A photograph of the Paluel Nuclear Power Plant, featuring several large containment domes and industrial buildings situated on a rocky coastline. In the foreground, there is a body of water with a breakwater made of large concrete blocks. The sky is blue with scattered white clouds.

Rapport environnemental annuel
relatif aux installations nucléaires du
Centre Nucléaire de Production
d'Electricité de

PALUEL

2020

Bilan rédigé au titre de l'article 4.4.4 de l'arrêté
du 7 février 2012

SOMMAIRE

Partie I - Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité	4
de Paluel en 2020	4
I. Contexte	4
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	5
V. Bilan des incidents de fonctionnement et des évènements significatifs pour l'environnement	5
Partie 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	11
IV. Milieu de prélèvement : comparaison pluriannuelle, prévisionnel, valeurs limites et maintenance	11
Partie III – Restitution et consommation d'eau	13
I. Restitution d'eau	13
II. Consommation d'eau	14
Partie IV - Rejets d'effluents	15
I. Rejets d'effluents à l'atmosphère	15
II. Rejets d'effluents liquides	24
III. Rejets thermiques	38
Partie VI - Surveillance de l'environnement	41
I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement	41
II. Physico-chimie des eaux souterraines	48
III. Chimie et physico-chimie des eaux de surface	49
IV. Surveillance écologique et halieutique	51
V. Acoustique environnementale	56

Partie VII - Évaluation de l'impact environnemental et sanitaire des rejets de l'installation
57

Partie VIII - Gestion des déchets	60
I. Les déchets radioactifs	60
II. Les déchets non radioactifs	64
ABREVIATIONS	66
ANNEXE	67

TABLE DES ILLUSTRATIONS :

Figure 1 : implantation du CNPE de Paluel	5
Figure 2 : Schéma d'un CNPE avec un circuit de refroidissement ouvert (Source : EDF)	9
Figure 3 : Cartes de répartition des balises radiométriques du CNPE de Paluel	43
Figure 4 : Echelle des ordres de grandeur de doses résultant de situations courantes et comparaison aux seuils réglementaires (Source : EDF)	58
Figure 5 : part relative des différentes sources d'expositions de la population française aux rayonnements ionisants (source : bilan IRSN 2015)	58
Figure 6 : Transport des déchets radioactifs (Source : EDF)	63

Partie I - Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité de Paluel en 2020

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 2020 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 (35 km à l'est) et Fécamp (20km à l'ouest). Sa construction a commencé en décembre 1975 dans la vallée 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 1400 salariés EDF et 750 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.

En 2020, la centrale nucléaire de Paluel a produit 7% de l'électricité d'origine nucléaire consommée en France, soit près de 25 TWh.

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 4 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)



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 2020, 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 2020, 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 événements 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 événements 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 événements significatifs pour l'environnement déclarés

Le tableau suivant récapitule les événements significatifs pour l'environnement déclarés par le CNPE de Paluel en 2020.

Typologie	Date	Description de l'évènement	Principales actions correctives
ESE 2	01/04/2020	Dépassement du flux 24H de sulfates lors d'un rejet de la station de déminéralisation	→ Retour d'expérience (REX) de l'évènement en réunion des laboratoires chimie et environnement sur la base d'un document pédagogique → Modification de la documentation du laboratoire de chimie en intégrant les éléments issus du REX → Mise en place d'un programme de maintenance Préventive
ESE 6	28/04/2020	Cumul annuel d'émission de gaz frigorigène supérieur à 100Kg pour l'année 2020	→ Identification de solutions techniques avec l'appui de l'unité nationale d'ingénierie d'exploitation d'EDF → Mise en place de bouchons d'isolement sur les vannes
ESE 6	05/07/2020	Cumul annuel d'émission de gaz SF6 supérieur à 100 kg sur le site	→ Poursuite de la campagne de rénovation des postes sous enveloppe métallique → Réfection et remplacement de composants

2. Bilan des incidents de fonctionnement

Le CNPE de Paluel a eu, durant l'année 2020, des matériels indisponibles tels que : une indisponibilité fortuite de la baie KRS du laboratoire effluent. Ces indisponibilités n'ont pas eu d'incidence sur la qualité de la surveillance environnementale compte tenu de la redondance de nos matériels ou de la remise en état rapide des matériels pour en limiter au maximum l'indisponibilité.

