liquide |

n.a.: non analysé.

Tableau 46 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2021.

| Liquide | 0,115±0,067 | 1,2±0,7 | 23/11/2021 | 7,37 | Entier | Lait de vache | Produits laitiers | 16/08/2021 | Gueutteville-les-Grès 16/08/2021 | Paluel - zone hors vents dominants (>5 km) |
|---------|---|---|-------------------|-----------|-------------------|-----------------------------|-------------------|------------------------|----------------------------------|---|
| Frais | 0,319±0,081 | 3,6±0,9 | 5,82 10/04/2021 | 5,82 | Parties aériennes | Herbe de prairie permanente | Herbes | 01/02/2021 | Paluel | Paluel - zone sous les vents (<5 km) |
| Frais | 0,128±0,030 | 3,5±0,8 | 25/10/2021 | 13,95 | Parties aériennes | Salades | Légumes | 02/08/2021 | Ingouville | Paluel - zone sous les vents (<5 km) |
| Unité | TOL (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹) | TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion) | Date de mesure | Frais/Sec | Fraction | Espèce | Nature | Date de prélèvement | Commune | Chronique |

n.a. : non analysé.



Tableau 47 - Activités en 14 C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2021.

| Commune | Date de prélèvement | Nature | Espèce | Fraction | Frais/Sec | Date de mesure ¹⁴C | 14C (Bq.kg ⁻¹ C) | 14 c (Bq.kg ⁻¹ frais ou sec ou Bq.L ⁻¹ d'ECH) | C _{ror} (g.kg ⁻¹ frais ou sec ou g.L ⁻¹ d'ECH) | δ ¹³ C/ ¹² C (‰) | pMC (%) | Unité |
|---|------------------------------------|------------------|---------|-------------------|-----------|-----------------------|--------------------------------|--|--|---|------------|---------|
| Paluel - zone hors vents Gueutteville- 16/08/2021 Produits Lait de dominants (>5 km) les-Grès laitiers vache | Produits Lait de laitiers vache | Lait de vache | | Entier | 8,13 | 8,13 18/04/2022 | 227±11 | 14,53±0,70 | 61 | -28,56 | 101,2±4,9 | Liquide |
| Ingouville 02/08/2021 Légumes Salades Parties | | | Parties | Parties aériennes | 13,95 | 24/01/2022 | 272±13 | 7,69±0,37 | 28 | -30,56 | 121,7±5,8 | Frais |



Tableau 48 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sédiment collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2021.

| Chronique | Commune | Date de prélèvement | Nature | Espèce | Fraction | Date de mesure | Qualité | Frais/sec | Fractions | % |
|----------------|-------------------|------------------------|-----------|----------------|----------|-------------------|---------|-----------|-------------------|-------------|
| Paluel - champ | Saint-Valery-en- | 02/02/2021 | Sédiments | Sable de plage | ≥ 2 mm | 21/10/2021 | sec | 1,91 | Matiere organique | 8,4±0,3 |
| procne | Caux | | | | | | | 1 | Argiles (<2μm) | 29,4±1,1 |
| | | | | | | | | | Limons Fins | 36,6±1,5 |
| | | | | | | | | | Limons Grossiers | 24,6±1,2 |
| | | | | | | | | | Sables Fins | 8,4±0,4 |
| | | | | | | | | | Sables Grossiers | 1,0±0,5 |
| Paluel - champ | Veulettes-sur-Mer | 02/02/2021 | Sédiments | Sable de plage | ≥ 2 mm | 21/10/2021 | sec | 1,32 | Matiere organique | 0,25±0,03 |
| procne | | | | | | | | 1 | Argiles (<2µm) | 4,1±0,3 |
| | | | | | | | | | Limons Fins | 0,3±0,2 |
| | | | | | | | | | Limons Grossiers | 0,6±0,2 |
| | | | | | | | | | Sables Fins | 28,5±0,8 |
| | | | | | | | | | Sables Grossiers | 66,5±1,8 |
| Paluel - champ | Sassetot-le- | 03/02/2021 | Sédiments | Sable de plage | s 2 mm | 21/10/2021 | sec | 1,33 | Matiere organique | 0,003±0,003 |
| lointain | Mauconduit | | | | | | | I | Argiles (<2μm) | 3,0±0,3 |
| | | | | | | | | | Limons Fins | 0,1±0,1 |
| | | | | | | | | | Limons Grossiers | 0,9±0,2 |
| | | | | | | | | | Sables Fins | 46,3±1,1 |
| | | | | | | | | | Sables Grossiers | 49,7±1,5 |

Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu marin :

Prélèvements en champ lointain et hors influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE

Prélèvements en champ proche et sous influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE



Tableau 49 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2021.

| Unité | | Bq.kg | Bq.kg ⁻ | Bq.kg ⁻ ¹sec | Bq.kg ⁻ | Bq.kg ⁻ 1 sec | Bq.kg ⁻ | Bq.kg ⁻ ¹sec | Bq.kg ⁻ ¹sec | Bq.kg | Bq.kg ⁻ ¹ frais | Bq.kg ⁻ frais | Bq.kg | Bq.kg | Bq.kg ⁻ frais |
|-------------------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 'Be | | 7,3±1,4 | 3,40±0,90 | 2,10±0,80 | 14,1±9,4 | 22,3±1,9 | 28,5±2,7 | 16±13 | 22,6±1,8 | 2,8±1,4 | ≥ 8,8 | ≥ 0,60 | ≤ 0,75 | ≥ 0,50 | ≥ 0,34 |
| | 210Pb | 46,0±9,0 | 9,1±2,3 | 9,9±2,4 | n.a. | 2,80±0,88 | 3,55±1,00 | n.a. | 2,49±0,79 | 1,39±0,39 | 0,78±0,35 | 0,341±0,086 | 0,37±0,10 | ≥ 0,14 | ≥ 0,061 |
| Famille de l ²³⁸ U | 234мРа | 16,0±8,0 | ≥ 10 | ≥ 8,0 | n.a. | ^1 41 | ≥ 25 | n.a. | 16,8±6,4 | ≥ 4,4 | ≤ 7,3 | ≥ 1,6 | ≥ 1,6 | ≥ 1,4 | ≥ 0,78 |
| Fa | 234Th | 16,0±2,6 | 5,00±0,90 | 5,8±1,2 | n.a. | 5,63±0,91 | 6,15±0,67 | n.a. | 8,0±1,1 | ≥ 0,56 | 0,60±0,20 | 0,294±0,055 | 0,215±0,044 | ≤ 0,11 | ≥ 0,052 |
| Famille du | ²²⁸ Ac | 10,80±0,80 | 2,73±0,47 | 2,55±0,23 | ≥ 5,2 | 6,76±0,55 | 6,60±0,52 | ≤ 7,2 | 7,09±0,56 | 0,95±0,12 | 0,80±0,25 | 0,065±0,023 | ≥ 0,049 | ≤ 0,042 | < 0,022 |
| 40K | | 216±18 | 82,0±7,0 | 77,0±7,0 | 1 510±62 | 1 410±120 | 1 240±110 | 1 258±77 | 1 260±110 | 72,8±6,0 | 55,0±4,8 | 111,7±9,6 | 109,9±9,3 | 125±11 | 117±10 |
| Date de mesure | | 15/04/2021 | 15/04/2021 | 15/04/2021 | 04/02/2021 | 12/04/2021 | 15/04/2021 | 05/02/2021 | 12/04/2021 | 29/06/2021 | 14/10/2021 | 08/11/2021 | 29/06/2021 | 29/06/2021 | 10/11/2021 |
| Frais/Sec | | 1,91 | 1,32 | 1,33 | 5,21 | 5,21 | 5,19 | 4,82 | 4,82 | 2,43 | 2,26 | 3,96 | 4,45 | 4,35 | 4,61 |
| Qualité | | Sec | Sec | Sec | Frais | Cendre | Cendre | Frais | Cendre | Cendre | Cendre | Cendre | Cendre | Cendre | Cendre |
| Fraction | | ≥ 2 mm | ≥ 2 mm | s 2 mm | Entier | Entier | Entier | Entier | Entier | Entier | Entier | Chair | Chair | Muscle | Muscle |
| Espèce | | Sable de plage | Sable de plage | Sable de plage | Fucus Fucus serratus | Fucus Fucus serratus | Fucus Fucus serratus | Fucus Fucus serratus | Fucus Fucus serratus | Araignée de mer Maja brachydactyla | Araignée de mer Maja brachydactyla | Bulot Buccinum undatum | Bulot Buccinum undatum | Bar ou Loup Dicentrarchus labrax | Bar ou Loup Dicentrarchus labrax |
| Nature | | Sédiments | Sédiments | Sédiments | Algues | Algues | Algues | Algues | Algues | Crustacés aquatiques | Crustacés aquatiques | Mollusques aquatiques | Mollusques aquatiques | Poissons | Poissons |
| Date de prélèvement | | 02/02/2021 | 02/02/2021 | 03/02/2021 | 02/02/2021 | 02/02/2021 | 02/02/2021 | 03/02/2021 | 03/02/2021 | 06/01/2021 | 09/02/2021 | 01/05/2021 | 21/01/2021 | 03/01/2021 | 30/04/2021 |
| Commune | | Saint-Valery-en- Caux | Veulettes-sur-Mer | Sassetot-le- Mauconduit | Saint-Valery-en- Caux | Saint-Valery-en- Caux | Paluel | Sassetot-le- Mauconduit | Sassetot-le- Mauconduit | Saint-Pierre-en- Port au large | Paluel au large | Paluel au large | Saint-Pierre-en- Port au large | Saint-Pierre-en- Port au large | Paluel au large |
| Chronique | | Paluel - champ proche | Paluel - champ proche | Paluel - champ lointain | Paluel - champ proche | Paluel - champ proche | Paluel - champ proche | Paluel - champ lointain | Paluel - champ lointain | Paluel - champ lointain | Paluel - champ proche | Paluel - champ proche | Paluel - champ lointain | Paluel - champ lointain | Paluel - champ proche |

n.a.: non analysé.



Tableau 50 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2021.