Le CNPE de Paluel a détecté un défaut d'étanchéité sur l'un des séparateurs à hydrocarbure situé sur un parking. Ce défaut n'a pas occasionné de marquage de l'environnement. Un équipement temporaire a été mis en place le temps du changement du séparateur.

Le CNPE de Paluel a connu deux dépassements du seuil autorisé de 10mg/L en hydrocarbure en sortie du déshuileur de site. Suite à cette détection, le déshuileur a été rendu indisponible pour permettre d'analyser l'origine de ce dépassement et de réaliser les actions curatives nécessaires.

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.

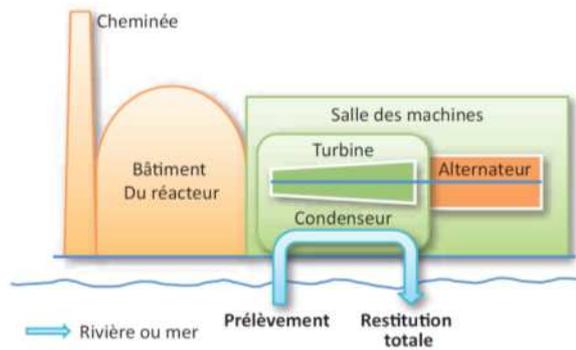


Figure 2 : Schéma d'un CNPE avec un circuit de refroidissement ouvert (Source : EDF)

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 3 000 salariés permanents (EDF et entreprises extérieures) auxquels s'ajoutent, lors d'un arrêt d'un réacteur pour maintenance, plus 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 ils sont implantés.

I. Prélèvement d'eau destinée au refroidissement

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel du prélèvement d'eau de mer (Manche) destinée au refroidissement de l'année 2020.

	Prélèvement d'eau (en millions de m ³)
Janvier	352
Février	330
Mars	331
Avril	359
Mai	413
Juin	369
Juillet	295
Août	293
Septembre	283
Octobre	327
Novembre	342
Décembre	400
TOTAL	4 094

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

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel du prélèvement d'eau de la rivière Durdent destinée à l'usage industriel de l'année 2020.

	Prélèvement d'eau (en milliers de m ³)
Janvier	26,1
Février	41,7
Mars	61,5
Avril	51,8
Mai	82,0
Juin	50,9
Juillet	50,3
Août	31,6
Septembre	33,0
Octobre	58,4
Novembre	36,7
Décembre	74,9
TOTAL	599,0

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

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel du prélèvement d'eau potable destiné à l'usage domestique de l'année 2020.

	Prélèvement d'eau (m ³)
Janvier	2 713
Février	2 268
Mars	2 282
Avril	1 741
Mai	2 063
Juin	3 345
Juillet	3 157
Août	3 293
Septembre	3 003
Octobre	2 866
Novembre	2 865
Décembre	2 976
TOTAL	32 572

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

1. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel des prélèvements d'eau pour 2020

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de prélèvement des années 2018 à 2020 avec la valeur du prévisionnel 2020.

Année	Milieu	Volume (millions de m ³)
N -2	Eau de mer	4 681
N -1		3 889
N		4 094
Prévisionnel N		4 900
Année	Milieu	Volume (milliers de m ³)
N -2	Durdent	815
N -1		653
N		599
Prévisionnel N		700
Année	Milieu	Volume (m ³)
N -2	Eau Potable	41 697
N -1		38 205
N		32 572

Commentaires : Le volume annuel d'eau de mer prélevé est cohérent au prévisionnel qui avait été défini pour l'année 2020, compte tenu du temps effectif de fonctionnement des tranches. En effet, le bilan global annuel du volume d'eau de mer prélevé est moindre par rapport à celui initialement prévu en raison de la prolongation de la durée des arrêts de tranche réalisés en 2020.

Le prélèvement d'eau de la Durdent est également conforme au prévisionnel qui avait été défini pour l'année 2020. A l'identique du volume d'eau de mer prélevé, il est toutefois à noter que le bilan global annuel du volume d'eau prélevé est moindre par rapport à celui initialement prévu en raison notamment de la prolongation de la durée des arrêts de tranche réalisés en 2020.

En effet, l'année 2020 a été marquée par la mise à l'arrêt en juin de la tranche 3 pour visite partielle. Initialement prévu fin mai, cet arrêt a été reporté de 3 semaines dans le cadre de la crise sanitaire. Pour ce qui concerne cette tranche, le redémarrage initialement prévu le 21 août 2020 a finalement eu lieu le 24 octobre en raison d'aléas techniques rencontrés durant l'arrêt. Pour ce qui concerne la tranche 2, le redémarrage initialement prévu fin mars 2020 a finalement eu lieu en janvier 2021 pour permettre au site de finaliser le nettoyage par ultrasons d'une partie des assemblages combustibles. Concernant la tranche 4, l'arrêt pour simple rechargement initialement prévu du 24 octobre au 26 novembre 2020 a été reporté en janvier 2021 dans le cadre de la crise sanitaire.

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.

Milieu	Limites de prélèvement		Prélèvement	Unité
	Prescriptions	Valeur	Valeur maximale	
Eau douce prélevée dans la Durdent	Débit instantané	610	357	m ³ /s
	Volume journalier	14 500	8494	m ³
	Volume annuel	1 500 000	599 000	m ³

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

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

Le tambour CFI (filtration de l'eau brute) de la tranche 2 a été remplacé en 2020 et le tambour de la tranche 4 a fait l'objet d'une opération de renforcement. Il n'y a pas eu d'autres opérations de maintenance significative ayant un impact sur les équipements et les ouvrages de prélèvements en 2020 au-delà des opérations classiques de maintenance sur ces matériels.

Durant l'année 2020, 1 bathymétrie du chenal d'amenée (5/06/2020) a été réalisée. Les résultats n'ont pas amené à la réalisation de dragage.

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 2020.

Partie III – Restitution et consommation d'eau

I. Restitution d'eau

La restitution d'eau du CNPE de Paluel pour l'année 2020 est présentée dans le tableau ci-dessous. 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 utilisé pour le maintien de l'étanchéité des pompes de circulation de l'eau de mer

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

		Restitution d'eau			Unités
		Eau de refroidissement	Rejets radioactifs	Rejets industriels	
Restitution mensuelle	Janvier	352	0,009414	0,011576	millions de m ³
	Février	330	0,011210	0,014819	
	Mars	331	0,021935	0,014546	
	Avril	359	0,021935	0,015343	
	Mai	413	0,020958	0,017305	
	Juin	369	0,014144	0,012930	
	Juillet	295	0,013165	0,014077	
	Août	293	0,012322	0,011452	
	Septembre	283	0,009945	0,012697	
	Octobre	327	0,020641	0,015767	
	Novembre	342	0,009164	0,024728	
	Décembre	400	0,028240	0,018164	
TOTAL par type de restitution	Restitution au milieu aquatique	4 094	0,193073	0,183404	millions de m ³
	Pourcentage de restitution d'eau au milieu aquatique par rapport au prélèvement	100	59,6		%
TOTAL	Restitution au milieu aquatique	Total prélevé : 4 094,632 Total restitué : 4 094,376			millions de m ³
	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, eau de la Durdent et eau potable) et la quantité d'eau restituée au milieu aquatique (eau de mer, eau rejetée en sortie de la station d'épuration des eaux usées et de la station de production d'eau déminéralisée, les vidanges des réservoirs SEK (Ex), KER(T) et TER(S) ainsi que de l'eau utilisée pour le maintien de l'étanchéité des pompes de circulation de l'eau de mer).

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel de consommation d'eau de l'année 2020.

	Consommation d'eau (en milliers de m3)
Janvier	7,850
Février	17,938
Mars	27,261
Avril	16,286
Mai	45,849
Juin	27,142
Juillet	26,258
Août	11,156
Septembre	13,376
Octobre	24,836
Novembre	5,688
Décembre	31,455
TOTAL	255,095

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 Iode,
 - o Autres produits de fission ou d'activation,
 - o Gaz rares,
- les rejets chimiques liquides classés en deux catégories :
 - o les rejets de substances chimiques associées aux effluents radioactifs liquides ou eaux non radioactives issues des salles des machines,
 - o 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 1 mSv/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 événements 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 décision¹ 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.