| Chronique | Commune | Date de prélèvement | t Nature | Espèce | Fraction | QualitéFrais/Sec | rais/Sec | Date de mesure | ¹³⁴ Cs | 137 Cs | 28Co | 6,00 | 110mAg 54 | ⁵⁴ Mn ¹²⁴ Sb | 125Sb | 241Am | 123mТе | 108mAg | 131 | Unité |
|-------------------------------|---|------------------------|--------------------------|---------------------------------------|----------|------------------|----------|-------------------|-------------------|----------------|---------|--------------|---|------------------------------------|-----------|-------------------|-----------|----------------|----------------------------|------------------------------|
| Paluel - champ proche | Saint-Valery-en- Caux | | 02/02/2021 Sédiments | Sable de plage | ≤ 2 mm | Sec | 1,91 | 15/04/2021 | ≥ 0,11 | 2,92± 0,24 | ≤ 0,20 | 0,670±0,090 | <pre>< 0,15 < 0</pre> | < 0,13 < 0,22 | | ≤ 0,30 1,49± 0,16 | ≥ 0,13 | ≥ 0,13 | n.a. E | Bq.kg ^{.1} se |
| Paluel - champ , proche | Paluel - champ Veulettes-sur-Mer 02/02/2021 Sédiments proche | - 02/02/2021 | Sédiments | Sable de plage | ≥ 2 mm | Sec | 1,32 | 15/04/2021 | ≥ 0,070 | 0,150± 0,060 | ≥ 0,14 | ≥ 0,090 | ≤ 0,100 ≤ 0,080 | ,080 ≤ 0,14 | 4 ≤ 0,21 | ≥ 0,14 | ≥ 0,080 | 0,090 ≥ | ≥ 32 E | Bq.kg ^{.¹} se |
| Paluel - champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 03/02/2021 | 03/02/2021 Sédiments | Sable de plage | ≤ 2 mm | Sec | 1,33 | 15/04/2021 | ≥ 0,060 | 0,133± 0,044 | ≤ 0,11 | ≥ 0,080 | ≥ 0,080 ≥ 0, | ≤ 0,070 ≤ 0,13 | 3 ≤ 0,17 | ≥ 0,14 | ≥ 0,070 | ≥ 0,080 | n.a. E | Bq.kg⁻¹se |
| Paluel - champ proche | Saint-Valery-en- Caux | 02/02/2021 | Algues | Fucus Fucus serratus | Entier | Frais | 5,21 (| 04/02/2021 | ≥ 0,89 | ≥ 1,2 | ≥ 1,1 | ≥ 1,4 | ≥ 0,94 ≤ | 1,1 ≤ 0,89 | 9 ≤ 2,6 | n.a. | n.a. | n.a. | ≤ 0,94 Bq.kg ^{.1} | 3q.kg ^{.¹} se |
| Paluel - champ proche | Saint-Valery-en- Caux | 02/02/2021 | Algues | Fucus Fucus serratus | Entier | Cendre | 5,21 | 12/04/2021 | ≥ 0,096 | 0,228± 0,055 | ≥ 0,19 | 0,220± 0,080 | ≤ 0,14 ≤ 0 | ≤ 0,13 ≤ 0,19 | 9 ≤ 0,25 | ≥ 0,14 | ≥ 0,077 | ≥ 0,14 | n.a. E | Bq.kg⁺ se |
| Paluel - champ proche | Paluel | 02/02/2021 | Algues | Fucus Fucus serratus | Entier | Cendre | 5,19 | 15/04/2021 | ≤ 0,12 | 0,235± 0,075 | ≤ 0,27 | ≤ 0,22 | ≤ 0,20 ≤ 0 | ≤ 0,15 ≤ 0,25 | 5 ≤ 0,30 | ≤ 0,12 | ≥ 0,087 | ≥ 0,17 | n.a. E | Bq.kg ^{.¹} se |
| Paluel - champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 03/02/2021 | Algues | Fucus Fucus serratus | Entier | Frais | 4,82 (| 05/02/2021 | ≥ 1,3 | ≥ 1,8 | ≤ 1,7 | ≥ 1,8 | , 1,4 , ≤ | ≤ 1,7 ≤ 1,4 | 1 ≤ 3,4 | n.a. | n.a. | n.a. | ≥ 1,3 E | ≤ 1,3 Bq.kg ^{.1} se |
| Paluel - champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 03/02/2021 | Algues | Fucus Fucus serratus | Entier | Cendre | 4,82 | 12/04/2021 | ≥ 0,079 | 0,193± 0,043 | ≤ 0,15 | ≤ 0,12 | ≤ 0,11 ≤ 0, | ≤ 0,091 ≤ 0,15 | 5 ≤ 0,20 | ≥ 0,11 | ≥ 0,058 | ≥ 0,11 | n.a. E | Bq.kg⁻¹se |
| Paluel - champ Sa lointain | Paluel - champ Saint-Pierre-en-Port 06/01/2021 Iointain au large | rt 06/01/2021 | Crustacés aquatiques | Araignée de mer Maja brachydactyla | Entier | Cendre | 2,43 | 29/06/2021 | ≤ 0,037 | ≥ 0,035 | ≥ 0,16 | ≥ 0,051 | 0,053 < 0, | ≤ 0,044 ≤ 0,19 | 9 ≤ 0,079 | ≥ 0,039 | ≥ 0,042 | ≤ 0,037 | n.a. | Bq.kg ⁻¹ frais |
| Paluel - champ proche | Paluel au large | 09/02/2021 | Crustacés aquatiques | Araignée de mer Maja brachydactyla | Entier | Cendre | 2,26 | 14/10/2021 | ≥ 0,055 | ≥ 0,053 | ≥ 0,58 | ≤ 0,073 | ≤ 0,13 ≤ 0, | ≤ 0,085 ≤ 0,75 | 5 ≤ 0,18 | ≥ 0,048 | ≤ 0,11 | ≥ 0,075 | n.a. | Bq.kg ⁻¹ frais |
| Paluel - champ proche | Paluel au large | 01/05/2021 | Mollusques aquatiques | Bulot Buccinum undatum | Chair | Cendre | 3,96 | 08/11/2021 | 9600'0 ≥ | 0,0154± 0,0047 | ≥ 0,057 | ≥ 0,018 | ≥ 0,018 ≤ 0, | ≤ 0,013 ≤ 0,068 | 8 ≤ 0,023 | ≥ 0,010 | ≥ 0,012 0 | 0,0240± 0,0044 | t n.a. | Bq.kg ⁻¹ frais |
| Paluel - champ Sa lointain | Paluel - champ Saint-Pierre-en-Port Lointain au large | rt 21/01/2021 | Mollusques aquatiques | Bulot Buccinum undatum | Chair | Cendre | 4,45 | 29/06/2021 | ≤ 0,011 | 0,0111± 0,0060 | ≤ 0,052 | ≤ 0,018 | $\leq 0.021 \leq 0.016 \leq 0.052 \leq 0.026$ | .016 ≤ 0,05 | 2 ≤ 0,026 | ≤ 0,013 | ≥ 0,011 | ≤ 0,021 | n.a. | Bq.kg ⁻¹ frais |
| Paluel - champ Sa lointain | Paluel - champ Saint-Pierre-en-Port 03/01/2021 lointain au large | rt 03/01/2021 | Poissons | Bar ou Loup Dicentrarchus labrax | Muscle | Cendre | 4,35 | 29/06/2021 | ≥ 0,0098 | 0,175± 0,014 | ≤ 0,052 | ≥ 0,014 | ≥ 0,017 ≤ 0, | ≤ 0,013 ≤ 0,056 ≤ 0,022 | 6 ≤ 0,022 | ≥ 0,011 | ≥ 0,011 | ≥ 0,011 | n.a. | Bq.kg ⁻¹ frais |
| Paluel - champ proche | Paluel au large | 30/04/2021 | Poissons | Bar ou Loup Dicentrarchus labrax | Muscle | Cendre | 4,61 | 10/11/2021 | ≤ 0,0052 | 0,168± 0,014 | ≤ 0,032 | ≥ 0,0078 | ≤ 0,010 ≤ 0,0078 ≤ 0,038 ≤ 0,012 | 0078 ≤ 0,03 | 8 ≤ 0,012 | ≤ 0,0053 | ≥ 0,0065 | ≥ 0,0064 | n.a. | Bq.kg ⁻¹ frais |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

n.a.: non analysé. * Du fait de sa courte période radioactive, l'¹³¹l a été analysé sur des échantillons frais.



Tableau 51 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2021.

| Chronique | Commune | Date de prélèvement | Nature | Espèce | Fraction | Frais/Sec | Date de mesure | ³H libre (Bq.L¹ d'eau de dessiccation) | ³H libre (Bq.kg¹ frais -¹) |
|-------------------------|------------------------|------------------------|--------|-------------------------|----------|-----------|-------------------|--|-------------------------------|
| Paluel - champ proche | Saint-Valery-en-Caux | 02/02/2021 | Algues | Fucus Fucus serratus | Entier | 4,92 | 04/04/2021 | 5,4±0,8 | 4,30±0,64 |
| Paluel - champ lointain | Sassetot-le-Mauconduit | 03/02/2021 | Algues | Fucus Fucus serratus | Entier | 4,84 | 04/04/2021 | 3,4±0,7 | 2,70±0,56 |

Tableau 52 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2021.

| Chronique | Commune | Date de prélèvement | Nature | Espèce | Fraction | Frais/Sec | Date de mesure | TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion) | TOL (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais) | Unité |
|-------------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------------------|----------|-----------|----------------|--|--|-------|
| Paluel - champ proche | Saint-Valery-en- Caux | 02/02/2021 | Sédiments | Sable de plage | ≥ 2 mm | 2,01 | 30/09/2021 | 2,13±0,99 | 0,230±0,100 | Sec |
| Paluel - champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 03/02/2021 | Sédiments | Sable de plage | ≥ 2 mm | 1,35 | 30/09/2021 | 4,8±5,8 | 0,13±0,13 | Sec |
| Paluel - champ proche | Saint-Valery-en- Caux | 02/02/2021 | Algues | Fucus Fucus serratus | Entier | 4,92 | 10/04/2021 | 5,3±0,8 | 0,451±0,074 | Frais |
| Paluel - champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 03/02/2021 | Algues | Fucus Fucus serratus | Entier | 4,84 | 10/04/2021 | 5,1±0,8 | $0,449\pm0,076$ | Frais |
| Paluel - champ lointain | Saint-Pierre-en-Port au large | 06/01/2021 | Crustacés aquatiques | Araignée de mer Maja brachydactyla | Chair | 3,69 | 10/08/2021 | 3,9±0,8 | 0,70±0,15 | Frais |
| Paluel - champ proche | Paluel au large | 09/02/2021 | Crustacés aquatiques | Araignée de mer Maja brachydactyla | Chair | 3,67 | 25/10/2021 | 3,5±0,8 | 0,63±0,15 | Frais |
| Paluel - champ lointain | Saint-Pierre-en-Port au large | 21/01/2021 | Mollusques aquatiques | Bulot Buccinum undatum | Chair | 4,46 | 10/08/2021 | 5,1±0,9 | 0,66±0,12 | Frais |
| Paluel - champ proche | Paluel au large | 01/05/2021 | Mollusques aquatiques | Bulot Buccinum undatum | Chair | 4,13 | 01/11/2021 | 5,3±0,9 | 0,78±0,14 | Frais |
| Paluel - champ lointain | Saint-Pierre-en-Port au large | 03/01/2021 | Poissons | Bar ou Loup Dicentrarchus labrax | Muscle | 4,63 | 10/08/2021 | 4,2±0,8 | 0,58±0,11 | Frais |
| Paluel - champ proche | Paluel au large | 30/04/2021 | Poissons | Bar ou Loup Dicentrarchus labrax | Muscle | 4,34 | 01/11/2021 | 4,0±1,2 | 0,60±0,18 | Frais |



Tableau 53 - Activités en 14C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2021.

| Unité | ,6 Sec | | ,4 Frais | ,4 Frais | ,57 Frais | ,56 Frais | ,0 Frais | ,5 Frais |
|---|---------------------------------|----------------------------|---|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| (%) | 144,0±1,6 | * .b.n | 120,0±1,4 | 124,2±1,4 | 145,64±0,57 | 145,46±0,56 | 140,2±7,0 | 128,2±6,5 |
| 8 ¹³ C/ ¹² C | -2,32 | n.d. * | -19,09 | -18,81 | -16,27 | -16,08 | -16,93 | -17,92 |
| C _{ror} (g.kg ⁻¹ sec ou frais) | 92 6: | n.d. * | ;0 65 | 11 66 | 3 100 | 3 97 | 86 | 110 |
| 14 c (Bq.kg ⁻¹) sec ou frais) | 3 25,98±0,29 | n.d. * | 274,5±3,1 17,73±0,20 | 2 18,82±0,2 | 34,03±0,13 | 334,7±1,3 32,60±0,13 | 31,6±1,6 | 32,0±1,6 |
| ¹⁴ C (Bq.kg ^{.1} C) | 340,9±3,8 | n.d. * | | 16/06/2021 284,1±3,2 18,82±0,21 | 335, <u>41±1,3</u> | | 322±16 | 294±15 |
| Date de mesure ¹4C | 16/06/2021 | n.d. * | 16/06/2021 | 16/06/2021 | 15/06/2022 | 17/02/2022 | 29/10/2021 | 29/10/2021 |
| Frais/Sec | 2,01 | 1,35 | 4,92 | 4,84 | 4,13 | 4,46 | 4,63 | 4,34 |
| Fraction | ≥ 2 mm | ≥ 2 mm | Entier | Entier | Chair | Chair | Muscle | Muscle |
| Espèce | Sable de plage | Sable de plage | Fucus Fucus serratus | Fucus Fucus serratus | Bulot Buccinum undatum | Bulot Buccinum undatum | Bar ou Loup Dicentrarchus labrax | Bar ou Loup |
| Nature | Sédiments | Sédiments | Algues | Algues | Mollusques aquatiques | Mollusques aquatiques | Poissons | Poissons |
| Date de prélèvement | 02/02/2021 | 03/02/2021 | 02/02/2021 | 03/02/2021 | 01/05/2021 | 21/01/2021 | 03/01/2021 Poissons | 30/04/2021 |
| Commune | Saint-Valery-en-Caux 02/02/2021 | Sassetot-le- Mauconduit | Paluel - champ proche Saint-Valery-en-Caux 02/02/2021 | Sassetot-le- Mauconduit | Paluel au large | Saint-Pierre-en-Port au large | Saint-Pierre-en-Port au large | Paluel au large |
| Chronique | Paluel - champ proche | Paluel - champ lointain | Paluel - champ proche | Paluel - champ lointain | Paluel - champ proche | Paluel - champ lointain | Paluel - champ lointain | Paluel - champ proche |

n.d. *: échantillons pour lesquels le ¹⁴C n'est pas dosable car leur %C_{TOT} (carbone organique total) est < 0,1%.



Tableau 54 - Activités en 63 Ni mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2021.

| Chronique | Commune | Date de prélèvement | Nature | Espèce | Fraction | Fraction Frais/Sec | Qualité | Date de mesure ⁶³ Ni | 63Ni (Bq.kg⁴ sec ou frais ou Bq.L¹) | ⁶³ Ni Ni (Bq.kg¹ sec ou frais frais ou Bq.L¹) ou g.L¹) | Unité |
|----------------------------|-----------------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|----------|--------------------|-------------|---------------------------------|---|---|-------|
| Paluel - champ proche | Saint-Valery-en- Caux | 02/02/2021 | Algues | Fucus Fucus serratus | Entier | 5,21 | Cendre | 25/08/2021 | 1,13±0,16 | 0,47 | Sec |
| Paluel - champ lointain | Sassetot-le- Mauconduit | 03/02/2021 | Algues | Fucus Fucus serratus | Entier | 4,82 | 4,82 Cendre | 23/09/2021 | 0,86±0,15 | 0,46 | Sec |
| Paluel - champ proche | Paluel au large | 01/05/2021 | Mollusques aquatiques | Bulot Buccinum undatum | Chair | 3,96 | Cendre | 26/02/2022 | 0,0138±0,0083 | 0,0014 | Frais |
| Paluel - champ lointain | Saint-Pierre-en- Port au large | 21/01/2021 | Mollusques aquatiques | Bulot Buccinum undatum | Chair | 4,45 | Cendre | 25/08/2021 | ≥ 0,011 | 0,0049 | Frais |

Tableau 55 - Activités en ⁵⁵Fe mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2021.

| Chronique | Commune | Date de prélèvement | Nature | Espèce | Fraction | Fraction Qualité | Frais/Sec | Date de mesure | 55Fе | Unité |
|-------------------------|---|------------------------|-----------------------|---------------------------|----------|------------------|-----------|----------------|-------|---------------------------|
| Paluel - champ proche | Saint-Valery-en-Caux | 02/02/2021 | Algues | Fucus Fucus serratus | Entier | Cendre | 5,21 | 26/10/2021 | < 5,2 | Bq.kg ⁻¹ sec |
| Paluel - champ lointain | Sassetot-le-Mauconduit | 03/02/2021 | Algues | Fucus Fucus serratus | Entier | Cendre | 4,82 | 26/10/2021 | ≥ 5,6 | Bq.kg⁻¹ sec |
| Paluel - champ proche | Paluel au large | 01/05/2021 | Mollusques aquatiques | Bulot Buccinum undatum | Chair | Cendre | 3,96 | 07/04/2022 | ≥ 2,5 | Bq.kg ⁻¹ frais |
| Paluel - champ lointain | Paluel - champ lointain Saint-Pierre-en-Port au large | 21/01/2021 | Mollusques aquatiques | Bulot Buccinum undatum | Chair | Cendre | 4,45 | 26/10/2021 | ≤ 1,2 | Bq.kg¹¹ frais |



8. SYNTHÈSE DE L'ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DE LA MANCHE ET DE LA MER DU NORD

8.1. Radioécologie du milieu terrestre

Le ¹³⁷Cs est détecté dans la plupart des échantillons prélevés (18 fois sur 34). L'activité la plus élevée (9,5±0,8 Bq.kg⁻¹ sec) est observée dans le sol de pâturage de Sortosville-en-Beaumont, dans la zone hors vents du CNPE de Flamanville. Son activité résulte essentiellement des retombées globales des essais aériens d'armes nucléaires et de l'accident de Tchernobyl (Figure 4 page 22). Du ⁶⁰Co est également détecté dans l'herbe échantillonnée en champ proche du CNPE de Gravelines (0,04±0,02 Bq.kg⁻¹ sec).

En 2021, le ³H libre a été recherché dans l'herbe et/ou le lierre, les salades, l'eau de boisson et le lait. L'activité en ³H libre est inférieure au seuil de décision dans les 4 eaux de boissons échantillonnées (≤ 0,6 Bq.L⁻¹ED). Le ³H libre est détecté dans les cinq échantillons de lait de vache récoltés, à des niveaux d'activité proches du seuil de décision (0,7±0,7 à 1,0±0,7 Bq.L⁻¹ED). Le ³H libre est détecté dans les six échantillons de salades récoltés (1,2±0,7 à 2,7±0,8 Bq.L⁻¹ED), et reste comparable au bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence des rejets des INB (0,5 à 2 Bq.L⁻¹ pour l'HTO d'après [3]). Dans l'herbe échantillonnée à proximité des CNPE de Paluel et Penly, l'activité en ³H libre (0,7±0,7 à 2,5±0,8 Bq.L⁻¹ED) est également comparable à ce bruit de fond, tout en étant plus élevée dans l'herbe prélevée hors vents du CNPE de Penly que sous les vents. Dans le lierre échantillonné à proximité des CNPE de Penly et Gravelines, l'activité en ³H libre (1,1±0,7 à 2,0±0,7 Bq.L⁻¹ED), est également comparable à ce bruit de fond. En revanche, l'activité en ³H libre dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Flamanville (8,3±0,9 Bq.L⁻¹ED) est plus élevée que ce bruit de fond, et témoigne d'un apport local en tritium libre.

Depuis 2010, le ³H organiquement lié est lui aussi quantifié dans le lait de vache, à un niveau d'activité généralement proche du bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence des rejets des INB (0,39 à 1,9 Bq.L⁻¹ pour le TOL d'après [3]). En 2021, le ³H organiquement lié a également été recherché dans la salade, l'herbe et/ou les feuilles de lierre, et son activité y est proche du bruit de fond (1,1±0,7 à 2,4±0,7 Bq.L⁻¹ EC, toutes matrices confondues), hormis dans le lierre échantillonné à proximité des CNPE de Flamanville et de Gravelines (4,5±0,8 et 2,9±0,8 Bq.L⁻¹ EC, respectivement), ainsi que dans la salade et l'herbe échantillonnées à proximité du CNPE de Paluel (3,5±0,8 et 3,6±0,8 Bq.L⁻¹ EC, respectivement), où les activités en ³H organiquement lié témoignent d'un apport local.

Enfin, l'activité en ¹⁴C dans la salade (dans l'environnement des CNPE de Flamanville, Penly et Gravelines) est comparable à la valeur du bruit de fond sur le territoire français hors influence industrielle (223±7 Bq.kg⁻¹ C d'après [3]), tandis qu'elle témoigne d'un apport local (272±13 Bq.kg-1 C) dans l'environnement du CNPE de Paluel, sans que la contribution des rejets du site ne soit démontrée (pas de mesure hors vents). L'activité en ¹⁴C dans le lait est également proche de ce bruit de fond dans l'environnement des CNPE de Paluel, Penly et de Gravelines, tandis qu'elle témoigne d'un apport local (248±12 Bq.kg-1 C) dans l'environnement du CNPE de Flamanville, sans que la contribution des rejets du site ne soit démontrée (pas de mesure hors vents). Dans les prélèvements d'herbe et de lierre échantillonnés dans l'environnement du CNPE de Penly, l'activité en ¹⁴C est comparable au bruit de fond. L'activité en ¹⁴C mesurée trimestriellement dans l'herbe ou les feuilles de lierre échantillonnées à proximité des CNPE de Flamanville (lierre), Paluel (herbe), Penly et Gravelines (lierre) (à environ un kilomètre ou moins des différents CNPE) est dans la majorité des cas comparable au bruit de fond hors influence industrielle (activité comprise entre 225±11 Bq.kg⁻¹ C, dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Flamanville, et 235±12 Bq.kg⁻¹ C, dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Gravelines). Dans l'herbe échantillonnée à proximité du CNPE de Penly et dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Gravelines, certaines mesures témoignent d'un apport local probable en 14C dans l'environnement immédiat de ces CNPE (255±13 et 243±12 Bq.kg⁻¹ C, respectivement).



À la vue des résultats obtenus dans le cadre du suivi radioécologique 2021, il apparaît que les rejets d'effluents à l'atmosphère des CNPE français côtiers de la Manche et de la Mer du Nord ne donnent pas lieu à un marquage mesurable de l'environnement terrestre, hormis pour les échantillons d'herbe, de salade, de lait et de lierre échantillonnés à proximité immédiate des CNPE, pour lesquels le marquage par les rejets d'effluents atmosphériques des CNPE est visible pour le ³H (libre et/ou organiquement lié), et/ou pour le ¹⁴C.

8.2. Radioécologie du milieu marin

Les radionucléides artificiels détectés au sein des diverses matrices sédimentaires et biologiques échantillonnées dans l'environnement marin des CNPE côtiers de la Manche et de la Mer du Nord trouvent leur origine potentielle au niveau :

- des eaux de l'océan Atlantique, marquées par les retombées globales des essais atmosphériques d'armes nucléaires et par les rejets de l'usine de retraitement de Sellafield (Royaume-Uni), contribuant notamment à l'apport de ¹³⁷Cs et de ³H. De plus, en 2011, le marquage fugace de l'environnement marin par les retombées du panache radioactif provenant de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima-Daiichi au Japon n'est pas à exclure ;
- des fleuves, en particulier la Seine qui draine un bassin versant fortement industrialisé, avec notamment la présence du CNPE de Nogent-sur-Seine ainsi que de nombreux hôpitaux et centres de recherche utilisant des traceurs radioactifs ;
- des rejets d'effluents liquides des CNPE de Flamanville, Paluel, Penly et Gravelines ;
- des rejets d'effluents liquides de l'usine de traitement du combustible usé ORANO La Hague.

Parmi ces diverses origines, les rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague sont les plus à même de marquer l'environnement marin des CNPE côtiers de la Manche et de la Mer du Nord. Certains radionucléides émetteurs gamma (tels que le ¹³⁷Cs, le ⁶⁰Co, le ⁵⁴Mn et le ^{110m}Ag), tout comme le ³H libre, sont communs aux rejets d'effluents liquides des CNPE et de l'usine de retraitement du combustible usé. Cependant, les niveaux d'activité en radionucléides artificiels dans les effluents liquides rejetés en mer par l'usine ORANO La Hague sont de 2 à 4 ordres de grandeur supérieurs à ceux des CNPE, notamment dans le cas du ³H libre. Ceci se traduit par un gradient décroissant des activités de ces radionucléides entre la presque-île du Cotentin et le détroit du Pas-de-Calais (Figure 32 page 203).

Le ¹³⁷Cs est le radionucléide artificiel le plus fréquemment détecté au sein des matrices échantillonnées (44 fois sur 50). Les activités en ¹³⁷Cs sont relativement homogènes de Flamanville à Gravelines (Figure 33 page 204). Néanmoins, les apports de l'usine ORANO La Hague contribuent à doubler les activités en ¹³⁷Cs sur cette zone comparativement aux niveaux mesurés au sein des eaux Atlantiques en entrée de Manche. D'un point de vue quantitatif, les niveaux d'activités en émetteurs gamma artificiels au sein des organismes consommés demeurent très faibles, de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de mBq.kg-1 de matière fraîche. L'¹³¹I recherché dans les algues n'est pas détecté à des niveaux supérieurs au seuil de décision, hormis en champ lointain du CNPE de Penly (Port de Dieppe).

Les activités en tritium libre et en tritium organiquement lié (1,7±0,7 à 6,8±0,9 Bq.L⁻¹ ED pour l'HTO et 2,13±0,99 à 11,3±1,4 Bq.L⁻¹ EC pour le TOL) dans les sédiments, les algues, les mollusques, les crustacés et les poissons échantillonnés dans l'environnement marin proche des CNPE côtiers de la Manche et de la Mer du Nord sont cohérentes avec les valeurs attendues du fait des niveaux d'activités mesurables dans l'eau de mer en Manche (de l'ordre de 5 Bq.L⁻¹, et comprises entre 3,7 et 5,9 Bq.L⁻¹ à distance de l'usine ORANO [3, 26, 27]) et majoritairement imputables à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague. Elles témoignent toutefois d'un marquage par les rejets en tritium pour certains échantillons (5 des 41 activités mesurées sont supérieures à 5 Bq.L⁻¹, avec une activité maximale de 11,3±1,4 Bq.L⁻¹ EC dans les poissons pêchés à proximité du CNPE de Flamanville) dans l'environnement des CNPE de Flamanville, Paluel et Penly en 2021.



Les activités en ¹⁴C quantifiées au sein des sédiments, des algues, des mollusques, des crustacés et des poissons échantillonnées dans l'environnement marin des CNPE (223,9±1,4 à 472±23 Bq.kg⁻¹ C) sont pour la plupart (25 des 28 activités mesurées, l'exception étant représentée par les bars d'aquaculture du Centre Aquacole de Gravelines, et les sédiments et les algues du port de Dieppe) supérieures au bruit de fond hors influence industrielle (233±5 Bq.kg⁻¹ C en 2021 d'après nos mesures et d'après [3]), mais cohérentes avec les valeurs moyennes enregistrées par le passé du fait du marquage global par les INB de la Manche [28], et notamment de la proximité de l'usine ORANO La Hague. Ce marquage en ¹⁴C est plus prononcé au voisinage des points de rejet d'effluents liquides des CNPE pour les algues et les mollusques à proximité du CNPE de Flamanville, pour les sédiments et les algues à proximité du CNPE de Penly, et pour les algues et les mollusques à proximité de Gravelines (Figure 34 page 204). A Paluel, le marquage est plus prononcé en champ lointain pour les algues. A Penly, c'est également le cas pour les bulots. Les différences ne sont pas significatives pour les poissons à Penly. A Flamanville et Gravelines, les poissons n'ont été échantillonnés qu'en champ proche et la comparaison n'est pas possible. Il en est de même pour les crustacés à Flamanville, échantillonnés uniquement en champ proche.

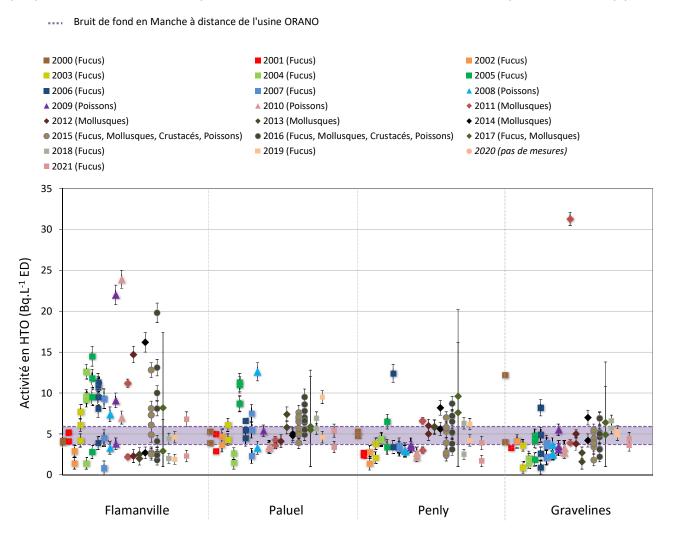


Figure 32 - Activités en tritium libre (Bq.L⁻¹ ED) mesurées dans les algues, les mollusques, les crustacés et les poissons échantillonnés dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord depuis 2000. La zone violette indique le bruit de fond attendu en entrée de Manche (i.e. entre 3,7 et 5,9 Bq.L⁻¹ à distance de l'usine ORANO [3, 26, 27]).

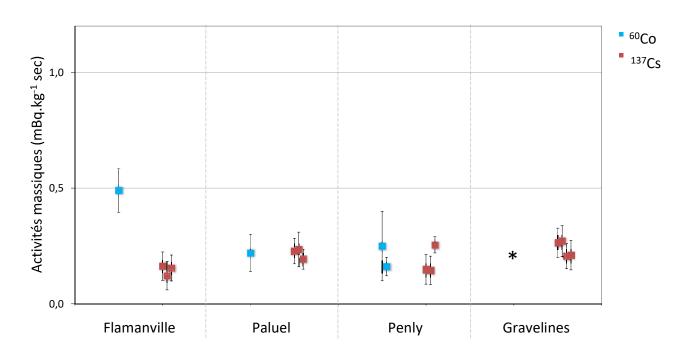


Figure 33 - Activités en ⁶⁰Co et en ¹³⁷Cs mesurées dans les algues échantillonnées en 2021 dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord.

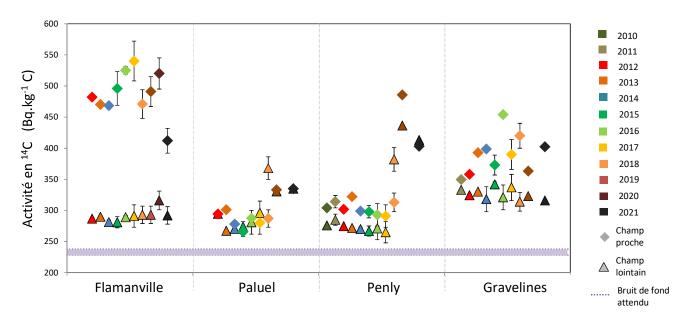


Figure 34 - Activités en ¹⁴C (Bq.kg⁻¹ C) dans les mollusques (patelles et moules) échantillonnés depuis 2010 dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord. Le graphique distingue les prélèvements fait en champ proche de chaque CNPE (losanges) de ceux effectués en champ lointain (triangles), et indique en violet le bruit de fond attendu hors influence industrielle (i.e., 233±5 Bq.kg⁻¹ C d'après [3]).

9. BIBLIOGRAPHIE

- 1. Bailly du Bois, P. et Dumas, F., TRANSMER, hydrodynamic model for medium- and long-term simulation of radionuclides transfers in the English Channel and southern North Sea. Radioprotection, 2005. 40: S575-S580 p.
- 2. IRSN, TRANSMER: modèle de simulation des transferts de radionucléides en Manche et Mer du Nord. Choix des options, description, validation et fonctionnalités. 2003, IRSN. Rapport Rapport DPRE/SERNAT/2003-04, p.
- 3. IRSN, Bilan de l'état radioécologique de l'environnement français de 2018 à 2020. 2021, IRSN. 408 p. p.
- 4. Bé, M., Chisté, V., Dulieu, C., Kellet, M.A., Mougeot, X., Arinc, A., Chechev, V.P., Kuzmenko, N.K., Kibédi, A., et Nichols, A.L. *Table of radionuclides*. Monographie BIPM-5 2016; Accessible à l'adresse: https://www.bipm.org/en/publications/scientific-output/monographie-ri-5.html.
- 5. IRSN, Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement. 2017, IRSN. Rapport PRP-ENV/SERIS/2017-00004, 76 p.
- 6. ASN. Livre blanc du tritium. 2010; Accessible à l'adresse: http://livre-blanc-tritium.asn.fr/.
- 7. IPSN, Le tritium dans l'environnement proche du site de l'usine de retraitement de la Hague. 1998, IPSN. 17 p.
- 8. IRSN, Les essais atmosphériques d'armes nucléaires : des retombées radioactives à l'échelle planétaire. Fiche Information de l'Institut de radioprotection et de Sûreté Nucléaire. 2008, IRSN. 24 p.
- 9. Renaud, P., Champion, D., et Brenot, J., Les retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl sur le territoire français: Conséquences environnementales et exposition des personnes. Sciences et techniques2008. p. 190.
- 10. IAEA/WMO. Global network of isotopes in precipitation. The GNIP database. 2013. Accessible à l'adresse: http://www.iaea.org/water.
- 11. Olive, P., Hubert, P., et Ravailleau, S., *Estimation pratique de "l'âge" des eaux souterraines en Europe par le tritium*. Revue des sciences de l'eau, 1996. **4**: 10 p.
- 12. IRSN, Niveau d'activité du tritium dans l'environnement. Contribution à la synthèse de la DEI sur le tritium. 2008, IRSN. Rapport Rapport DEI/SESURE n°2008-34, 57 p.
- 13. IRSN, Le tritium dans l'environnement. Point de vue de l'IRSN sur les questions clés et les pistes de recherches et développement. 2010, IRSN. Rapport Rapport DEI 2010-01, 23 p.
- 14. Bailly du Bois, P. et Dumas, F., Fast hydrodynamic model for medium- and long-term dispersion in seawater in the English Channel and southern North Sea, qualitative and quantitative validation by radionuclide tracers. Ocean Modelling, 2005. 9(2): 169-210 p.
- 15. Levin, I. et Hesshaimer, V., A unique tracer of global carbon cycle dynamics. Radiocarbon, 2000. **42**(1): 69-80 p.
- 16. Roussel-Debet, S., Gontier, G., Siclet, F., et Fournier, M., *Distribution of Carbon 14 in the terrestrial environment close to French nuclear power plants*. Journal of Environmental Radioactivity, 2006. **87**(3): 246-259 p.
- 17. Fiévet, B., Voiseux, C., Rozet, M., Masson, M., et Bailly du Bois, P., *Transfer of radiocarbon liquid releases* from the AREVA La Hague spent fuel reprocessing plant in the English Channel. Journal of Environmental Radioactivity, 2006. **90**(3): 173-196 p.
- 18. IRSN, Tchernobyl, 25 ans après. in Collection thématique de l'IRSN2011, IRSN. 48 p.
- 19. Renaud, P., Champion, D., et Brenot, J., Les retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl sur le territoire français. Conséquences environementales et exposition des personnes. 2007, Paris: Éditions Tec & Doc. Collection Sciences et techniques. Lavoisier.



- 20. IRSN, Analyse de l'impact de l'accident de Fukushima en France (métropole et DROM-COM) à partir des résultats de la surveillance renforcée de la radioactivité de l'environnement. 2011, IRSN. Rapport Rapport DEI/2011-01, 90 p.
- 21. IRSN. Expertise de l'IRSN en matière de rejets hospitaliers de médecine nucléaire. 2018 [cited 2018; Accessible à l'adresse: http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Communiques_et_dossiers_de_presse/Pages/expertise_IRSN_en_matiere_de_rejets_hospitaliers_medecine_nucleaire.
- 22. IAEA, Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment 2004, IAEA. p.
- 23. Douville, E., Fiévet, B., Germain, P., et Fournier, M., Radiocarbon behaviour in seawater and the brown algae Fucus serratus in the vicinity of the COGEMA La Hague spent fuel reprocessing plant (Goury) France. Journal of Environmental Radioactivity, 2004. **77**(3): 355-368 p.
- 24. IRSN, Radionucléides naturels en France. 2007, IRSN. Rapport Rapport DEI/SESURE n° 2007-21, 45 p.
- 25. Reimann, C., Filzmoserb, P., et Garrettc, R.G., *Background and threshold: critical comparison of methods of determination*. Science of the Total Environment, 2005. **346**: 1-16 p.
- 26. IRSN, Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de juin 2011 à décembre 2014. 2015, IRSN. 252 p.
- 27. Masson, M., Siclet, F., Fournier, M., Maigret, A., Gontier, G., et Bailly du Bois, P., *Tritium along the French coast of the English Channel*. Radioprotection, 2005. **40**(Suppl. 1): S621-S627 p.
- 28. IRSN, Synthèse du suivi radioécologique 2013 des 19 centres nucléaires de production d'électricité en exploitation. 2014, IRSN. 132 p.
- 29. IRSN, Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017. 2018, IRSN. 353 p. p.
- 30. Direction des études et recherches EDF, Données courantologiques concernant le site de Penly et conséquences thermiques possibles (avis B). 1977, Direction des études et recherches EDF. Rapport E 41/77.03, p.
- 31. Direction des études et recherches EDF, *Centrale de Penly (Avis C). Impact thermique*. 1978, Direction des études et recherches EDF. Rapport E 42/78-02, p.
- 32. Nord-Pas-de-Calais, D. *Conditions météo-océaniques*. 2013 [cited 2014; Accessible à l'adresse: http://www.nord-pas-de-calais.developpement-durable.gouv.fr/static/polmar59/Geographie/conditions_meteo_oceaniques.pdf.
- 33. EDF, Dossier de demande de renouvellement des autorisations de prélèvement d'eau et de rejets de la centrale nucléaire de Gravelines. 1998, EDF. p.
- 34. Blandin, P., Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. Bulletin d'écologie, 1986. 17(4) p.
- 35. Stuiver, M. et Polach, A., Discussion reporting og 14C data. Radiocarbon, 1977. 19(3): 355-363 p.
- 36. Laboratoire national Henri Becquerel, *Arrondissage des résultats de mesure Nombre de chiffres significatifs*. 2004, Laboratoire national Henri Becquerel. Rapport Note technique LNHB/04-13, 8 p.
- 37. Vray, F., Debayle, C., et Louvat, D., Long-term flux of Chernobyl-derived 137Cs from soil to French rivers: a study on sediment and biological indicators. Journal of Environmental Radioactivity. 2003. **68**: 93-114. p.
- 38. Renaud, P. et Louvat, D., Magnitude of fission product depositions from atmospheric nuclear weapon test fallout in France. Health Physics, 2004. **86**(4): 6 p.



10. ANNEXES

| Annexe 1. Choix des stations de prélèvements | 212 |
|---|-----|
| Annexe 2. Choix des matrices prélevées | 212 |
| 2.1. Domaine terrestre | 212 |
| 2.1.1. Eaux | 212 |
| 2.1.2. Les bryophytes | 212 |
| 2.1.3. Les sols | 213 |
| 2.1.4. L'herbe | |
| 2.1.5. Les végétaux cultivés | |
| 2.1.6. Le lait | 213 |
| 2.2. Domaine aquatique marin | 213 |
| 2.2.1. Les sédiments | |
| 2.2.2. Algues | |
| 2.2.3. Les poissons, mollusques et crustacés | |
| Annexe 3. Choix des fréquences d'analyses | |
| Annexe 4. Choix des analyses | 214 |
| Annexe 5. Méthode de prélèvements sur le terrain | 214 |
| 5.1. Domaine terrestre | |
| 5.1.1. Eaux (eau de boisson, eau de nappe) | |
| 5.1.2. Sols | |
| 5.1.3. Végétaux | 215 |
| 5.1.4. Lait | 215 |
| 5.2. Domaine aquatique marin | 215 |
| 5.2.1. Sédiments | |
| 5.2.2. Végétaux | 215 |
| 5.2.3. Poissons, crustacés, mollusques | 215 |
| Annexe 6. Préparation et conditionnement des échantillons | 216 |
| 6.1. Domaine terrestre | 216 |
| 6.1.1. Eau de boisson | |
| 6.1.1.1 Mesurage des émetteurs gamma | 216 |
| 6.1.1.2. Mesurage du tritium | 216 |
| 6.1.2. Sols | 216 |
| 6.1.3. Végétaux | |
| 6.1.3.1. Mesurage des émetteurs gamma | |
| 6.1.3.2. Mesurage du tritium et du ¹⁴ C | |
| 6.1.4. Lait | |
| 6.1.4.1. Mesurage des émetteurs gamma | |
| 6.1.4.2. Mesurage du tritium et du ¹⁴ C | |
| 6.2. Domaine aquatique marin | |
| 6.2.1. Sédiments | |
| 6.2.2. Végétaux | |
| 6.2.2.1. Mesurage des émetteurs gamma | |
| 6.2.2.2. Mesurage du tritium et du ¹⁴ C | |
| 6.2.3. Poissons, crustacés, mollusques | |
| 6.2.3.1. Mesurage des emetteurs gamma 6.2.3.2. Mesurage du tritium et ¹⁴ C | |
| • | |
| Annexe 7. Techniques d'analyses | |
| 7.1. Détermination de la teneur en matière organique et de la granulométrie des sols et des sédiments | |
| 7.1.1. Teneur en matière organique | |
| 7.1.2. Granulométrie | |
| 7.2. Identification des espèces vivantes | |
| 7.3. Mesure du tritium libre | |
| 7.4. Mesure du tritium organiquement lié | |
| 7.5. Mesure du ¹⁴ C | 220 |
| 7.6. Spectrométrie γ | 221 |



| Annexe 8. Expression des résultats et unités utilisées | 221 | |
|---|-----|--|
| Annexe 9. Radionucléides dans l'environnement | 223 | |
| 9.1. Radioactivité d'origine naturelle | 223 | |
| 9.2. Radioactivité d'origine artificielle | 224 | |
| 9.2.1. Retombées atmosphériques des essais militaires | 225 | |
| 9.2.2. Retombées dues aux accidents d'installations nucléaires | 225 | |
| 9.2.3. Effluents liquides et atmosphériques des CNPE en fonctionnement normal | 225 | |
| 9.2.4. Effluents liquides et atmosphériques d'autres installations | 225 | |
| 9.3. Sources de ³ H | | |
| 9.4. Sources de ¹⁴ C | 226 | |
| Annexe 10. Laboratoires d'analyses | 227 | |



ANNEXES

Comme pour toute expertise radioécologique de site reposant sur des résultats de mesures, le choix et la mise en place de la stratégie d'échantillonnage sont primordiaux. Il est nécessaire de choisir des lieux de prélèvement et des matrices capables de rendre compte d'un éventuel marquage de l'environnement par les radionucléides émis lors des rejets d'effluents liquides ou atmosphériques des installations étudiées.

Les bryophytes, les phanérogames aquatiques ou les algues sont utilisés comme indicateur des activités présentes dans les vecteurs de diffusion des rejets (air et eau). Les sols et sédiments sont des matrices d'accumulation des radionucléides. Pour répondre à des besoins de radioprotection, des produits végétaux (légumes-feuilles essentiellement) ou animaux consommables localement (poissons, mollusques, crustacés, lait de vache ou de chèvre) font l'objet d'une surveillance. Les eaux destinées à l'irrigation ou à la consommation sont également intégrées aux plans d'échantillonnage. Afin de rendre les études autour des CNPE français homogènes et d'établir si besoin des comparaisons, les plans d'échantillonnage sont établis de manière standardisée et, autant que possible, reproduits d'un site à l'autre. La figure 35 page 211 présente de manière schématique le plan d'échantillonnage avec notamment le type de matrices prélevées. Des prélèvements supplémentaires ou des prélèvements de matrices différentes peuvent être réalisés, en particulier dans le cadre des prescriptions techniques formulées par l'ASN, en matière de surveillance de l'environnement. La stratégie d'échantillonnages et d'analyses, fournie par EDF, est mise à jour annuellement par EDF en fonction du retour d'expérience et de l'évolution de la réglementation.

La localisation des prélèvements est définie en fonction du contexte géographique et environnemental de chaque site. Les prélèvements dans l'environnement terrestre sont répartis en fonction de la direction des vents, en distinguant notamment les zones potentiellement influencées par les rejets d'effluents atmosphériques des zones hors vents dominants. Dans l'environnement aquatique continental, on distingue les prélèvements effectués en amont ou en aval des points de rejets des effluents liquides des CNPE, en tenant compte de la présence possible d'une autre installation en amont sur le fleuve. Bien que souvent complexes à définir, les conditions hydrodynamiques locales sont également des facteurs importants à prendre en considération lors des choix des lieux de prélèvements en milieu marin.

La mesure gamma permet de quantifier les activités d'un large spectre de radionucléides naturels et artificiels. C'est la raison pour laquelle elle a été retenue lors des premiers suivis radioécologiques annuels. Une recherche spécifique de l'¹³¹I par spectrométrie gamma a été entreprise depuis 1997 sur quelques végétaux terrestres et aquatiques. Outre les mesures des niveaux d'activités des radionucléides émetteurs gamma, les activités en tritium libre (HTO) ont été quantifiées annuellement depuis l'année 2000. L'amélioration des limites de détection et des capacités métrologiques font que, depuis 2009, la quantification des activités en tritium organiquement lié (TOL) et carbone-14 (¹⁴C) est introduite dans la stratégie d'étude.

Toutes les informations concernant l'identification, la localisation, puis les traitements et les mesures effectués sur les échantillons prélevés, sont enregistrées dans la base de données exploitée par l'IRSN. La traçabilité et la qualité des différentes opérations sont ainsi garanties et vérifiables. De plus, cela permet l'archivage et l'exploitation de séries chronologiques ou spatiales de données. Leur exhaustivité et leur homogénéité depuis 1991 permet leur utilisation à tout moment pour une expertise ou une étude particulière. Les étapes détaillées suivies par un échantillon depuis le prélèvement jusqu'à la mesure sont décrites dans « l'appendice méthodologique ».

L'exploitation des résultats repose sur la connaissance nécessaire des différentes sources de radioactivité gamma, tritium et ¹⁴C dans l'environnement.

Sur le territoire français métropolitain, des radionucléides d'origine naturelle tellurique (40K, 238U, 232Th et leurs descendants) ou cosmogénique (3H, 7Be et 14C) ainsi que des radionucléides d'origine artificielle (137Cs) sont présents dans l'environnement terrestre. Les activités en radionucléides naturellement présents (3H, 14C) peuvent être augmentées par les rejets d'effluents de l'industrie nucléaire ou les activités militaires. Les dépôts



globaux de ces radionucléides (³H, ¹⁴C et ¹³⁷Cs) sont liés aux retombées atmosphériques des essais aériens d'armes nucléaires pratiqués entre 1945 et 1980, et, pour le ¹³⁷Cs, au passage en mai 1986 du panache radioactif consécutif à l'accident de Tchernobyl. Les retombées de l'accident de Fukushima Daiichi ont été décelées ponctuellement et à l'état de trace, en France, essentiellement en 2011 et jusqu'en 2013.

Localement, les rejets d'effluents effectués par les installations peuvent conduire à un marquage de certains compartiments de l'environnement en radionucléides artificiels. Les radionucléides émetteurs gamma présents dans les effluents radioactifs peuvent être des produits d'activation neutronique ou des produits de fission. Dans les CNPE, ¹⁴C, ⁵⁴Mn, ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ^{110m}Ag et ¹²⁴Sb sont par exemple générés par l'activation des matériaux de structure des installations; ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, et ¹³¹I, sont des produits de fission. Le ³H provient principalement de l'activation neutronique du bore contenu dans le circuit primaire. Il est cependant important de tenir compte des possibles influences liées aux rejets de ces mêmes radionucléides par d'autres installations. Cela concerne par exemple les rejets d'effluents liquides des centres hospitaliers (rejets de l'131). L'industrie horlogère en France et en Suisse a utilisé du tritium jusque dans les années 1990. Les résidus sont encore présents dans le Rhône et le Rhin aujourd'hui. Des centres d'études ou de recherche (CEA, instituts, CERN, etc.) contribuent au marquage des écosystèmes aquatiques. Par exemple, les eaux du Rhin, au niveau du CNPE de Fessenheim, peuvent apporter des radionucléides rejetés par les sites nucléaires suisses situés en amont. Les rejets des installations d'ORANO La Hague en Manche sont en partie responsables d'un marquage de l'environnement marin à proximité des CNPE de Flamanville, Paluel, Penly et Gravelines. Les rejets atmosphériques des installations d'ORANO à Marcoule contribuent au marquage de la partie sud de la zone d'étude autour du Tricastin.

L'identification de radionucléides « traceurs » des rejets des différentes installations permet de rechercher les contributions des différentes sources de rejet au marquage de l'environnement. Les produits d'activation hormis les ³H et ¹⁴C (⁵⁴Mn, ⁵⁷Co, ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ^{110m}Ag) sont caractéristiques de rejets issus d'activité nucléaire. Leur présence dans les matrices de l'environnement traduit donc un marquage par des rejets d'effluents locaux. Pour déterminer les marquages éventuels en ³H et ¹⁴C, il est indispensable d'avoir une référence hors influence.

L'ensemble des techniques utilisées est décrit dans les documents de l'Assurance de la Qualité de l'IRSN. Les principales d'entre elles sont résumées ci-après.

En début de ce chapitre, il paraît nécessaire de donner la définition du terme de bio-indicateur. Blandin [34] donnait du bio-indicateur la définition suivante : « Un indicateur biologique (ou bio-indicateur) est un organisme ou un ensemble d'organismes qui - par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques - permet, de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un écocomplexe et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées ».



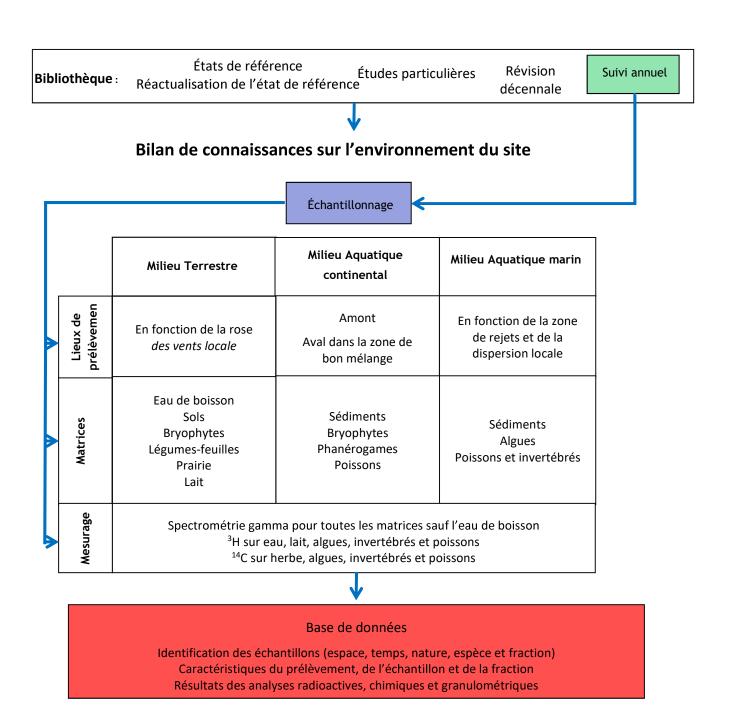


Figure 35 - Démarche utilisée pour la réalisation du suivi radioécologique annuel de chaque site.

Annexe 1. Choix des stations de prélèvements

La localisation des stations de prélèvements suit les demandes EDF exprimées dans le cahier des charges du marché.

Annexe 2. Choix des matrices prélevées

Comme indiqué dans le cahier des charges, « EDF a défini une stratégie de surveillance basée sur la complémentarité des mesures réglementaires et des études radioécologiques d'expertise. Cette stratégie se traduit par un plan de prélèvements et d'analyses tenant compte de nombreux paramètres de façon à obtenir des résultats aussi représentatifs que possible du milieu étudié. Cette représentativité porte sur :

- les échantillons prélevés, dont la représentativité dépend notamment du radionucléide recherché, de la disponibilité dans l'environnement de la matrice échantillonnée, de la fréquence de prélèvement, de la zone de prélèvement, des méthodes de prélèvement et de conservation de l'échantillon...
- les mesures réalisées, dont la représentativité dépend des traitements subis par l'échantillon, du protocole et des contraintes analytiques, de l'appareillage utilisé...

Le choix du type de matrices échantillonnées (bioindicateurs, compartiments d'accumulation, produits de consommation, vecteurs de la radioactivité...) et de la fréquence d'échantillonnage impose des zones de prélèvements dans lesquelles une matrice de ce type est présente et disponible en quantités suffisantes pour supporter la périodicité des prélèvements. Ce critère de disponibilité conditionne le choix d'une espèce en particulier, à laquelle des critères spécifiques en termes d'échantillonnage peuvent être associés, notamment des critères relatifs à la zone de prélèvement (ex. zone dégagée de tout obstacle).

Qu'il s'agisse du milieu terrestre ou des milieux aquatiques (dulçaquicoles ou marins), le choix des points de prélèvement est basé sur une prise d'échantillon double permettant de collecter une matrice, sous et hors influence potentielle des rejets d'effluents atmosphériques ou liquides de chaque installation, et ainsi disposer de valeurs permettant de mettre en évidence et de quantifier une éventuelle influence des rejets des installations. Les études de dispersion et de dilution dans le milieu des rejets d'effluents atmosphériques et liquides permettent d'identifier les zones sous influence potentielle et hors influence des rejets des sites.

Le choix d'une zone de prélèvement pour chaque matrice correspond donc au meilleur compromis possible permettant de répondre au mieux à l'ensemble de ces critères génériques et spécifiques. Une fois la zone de prélèvement déterminée, le choix des points de prélèvement doit tenir compte des aspects liés à la sécurité : les points retenus doivent être aisément accessibles et permettre les prélèvements en toute sécurité.

De plus, le choix des stations de prélèvements est effectué sur la base du retour d'expérience acquis dans le cadre de la surveillance radioécologique des sites et dans l'objectif de pouvoir comparer les résultats obtenus sur le long terme. Ainsi, dans la mesure du possible, les prélèvements seront réalisés aux mêmes points de prélèvements et aux mêmes périodes d'une année sur l'autre de manière à assurer une continuité géographique et temporelle. »

2.1. Domaine terrestre

2.1.1. Eaux

Les prélèvements sont réalisés préférentiellement dans les réseaux de distribution d'eau potable, sinon dans le réseau de distribution d'eau d'irrigation. Les radionucléides sont recherchés dans la phase dissoute.

2.1.2. Les bryophytes



Les bryophytes terrestres constituent d'excellents indicateurs des apports atmosphériques. En effet, ne disposant pas de racines, leur principale voie d'absorption est aérienne. Des processus actifs de conduction d'eau par capillarité et d'échanges d'ions par voie extracellulaire permettent aux mousses de piéger les éléments nécessaires à leur croissance. En plus de ce mode d'intégration actif, les phénomènes passifs d'accumulation des poussières atmosphériques par piégeage mécanique contribuent à concentrer la radioactivité du fait d'un important rapport surface/volume. Leur cycle de vie pluriannuel en fait un indicateur pertinent pour l'observation des apports atmosphériques à long terme.

2.1.3. Les sols

On distingue les sols cultivés pour lesquels des labours sont réalisés des sols non cultivés sur lesquels les cultures pluriannuelles ne demandent aucun remaniement (pâturages). Les sols non cultivés sont des intégrateurs pluriannuels des retombées atmosphériques. N'ayant pas subi de labourage récent, les radionucléides déposés à leur surface ne sont pas dilués dans la couche de labour.

2.1.4. L'herbe

Les prairies naturelles, non cultivées, sont privilégiées afin de rendre compte des transferts de radionucléides à partir d'un sol non remanié depuis plusieurs décennies. La mesure dans l'herbe permet d'évaluer l'activité des radionucléides déposés par voie atmosphérique au cours du cycle végétatif de la prairie échantillonnée (quelques mois) et ceux incorporés par voie racinaire.

2.1.5. Les végétaux cultivés

Parmi les végétaux cultivés, les salades sont privilégiées. Elles représentent la catégorie de légumes à feuilles, largement consommée. Seules les parties aériennes, sans contact avec le sol, sont échantillonnées. Leur grande surface d'interception en fait d'assez bons indicateurs des retombées atmosphériques de l'année.

2.1.6. Le lait

Les mesures dans le lait permettent de disposer d'échantillons intéressants en matière de radioprotection. La mesure du lait est pertinente pour rendre compte d'un éventuel marquage par les retombées atmosphériques, même très faibles, du fait des grandes surfaces d'herbe consommées pour produire ce lait. En effet la surface d'herbe consommée par une vache pour produire 1 litre de lait est nettement supérieure à la surface d'un prélèvement d'herbe.

2.2. Domaine aquatique marin

2.2.1. Les sédiments

Les sédiments de surface intègrent les dernières phases de dépôt du système aquatique et les résultats de mesures sont donc représentatifs des activités rejetées au cours des derniers mois. D'une manière générale, plus les particules sont fines plus elles développent, à masse identique, une surface d'échange importante susceptible de retenir des radionucléides tels que les produits de fission ou d'activation. Les zones de sédimentation des particules fines sont privilégiées, dans la mesure du possible, afin d'optimiser la détection des radionucléides. Les analyses portent sur la fraction inférieure à 2 mm.

2.2.2. Algues

Les macroalgues peuvent concentrer jusqu'à 10 000 fois les radionucléides dissous dans l'eau de mer [22]. Les algues brunes du genre Fucus sont parmi les meilleurs bioindicateurs de la diversité et des niveaux d'activité des radionucléides naturels et artificiels en milieu marin. Des échantillons de Fucus de la même espèce, dans la



mesure du possible, ont été collectés manuellement et rincés sur place dans l'eau de mer pour éliminer d'éventuelles particules sédimentaires, ainsi que la majeure partie de l'épiflore et de l'épifaune.

2.2.3. Les poissons, mollusques et crustacés

Seule la partie consommée est analysée dans la majeure partie des cas. Cette fraction est en outre représentative des radionucléides assimilés.

Annexe 3. Choix des fréquences d'analyses

La fréquence des analyses suit les demandes EDF exprimées dans le cahier des charges du marché. Dans le rapport du suivi radioécologique annuel sont exploités les résultats d'analyses sur les prélèvements collectés annuellement et spécifiquement pour le suivi radioécologique annuel. En complément, sont intégrés des résultats d'analyses acquis par l'IRSN pour EDF dans le cadre de la réglementation. Il s'agit en particulier des analyses de ¹⁴C sur les végétaux collectés trimestriellement sous les vents des CNPE.

Annexe 4. Choix des analyses

Les analyses réalisées suivent les demandes EDF exprimées dans le cahier des charges du marché. Elles portent sur les radionucléides les plus rejetés par les CNPE : tritium, ¹⁴C, produits d'activation ou de fission présents dans les rejets d'effluents liquides (émetteurs gamma comme les ⁵⁴Mn, ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ⁶³Ni, ^{123m}Te, ¹²⁴Sb, ¹²⁵Sb, ¹³⁴Cs ou ¹³⁷Cs) ou atmosphériques (émetteurs gamma comme les ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ¹³⁴Cs ou ¹³⁷Cs). Les rejets atmosphériques comprennent aussi des gaz rares et des iodes.

Annexe 5. Méthode de prélèvements sur le terrain

5.1. Domaine terrestre

5.1.1. Eaux (eau de boisson, eau de nappe)

La réalisation d'une spectrométrie gamma nécessite la collecte de 90 litres d'eau, stockés en bidons plastiques référencés, et acidifiés à l'acide nitrique molaire à raison de 1 mL par litre. Cette acidification est destinée à éviter le développement des micro-algues et à limiter la fixation de radionucléides sur les parois des récipients. La mesure du tritium nécessite la collecte de 80 mL d'eau filtrée à 0,22 µm puis répartie dans deux flacons en verre fermés hermétiquement. Tous les prélèvements d'eau de boisson sont réalisés après avoir fait couler de l'eau durant plusieurs minutes afin de purger la canalisation. Les eaux de nappe sont prélevées à l'aide de pompes pour piézomètres. Ces échantillons sont conservés au frais jusqu'à leur envoi au service de métrologie.

5.1.2. Sols

Les sols non caillouteux sont prélevés avec une tarière racinaire de 8 cm de diamètre.

Pour les sols cultivés, le prélèvement est effectué sur une profondeur de 20 cm. Dans le cas des sols non cultivés, le prélèvement est réalisé dans l'horizon superficiel entre 0 et 5 cm; dans le cas des bilans radioécologiques décennaux, trois prélèvements sont effectués entre 0-5 cm, 5-15 cm et 15-30 cm.



Plusieurs points de prélèvement proches les uns des autres sont réalisés afin d'obtenir un échantillon de 2 à 3 kg qui est placé dans un sachet plastique, préalablement référencé.

5.1.3. Végétaux

La quantité de végétal (ou de fraction de végétal) à prélever est déterminée en fonction du rapport de poids frais / poids sec de l'échantillon (estimé a priori) et de la quantité nécessaire pour faire la mesure. L'échantillon est récolté à la main ou à l'aide d'outils tranchants, puis placé dans un sac plastique préalablement référencé et immédiatement fermé. Si l'échantillon doit être soumis à un mesurage du ¹⁴C, il est immédiatement mis au frais.

5.1.4. Lait

Le lait est prélevé directement à la ferme, chez le producteur. Les 6 à 18 litres nécessaires pour la réalisation d'une spectrométrie gamma, sont stockés dans des flacons référencés. Pour le mesurage du ³H libre, lié et ¹⁴C 1à 2 litre est conservé au frais.

5.2. Domaine aquatique marin

5.2.1. Sédiments

Les sédiments marins sont prélevés soit avec une pelle à marée basse, soit au cône de Berthois pour les vases de port. Les stations de prélèvement sont choisies en fonction de la sédimentologie propre à chaque site, dans la mesure du possible dans les zones de sédiments les plus fins. Environ 5 kg de sédiments sont prélevés, conditionnés en double sac plastique, référencés puis acheminés et conservés en chambre froide à 4°C en attente du traitement.

5.2.2. Végétaux

Les algues sont prélevées à la main dans la zone de balancement des marées. Après avoir localisé les différentes espèces d'algues présentes, un prélèvement de 5 à 10 kg est effectué sur trois à cinq points dans une population algale monospécifique. Ceci permet d'obtenir un échantillon intégrant les variations des activités des divers radionucléides en fonction de l'étagement. Les algues sont débarrassées de la faune et de la flore épiphytes et lavées dans une mare d'eau de mer ou directement dans la mer, selon la configuration du site. Après étiquetage, les sacs d'algues sont acheminés et conservés en chambre froide à 4°C en attente du traitement.

5.2.3. Poissons, crustacés, mollusques

Les pêches sont réalisées selon les techniques locales propres à chaque site et en fonction des espèces. En général, les poissons et les crevettes sont prélevés au filet, les crustacés au casier (tourteaux, homards) ou à la nasse. Les mollusques sont soit prélevés sur l'estran à la main (moules, patelles), soit au large au casier (bulots) ou à la drague. 5 à 20 kg de produits frais sont prélevés et congelés avant préparation. Chaque lot de poissons ou de crustacés est constitué, dans la mesure du possible, d'individus de même taille et de poids similaire.

Les pêches sont réalisées en fonction de la présence des espèces, dans un rayon de 5 à 40 km autour du site. La pêche en mer, souvent aléatoire, ne permet pas, notamment pour les poissons, de garantir des prises de chaque espèce, chaque année.

Les supports logistiques des laboratoires maritimes ou des pêcheurs locaux sont sollicités pour réaliser certains prélèvements. Après étiquetage, les échantillons sont acheminés et conservés en congélateur avant traitement.



Annexe 6. Préparation et conditionnement des échantillons

6.1. Domaine terrestre

6.1.1. Eau de boisson

6.1.1.1. Mesurage des émetteurs gamma

Pour le mesurage des émetteurs gamma, chaque échantillon de 90 litres environ est ramené à un volume de 500 mL par évaporation à 70 °C. L'échantillon concentré est transvasé dans un conteneur pour échantillons liquides (SG500), équivalent de la géométrie 380 mL. Il est alors expédié au laboratoire de métrologie de l'IRSN.

6.1.1.2. Mesurage du tritium

La préparation pour le mesurage du ³H se fait sur le terrain par filtration sur filtre plan de porosité 0,22 μm de deux échantillons de 40 ml, puis expédiés au laboratoire de métrologie dans des sachets aluminés sous vide.

6.1.2. Sols

Après émottage et quartage, 300 g environ sont séchés à l'étuve à une température inférieure à 40 °C, placés dans un sachet, référencés et expédiés, pour l'analyse granulométrique et la détermination de la teneur en matière organique, à la Société du Canal de Provence ou à l'INRA d'Arras. En ce qui concerne les analyses par spectrométrie gamma, 1,5 kg d'échantillon est séché et tamisé à 2 mm. 350 à 500 g de la fraction de terre fine (< 2 mm) ainsi séparés sont broyés puis conditionnés dans une boîte cylindrique en matière plastique (géométrie solide 380 mL), dont les dimensions sont spécifiques aux comptages en spectrométrie γ . Référencée, cette boîte est expédiée au laboratoire de métrologie de l'IRSN.

6.1.3. Végétaux

6.1.3.1. Mesurage des émetteurs gamma

De retour au laboratoire, les échantillons sont immédiatement nettoyés et pesés frais. Ils sont ensuite placés en étuve à moins de 105 °C jusqu'à dessiccation complète (24 à 48 h). Le poids sec de l'échantillon est noté, puis le résidu sec est mis au four. La montée en température s'effectue par paliers successifs afin d'éviter l'inflammation des échantillons (Figure 36 page 217). À la sortie du four, les cendres sont pesées puis broyées jusqu'à obtention d'une poudre, afin de concentrer le maximum de matière dans le minimum de volume. Le conditionnement est réalisé dans des boîtes en matière plastique (géométries) de 17 mL ou de 60 mL, référencées. Le poids du contenu est noté puis la géométrie est expédiée au service de métrologie de l'IRSN afin d'effectuer une spectrométrie γ . Le rapport poids frais / poids sec est déterminé sur chaque aliquote de façon à exprimer l'ensemble des résultats dans la même unité (Bq.kg⁻¹ sec).



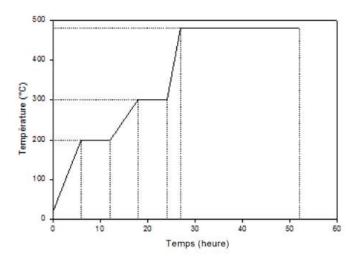


Figure 36 - Chronique d'une incinération : montée en température et paliers en fonction du temps.

Les analyses destinées à la mesure de l'¹³¹l sont effectuées rapidement, idéalement dans les 8 jours qui suivent le prélèvement. Les échantillons peuvent être mesurés frais (mousses, herbe) ou sec (lait).

6.1.3.2. Mesurage du tritium et du ¹⁴C

L'aliquote mise au frais sur le terrain est immédiatement lyophilisée ou à défaut entreposée au congélateur. Le rapport de poids est calculé et noté, pour s'assurer de la qualité du traitement. Le conditionnement de la matière sèche est réalisé dans des sachets aluminisés sous vide. Le poids du contenu est noté puis la boîte référencée est expédiée au service de métrologie. L'eau de lyophilisation est filtrée sur filtre plan à 0,22 µm puis 40 mL sont conditionnés dans un flacon en verre brun et expédiés au service de métrologie dans des sachets aluminés sous vide.

6.1.4. Lait

6.1.4.1. Mesurage des émetteurs gamma

De retour au laboratoire, 6 à 18 litres de lait sont évaporés dans une étuve à moins de 105 °C. Le résidu sec est ensuite incinéré selon le protocole cité précédemment. À la sortie du four, les cendres sont pesées puis broyées jusqu'à obtention d'une poudre. Le conditionnement est réalisé dans des boîtes en plastique (géométries) de 17 mL ou de 60 mL. Le poids du contenu est noté puis la boîte référencée est expédiée au service de métrologie afin d'effectuer une spectrométrie γ .

6.1.4.2. Mesurage du tritium et du ¹⁴C

Un litre de lait est lyophilisé de manière à extraire l'eau contenue dans l'échantillon. L'extrait sec est destiné à mesurer le tritium organiquement lié et du ¹⁴C. Le conditionnement de la matière sèche est réalisé dans des sachets aluminisés sous vide. Le poids du contenu est noté puis la boîte référencée est expédiée au service de métrologie. L'eau de lyophilisation est filtrée sur filtre plan à 0,22 µm puis 40 mL sont conditionnés dans un flacon en verre brun et expédiés au service de métrologie dans des sachets aluminés sous vide.

6.2. Domaine aquatique marin

6.2.1. Sédiments



Les sédiments sont émottés à la main et tamisés à 2 mm puis séchés à 40° C. La fraction supérieure à 2 mm est écartée. Une fraction est réservée pour la granulométrie et la détermination de la teneur en matière organique. Une géométrie de comptage de 380 mL est remplie pour effectuer une spectrométrie γ .

6.2.2. Végétaux

6.2.2.1. Mesurage des émetteurs gamma

Les algues sont triées et les thalles (appareil végétatif des végétaux inférieurs) présentant une épifaune et une épiflore sont éliminés. Pesées fraîches, elles sont séchées à moins de 105 °C jusqu'à poids constant et pesées sèches. Elles sont ensuite incinérés à 480 °C dans un four à moufle (cf. chronique d'une incinération, (Erreur! Source du renvoi introuvable. page 217). Les cendres sont pesées puis broyées. En fonction du volume de matières préparé, un conteneur 380 mL (sec) ou 60 ou 17 mL (cendres) est utilisé. Le protocole de préparation et de mesurage de l'¹³¹l pour les végétaux terrestres est appliqué sur une partie des algues. Référencées, ces boîtes sont expédiées au laboratoire de métrologie.

6.2.2.2. Mesurage du tritium et du ¹⁴C

L'aliquote mise au frais sur le terrain est immédiatement lyophilisée ou à défaut entreposée au congélateur. Le rapport de poids est calculé et noté, pour s'assurer de la qualité du traitement. Le conditionnement de la matière sèche est réalisé dans des sachets aluminisés sous vide. Le poids du contenu est noté puis la boîte référencée est expédiée au service de métrologie. L'eau de lyophilisation est filtrée sur filtre plan à 0,22 µm puis 40 mL sont conditionnés dans un flacon en verre brun et expédiés au service de métrologie dans des sachets aluminés sous vide.

6.2.3. Poissons, crustacés, mollusques

6.2.3.1. Mesurage des émetteurs gamma

Les préparations consistent à séparer les parties comestibles des parties non comestibles. Pour les poissons, les filets (muscles) sont levés après décongélation éventuelle ; la tête, la peau, les viscères et les arêtes sont éliminées. Les chairs de certains crustacés (homards) sont disséquées, tandis que d'autres sont préparés entiers (crevettes et tourteaux). En effet, il n'est pas raisonnable de collecter suffisamment d'individus sur de petites zones de pêche pour permettre la réalisation des mesures sur les chairs. Pour les mollusques, l'ensemble des parties molles est retenu après séparation et élimination des coquilles. Les mêmes traitements que pour les végétaux (cf. ci-dessus) sont réalisés par la suite.

6.2.3.2. Mesurage du tritium et 14C

Une aliquote est lyophilisée de manière à extraire l'eau contenue dans l'échantillon. L'extrait sec est destiné à mesurer le tritium organiquement lié et le 14C. Le conditionnement de la matière sèche est réalisé dans des sachets aluminisés sous vide. Le poids du contenu est noté puis la boîte référencée est expédiée au laboratoire de métrologie. L'eau de lyophilisation est filtrée sur filtre plan à 0,22 µm puis 40 mL sont conditionnés dans un flacon en verre brun et expédiés au laboratoire de métrologie dans des sachets aluminés sous vide.



Annexe 7. Techniques d'analyses

7.1. Détermination de la teneur en matière organique et de la granulométrie des sols et des sédiments

Ces analyses sont réalisées par le Laboratoire d'Analyses des Eaux de la Société du Canal de Provence ou par le laboratoire d'analyse des sols de l'INRA d'Arras.

7.1.1. Teneur en matière organique

La matière organique des sédiments et des sols est dosée par calcination. Les échantillons, préalablement séchés à 105±2 °C jusqu'à poids constant, sont calcinés dans un four à moufle porté progressivement jusqu'à une température de 480 °C. La perte de masse permet de connaître directement le pourcentage de matière organique.

7.1.2. Granulométrie

La technique d'analyse granulométrique consiste tout d'abord en une attaque de la matière organique par l'eau oxygénée à 20 volumes, qui permet d'éliminer ce liant des particules. Une agitation mécanique dans l'hexamétaphosphate de sodium va disperser les particules dans un flacon à sédimentation.

La séparation des argiles, limons fins et grossiers est réalisée au moyen de prélèvements de 20 ml de cette suspension, en se basant sur la loi de Stockes qui régit la sédimentation des particules dans un liquide à température constante. Des abaques permettent en effet de connaître la profondeur de sédimentation de chacune de ces fractions en un temps donné. Les aliquotes prélevées sont déposées dans des capsules et desséchées à 103±2°C jusqu'à poids constant.

Le fractionnement des sables se fait par la superposition de tamis de 200 μ m et de 50 μ m. Le sédiment est tamisé sous un jet d'eau pour éliminer les particules de diamètre inférieur à 50 μ m.

7.2. Identification des espèces vivantes

Une fraction des échantillons de mousses prélevées est mise à sécher à l'air libre. Leur identification est réalisée selon le besoin. Notamment, les mousses aquatiques qui peuvent être identifiées par le Laboratoire AgroCampus Ouest de Rennes.

Les phanérogames terrestres, aquatiques et semi-aquatiques sont identifiées par nos soins.

La détermination des espèces de poissons est effectuée après capture, lors des mesures de biométrie, par un pêcheur professionnel.

7.3. Mesure du tritium libre

La mesure du tritium libre est réalisée par le service de métrologie de l'IRSN Orsay (Essonne).

Il est entendu par « tritium libre » le tritium de la molécule d'eau ou pouvant être recouvré sous forme d'eau par déshydratation d'un échantillon solide (eau interstitielle, eau tissulaire).

Les échantillons d'eau, excepté les eaux de lyophilisation, sont distillés à sec. Les échantillons solides frais sont lyophilisés à froid sous vide, permettant de séparer la fraction eau et la fraction sèche. Dans le cas des produits alcoolisés, une distillation partielle est effectuée sur la fraction liquide recueillie pour isoler l'eau de l'alcool.



7.4. Mesure du tritium organiquement lié

Deux méthodes sont utilisées, par scintillation ou par spectrométrie de masse. La mesure par spectrométrie de masse est privilégiée pour les échantillons à faible teneur en matière organique, notamment les sols et sédiments.

Par scintillation, l'échantillon déshydraté subit une combustion en flux d'oxygène et d'argon. Le système de combustion est constitué d'un tube de quartz glissé dans deux fours annulaires. Le premier four est réglable en température, de la température ambiante à 1000°C. Le second four est réglé à une température de 1000°C. Les vapeurs d'eau de combustion sont récupérées en sortie de four par un piège froid. L'eau de combustion recueillie est distillée à sec.

Le tritium organiquement lié peut être également déterminé en mesurant par spectrométrie de masse, la quantité d'hélium 3 (³He), descendant du tritium. L'échantillon est lyophilisé, puis conditionné dans un conteneur, garantissant une étanchéité totale. L'isolement est maintenu le temps nécessaire à la formation de la quantité d'3He nécessaire. Ce délai varie généralement entre 3 et 6 mois et dépend de la masse d'échantillon introduite, des performances du spectromètre de masse, de la quantité de tritium attendue et de l'incertitude souhaitée. A l'issue de la période de stockage, le conteneur est monté sur la ligne d'introduction du spectromètre de masse pour la mesure de l'hélium. L'activité en tritium est déterminée par calcul de décroissance.

Les mesures sont effectuées sur un spectromètre VG-3000 de chez Micromass.

7.5. Mesure du ¹⁴C

Deux méthodes sont utilisées, par scintillation ou par spectrométrie de masse. La mesure par accélérateur est privilégiée sur les échantillons présentant un faible taux de matière organique, les sols et les sédiments notamment.

Avant la mesure par scintillation, le carbone des échantillons est oxydé en dioxyde de carbone dans une bombe à combustion. Le dioxyde de carbone est ensuite transformé en carbure de lithium, qui, par hydrolyse, donne de l'acétylène. Ce dernier est trimérisé en benzène. La multiplication par le rapport 78/72 de l'activité mesurée en benzène par scintillation permet d'exprimer l'activité en Bq.kg⁻¹ de carbone.

Avant la mesure par spectrométrie, les sédiments et les sols à traiter sont totalement décarbonatés durant plusieurs jours dans de l'acide dilué, puis rincés à l'eau ultrapure jusqu'à un pH neutre. Les échantillons sont brûlés pendant 4 heures à 900 °C. La quantité de carbone contenu dans le gaz est mesurée. Le CO₂ obtenu est ensuite réduit par H₂ en présence de poudre de fer à 575 °C. Le carbone se dépose sur la poudre de fer et le mélange est pressé dans une cible afin d'être mesuré.

L'activité en ¹⁴C de l'échantillon est calculée en comparant les intensités mesurées séquentiellement des faisceaux de ¹⁴C, ¹³C et ¹²C de chaque échantillon avec ceux de standards de CO₂ préparés à partir de l'acide oxalique de référence HOxI.

La mesure des rapports isotopiques 13 C/ 12 C et du carbone total s'effectuent sur un couplage d'un analyseur élémentaire relié à un spectromètre de masse isotopique par combustion totale du prélèvement analytique à 1050° C sous courant d'un mélange d'oxygène et d'hélium. Le carbone des échantillons est transformé en CO_2 et quantifié par des détecteurs spécifiques infrarouge CO_2 . Ces analyses sont réalisées par l'Institut des Science Analytique (CNRS) de Villeurbanne.



7.6. Spectrométrie γ

L'essentiel des mesures par spectrométrie γ est réalisé par le service de métrologie de l'IRSN accrédité COFRAC pour les matrices exploitées dans cette étude. La mesure de l'131 des échantillons collectés en Manche et mer du Nord est effectuée au laboratoire d'Octeville (LRC) de l'IRSN.

L'IRSN dispose d'installations de mesure spécifiques lui permettant de détecter et de quantifier les radionucléides naturels ou artificiels émetteurs γ dans des échantillons de très faibles niveaux de radioactivité comme c'est le cas des échantillons issus de l'environnement.

L'un des objectifs du service de métrologie est de détecter les niveaux de radioactivité les plus bas en jouant sur l'efficacité de la détection, le mouvement propre et le bruit de fond radioactif de l'installation. Un autre objectif est d'assurer que la qualité des résultats reste constante au cours du temps à l'aide d'un programme d'assurance qualité.

Afin de protéger les détecteurs du rayonnement cosmique secondaire, la salle de mesure blindée est en soussol, à 6 m de profondeur. Pour augmenter la protection contre ce type de rayonnement, sous-sol et rez-dechaussée sont séparés par une dalle de béton de 3 m d'épaisseur. Le blindage de la salle est constitué d'un mur de 10 cm de plomb (115 tonnes de plomb) de faible radioactivité. Cependant, les rayonnements cosmiques induisent une fluorescence X du plomb qui fait apparaître des raies parasites jusqu'à 90 keV. Le mur de la salle blindée a donc été doublé d'une couche interne de 10 mm de cuivre électrolytique qui neutralise cette fluorescence X. De plus, les matériaux utilisés dans la chambre blindée, en particulier les aciers entrant dans les supports des détecteurs, ont été sélectionnés pour leurs faibles niveaux radioactifs. Ces précautions réduisent les sources de radioactivité liées à l'introduction du matériel de mesure. De même, des précautions sont prises pour limiter les effets des sources potentielles de radioactivité naturelle, tels les radionucléides appartenant aux familles radioactives de l'uranium et du thorium comme le 40K, ou artificielles, comme les radionucléides issus des essais nucléaires aériens ou d'accidents nucléaires.

Les détecteurs sont de type Gamma-X Ge System, d'efficacité comprise entre 10 et 23 %, et d'une résolution de 850 eV à 100 keV. Les spectrométries sont réalisées dans la bande d'énergie allant de 20 keV à 3 MeV. La méthode de mesure (acquisition et traitement des spectres) est celle développée par la société Silena et utilisée dans les logiciels Emca Plus et Silgamma.

Annexe 8. Expression des résultats et unités utilisées

Les résultats d'analyse de radioactivité sont rapportés à la date de prélèvement.

Les activités en émetteurs gamma sont reportées en Bq.kg-1 de matière sèche pour les résultats dans la plupart des matrices, en Bg.kg⁻¹ frais pour les poissons, mollusques et crustacés et en Bg.L⁻¹ dans le lait et l'eau. Le ¹³⁷Cs, émetteur β⁻, donne naissance avec un rendement de 94,6 % au ^{137m}Ba de période 2,55 minutes et avec un rendement de 5,4 % au ¹³⁷Ba, stable. Le ^{137m}Ba conduit au ¹³⁷Ba, avec émission gamma (rendement de 85 %). Dans le rapport, l'activité gamma mesurée du ^{137m}Ba, sera reportée sous l'intitulé ¹³⁷Cs usuellement utilisé.

Les activités en tritium sont reportées en Bg.L-1 d'eau de cryodessiccation pour le tritium libre mesuré dans le lait et les poissons, en Bg.L-1 d'eau filtrée pour les résultats dans les prélèvements d'eau de boisson ou d'irrigation. Les activités en tritium organiquement lié sont reportées en Bq.L⁻¹ d'eau de combustion et en Bq.kg⁻¹ de matière sèche.



Les activités en ¹⁴C sont reportées en Bq.kg⁻¹ de carbone ainsi qu'en pMC (pourcentage de carbone moderne). Le pMC est calculé à partir du résultat en Bq.kg⁻¹ de carbone (A ci-dessous) et du résultat de la mesure du rapport 13 C/ 12 C (δ^{13} C ci-dessous) :

$$pMC = A \left\{ 1 - \frac{2 \times (25 + \delta^{13} C)}{1000} \right\} \times \frac{100}{226}$$
 d'après [35]

Chacun des résultats de mesure du ¹⁴C en Bq.kg⁻¹ de carbone (BqC ci-dessous) est assorti du résultat de la mesure du carbone total en g.kg⁻¹ sec (C ci-dessous) pour permettre l'expression du résultat en Bq.kg⁻¹ de matière sèche (BqS ci-dessous) :

$$BqS = BqC (C / 1000)$$

Dans les tableaux récapitulatifs concernant les données antérieures relatives à un site, une vision synthétique de l'ensemble des résultats disponibles est donnée par l'utilisation de leur gamme de variation. Ces tableaux comprennent les valeurs minimales et maximales mesurées pour chaque radionucléide décelé, ainsi que leur fréquence de détection (égale au nombre d'échantillons où le radionucléide est détecté de manière significative divisé par le nombre d'échantillons analysés). Lorsqu'aucune valeur significative n'a été obtenue, les données chiffrées sont remplacées par un tiret (-).

Dans les tableaux des résultats de l'année ainsi que dans le texte, les résultats sont accompagnés de l'incertitude statistique, calculée pour un intervalle de confiance de 95 %, et sont présentés dans les tableaux par : « valeur \pm incertitude » (\pm 2 σ). De 1996 à 2010, ces tableaux indiquaient, en outre, la Limite de Détection (LD) associée à la mesure des radionucléides non détectés. Depuis 2011, cette LD fait place au Seuil de Décision (SD = LD/2). En outre, le couple « valeur \pm incertitude » ainsi que les SD sont arrondis depuis 2011 selon les règles du Laboratoire National Henri Becquerel [36].

Les graphiques présentent les valeurs significatives (rond coloré) accompagnées de leurs incertitudes (barres verticales colorées hautes et basses) ou le seuil de décision (barre colorée depuis l'abscisse) dans le cas de valeurs non significatives (Figure ci-dessous).

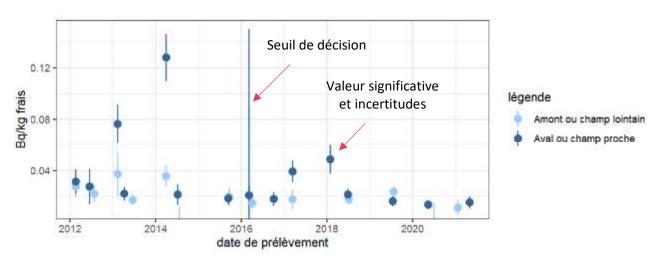


Figure 37 -Valeurs significatives et seuils de décision dans les graphiques.

Dans le milieu aquatique continental, les résultats de mesure du ¹³⁷Cs peuvent être normalisés par la granulométrie pour baisser la variabilité naturelle [37]. Ainsi les résultats de chacun des deux prélèvements en aval sont normalisés selon leur granulométrie pour être ramenés à la granulométrie du prélèvement en amont selon la formule :

$$^{137}Cs_{ref} = ^{137}Cs_{meas} \cdot \frac{(1.15 \pm 0.20) \cdot CC_{ref} + (0.43 \pm 0.16) \cdot FSC_{ref}}{(1.15 \pm 0.20) \cdot CC_{meas} + (0.43 \pm 0.16) \cdot FSC_{meas}}$$

Où:

¹³⁷Cs_{ref} = activité massique en ¹³⁷Cs normalisée (une station aval dans ce document);

¹³⁷Cs_{meas} = activité massique en ¹³⁷Cs mesurée (une station aval dans ce document);

CC_{ref} = teneur en argile du sédiment de référence (station amont dans ce document) ;

CC_{meas} = teneur en argile du sédiment mesuré;

FSC_{ref} = teneur en limon fin du sédiment de référence (station amont dans ce document) ;

FSC_{meas} = teneur en limon fin du sédiment mesuré.

Cette équation ne doit être utilisée que si la teneur en matière organique est supérieure à 1 %.

Annexe 9. Radionucléides dans l'environnement

9.1. Radioactivité d'origine naturelle

La radioactivité naturelle est essentiellement due au ⁴⁰K, à la famille de l'²³⁸U comprenant 14 descendants, et à celle du ²³²Th en comprenant 10. Le ⁷Be est parfois détecté.

Dans le cas des deux familles du ²³²Th et de l'²³⁸U, le mesurage est le plus souvent réalisé à l'aide de raies d'émission de plusieurs éléments fils de chacune de ces deux chaînes naturelles :

- pour la famille du ²³²Th : ²²⁸Ac, ²¹²Pb-²¹²Bi-²⁰⁸Tl

- pour la famille de l'²³⁸U : ²³⁴Pa, ²³⁴Th, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi, ²¹⁰Pb

En fonction de l'énergie d'émission, de l'activité dans l'échantillon et de l'éventuel déséquilibre au sein de la chaîne, le dosage ne s'effectue pas toujours sur les raies d'énergie du même élément fils.

Si les éléments fils du thorium et de l'uranium sont à l'équilibre avec l'élément père, et uniquement dans ce cas précis, alors la radioactivité naturelle peut être calculée selon la formule : 40 K + (14 × 238 U) + (10 × 232 Th) + 7 Be. L'équilibre dans une chaîne de filiation peut ne pas être respecté en raison d'un apport supplémentaire d'origine naturelle (apport atmosphérique, métabolisme favorisant la concentration d'un élément donné chez les organismes vivants...) et/ou anthropique de l'un des éléments de la chaîne.



Les activités en radionucléides naturels dans les sols et sédiments métropolitains ont fait l'objet de publications dont un rapport IRSN [24].

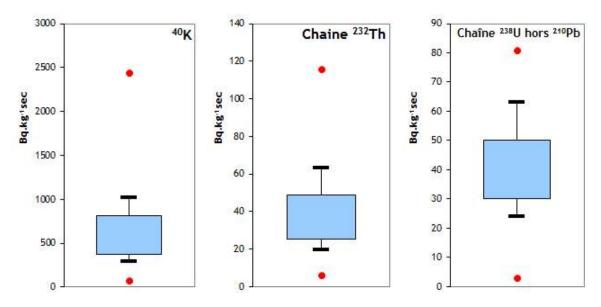


Figure 38 – Teneur en ⁴⁰K et en radionucléides des familles du ²³²Th et du ²³⁸U dans les sols métropolitains (1er et 3ème quartiles, 1er et 9ème déciles, minimum et maximum).

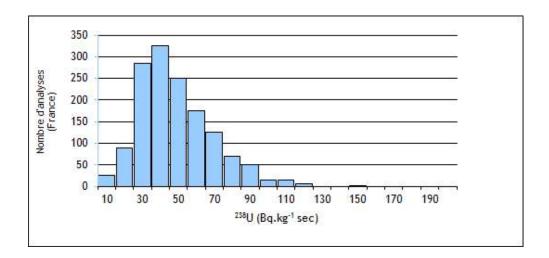


Figure 39 – Teneur en ²³⁸U dans les sédiments métropolitains.

9.2. Radioactivité d'origine artificielle

La présence dans la biosphère de radio-isotopes artificiels résulte des apports anthropiques liés à l'utilisation militaire du combustible nucléaire, à son utilisation civile dans les installations nucléaires en fonctionnement normal et aux accidents qui se sont produits.



9.2.1. Retombées atmosphériques des essais militaires

Les essais nucléaires atmosphériques, qui se sont déroulés essentiellement de 1945 à 1962, ont libéré en majorité des produits de fission, tels que le ¹³⁴Cs, le ⁹⁰Sr et les radio-isotopes 238, 239 et 240 du plutonium. Les retombées ont conduit à un marquage chronique de l'environnement qui perdure depuis l'arrêt des essais américains et soviétiques en août 1963.

Jusqu'au 16 octobre 1980, la Chine a continué à effectuer des essais atmosphériques d'armes nucléaires à Lop Nor (40°N, 90°O). Les mesures réalisées consécutivement à ces tirs dans des échantillons d'air ou des échantillons biologiques ont montré la présence de ¹⁴⁴Ce/Pr, ¹⁴¹Ce, ¹³⁷Cs, ⁵⁴Mn, ⁵⁷Co, ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ¹⁰³Ru, ¹⁰⁶Ru/Rh, ⁹⁵Zr, ⁹⁵Nb et ¹²⁵Sb [38].

9.2.2. Retombées dues aux accidents d'installations nucléaires

L'accident ayant entraîné l'émission radioactive quantitativement la plus importante est celui de Tchernobyl, survenu le 26 avril 1986. Cet accident a libéré dans l'atmosphère des radionucléides divers représentatifs du cœur du réacteur, dont les plus abondants sont les ¹³⁴⁺¹³⁷Cs, l'¹³¹I, le ¹³²Te, le ¹⁴⁰Ba et les ¹⁰³⁺¹⁰⁶Ru. La progression du nuage a conduit, surtout dans l'est et le sud-est de la France, à partir du 29 avril, à une montée nette de la radioactivité des aérosols. Les dépôts, essentiellement sous forme humide, ont affecté directement et par lessivage des sols, les bassins versants français, tout comme les écosystèmes aquatiques de l'est et du nord de l'Europe.

Les retombées de l'accident de Fukushima Daiichi survenu au Japon au cours de la seconde moitié du mois de mars 2011 ont occasionné en France des détections faibles et fugaces dans les matrices terrestres de ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ¹³¹I et ¹³²Te. Le rapport ¹³⁷Cs/¹³⁴Cs est proche de 1 [20]. Il semblerait que les retombées en France aient été assez homogènes, sans fluctuations spatiales ou temporelles.

9.2.3. Effluents liquides et atmosphériques des CNPE en fonctionnement normal

L'exploitation d'un réacteur électronucléaire implique la génération d'isotopes stables et radioactifs issus de la fission des noyaux du combustible (produits de fission), et de l'activation des différents matériaux de structure (produits d'activation). Après traitement, contrôle et dilution, les effluents liquides faiblement radioactifs sont rejetés dans les cours d'eau ou la mer conformément à la législation en vigueur.

Globalement, les principaux radionucléides émetteurs γ émis par les réacteurs à eau pressurisée en fonctionnement normal sont: 58Co, 60Co, 110mAg, 123mTe, 124Sb, 125Sb, 131I, 54Mn, 134Cs et 137Cs. Dans l'ensemble, parmi ces dix radionucléides, les réacteurs à eau pressurisée rejettent principalement les ⁵⁸Co, ⁶⁰Co et ^{110m}Ag. Les quantités rejetées au cours des années 90 ont diminué d'environ un facteur dix. Cependant, la composition des effluents liquides est variable d'un CNPE à l'autre, en fonction de sa conception, de son mode d'exploitation, de son âge et de l'historique d'exploitation de la tranche.

Les effluents atmosphériques radioactifs sont rejetés dans l'environnement, après traitement des effluents atmosphériques hydrogénés et stockage durant trente jours au minimum.

9.2.4. Effluents liquides et atmosphériques d'autres installations

Des centres d'études, des centres militaires ainsi que des centres de traitements ou de stockage du combustible usé peuvent occasionner des marquages avec des signatures plus ou moins proches de celui des CNPE.

Les services de médecine nucléaire rejettent du ¹³¹I dans les cours d'eau, au travers des stations d'épuration des agglomérations sur lesquelles ils sont implantés.



9.3. Sources de ³H

En dehors des rejets de ³H liquides et dans l'atmosphère par les CNPE, le ³H est déjà présent dans l'environnement. Sur l'ensemble du globe, la plus grande part provient très majoritairement des essais atmosphériques d'armes nucléaires. Localement, les sites CEA de Marcoule, ORANO La-Hague, Saclay, Bruyères-le-Châtel et Valduc sont aussi à l'origine d'un net marquage de l'environnement. Les résidus de l'industrie horlogère peuvent augmenter sensiblement les niveaux de radioactivité des systèmes aquatiques.

Avant l'ère nucléaire, les valeurs en ³H de l'eau de pluie étaient inférieures à 2 Bq.L⁻¹. Le ³H a été massivement produit lors des essais atmosphériques d'armes nucléaires. De plus de 500 Bq.L⁻¹ dans l'eau de pluie dans les années soixante, l'activité volumique à proximité de la zone d'étude est descendue à 10 Bq.L⁻¹ en 1980 après le dernier essai aérien. Aujourd'hui, l'activité volumique de l'eau de pluie est inférieure à 2 Bg.L⁻¹.

9.4. Sources de ¹⁴C

En dehors des rejets autorisés de ¹⁴C liquides et atmosphériques par les CNPE, le ¹⁴C est déjà présent dans l'environnement.

Les essais atmosphériques d'armes nucléaires ont massivement apporté du ¹⁴C dans l'atmosphère. L'activité spécifique atmosphérique en ¹⁴C est montée jusqu'à 400 Bq.kg⁻¹ de carbone. Depuis, l'activité moyenne atmosphérique a décru. Elle est, en 2021, de 223±7 Bq.kg⁻¹ de C [3].



Annexe 10. Laboratoires d'analyses

| ANALYSES | LABORATOIRE | |
|---|---|--|
| Radionucléides émetteurs alpha | | |
| Radionucléides émetteurs gamma (+ lode-129) | IRSN/PSE-ENV/SAME | |
| Strontium-90 | Laboratoire de Métrologie de la Radioactivité | |
| Carbone-14 (méthode benzène) | dans l'Environnement (LMRE) | |
| Tritium libre et lié | Le bois des Rames - Bâtiment 501 | |
| Technétium-99 | 91400 Orsay | |
| Nickel-63 | | |
| | IRSN/PSE-ENV/SAME | |
| Carbone-14 (méthode benzène) | Laboratoire de Mesures Nucléaires (LMN) | |
| Fer-55 | 31 rue de l'écluse | |
| | 78116 Le Vésinet | |
| Carbone-14 (méthode AMS) | Laboratoire de mesure du carbone-14 | |
| | Bâtiment 450 porte 4E | |
| | CEA Saclay | |
| | 91191 Gif-sur-Yvette Cedex | |
| | | |
| | Isotoptech Zrt. | |
| | P.O. Box 390 Debrecen, H-4001 Hongrie | |
| lode-131 | IRSN/PSE-ENV/SRTE | |
| | Laboratoire de Radioécologie de Cherbourg- Octeville (LRC) | |
| | Rue Max-Pol Fouchet – BP 10 – Cherbourg- | |
| | Octeville | |
| | 50130 Cherbourg-en-Cotentin | |
| lode-127 | Centre National de la Recherche Scientifique | |
| Calcium | Service central d'analyses | |
| Carbone et rapport ¹³ C/ ¹² C | 5 rue de la Doua | |
| Hydrogène | 69100 Villeurbanne | |
| Granulométrie 5 fractions | Institut national de la recherche agronomique | |
| Teneurs en matière organique, calcium et | , | |
| aluminium | 273 rue de Cambrai | |
| Capacité d'échange cationique | 62000 Arras | |





31 av. de la division Leclerc 92260 Fontenay-aux-Roses RCS Nanterre B 440 546 018

COURRIER

B.P 17 - 92260 Fontenay-aux-Roses

TÉLÉPHONE +33 (0)1 58 35 88 88

SITE INTERNET

www.irsn.fr