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

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

c. Cumul mensuel

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

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 métrologue 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. »

	⁴¹ Ar (GBq)	⁸⁵ Kr (GBq)	^{85m} Kr (GBq)	^{131m} Xe (GBq)	¹³³ Xe (GBq)	¹³⁵ Xe (GBq)	^{133m} Xe (GBq)	⁸⁸ Xe (GBq)	¹³¹ I (GBq)	¹³³ I (GBq)	⁵⁸ Co (GBq)	⁶⁰ Co (GBq)	¹³⁴ Cs (GBq)	¹³⁷ Cs (GBq)
Janvier	3,386 E+00	0,000 E+00	0,000 E+00	0,000 E+00	3,339 E+01	1,069 E+01	0,000 E+00	0,000 E+00	4,347 E- 04	1,756 E- 03	8,619 E- 05	1,225 E- 04	9,843 E- 05	9,634 E- 05
Février	2,327 E+00	3,877 E-3	0,000 E+00	4,846 E- 04	4,443 E+01	1,139 E+01	0,000 E+00	0,000 E+00	2,313 E- 03	1,833 E- 03	8,575 E- 05	1,207 E- 04	8,997 E- 05	9,162 E- 04
Mars	2,653 E+00	1,579 E+00	0,000 E+00	3,152 E- 03	4,395 E+01	1,221 E+01	4,410 E- 05	0,000 E+00	1,064 E- 03	1,741 E- 03	8,444 E- 05	1,147 E- 04	9,165 E- 05	9,449 E- 05
Avril	2,433 E+00	1,713 E+01	0,000 E+00	2,130 E- 02	3,844 E+01	1,254 E+01	4,922 E- 03	0,000 E+00	4,988 E- 04	1,706 E- 03	1,228 E- 03	1,359 E- 04	1,017 E- 04	9,933 E- 05
Mai	3,110 E+00	1,609 E+00	8,642 E- 01	1,610 E- 02	9,518 E+01	2,311 E+01	1,668 E+00	1,463 E+00	3,102 E- 04	1,623 E- 03	9,449 E- 05	1,227 E- 04	9,009 E- 05	9,228 E- 05
Juin	2,721 E+00	1,095 E+01	4,788 E- 03	1,896 E- 01	2,519 E+02	2,062 E+01	6,200 E- 02	1,700 E- 03	2,207 E- 03	2,104 E- 03	9,247 E- 05	1,406 E- 04	9,593 E- 05	9,561 E- 05
Juillet	2,829 E+00	0,000 E+00	0,000 E+00	0,000 E+00	2,834 E+01	9,793 E+00	0,000 E+00	0,000 E+00	6,377 E- 04	1,943 E- 03	1,110 E- 04	1,3845 E- 04	1,036 E- 04	9,462 E- 05
Août	9,421 E-1	0,000 E+00	0,000 E+00	0,000 E+00	2,613 E+01	9,347 E+00	0,000 E+00	0,000 E+00	2,902 E- 04	1,692 E- 03	8,422 E- 05	1,151 E- 04	8,313 E- 05	7,652 E- 05
Septembr e	1,817 E+00	2,105 E+01	0,000 E+00	1,633 E- 02	2,969 E+01	1,105 E+01	0,000 E+00	0,000 E+00	3,212 E- 04	1,586 E- 03	8,256 E- 05	1,208 E- 04	9,025 E- 05	9,200 E- 05
Octobre	2,150 E+00	6,738 E-1	0,000 E+00	2,839 E- 04	2,937 E+01	1,098 E+01	0,000 E+00	0,000 E+00	3,696 E- 04	1,915 E- 03	2,487 E- 04	9,570 E- 05	7,762 E- 05	7,638 E- 05
Novembre	2,819 E+00	1,015 E+01	0,000 E+00	3,889 E- 03	1,098 E+01	2,937 E+01	0,000 E+00	0,000 E+00	3,077 E- 04	1,989 E- 03	8,565 E- 05	1,164 E- 04	8,698 E- 05	8,292 E- 05
Décembre	2,850 E+02	1,413 E+00	0,000 E+00	6,728 E- 04	3,634 E+01	2,462 E+01	0,000 E+00	0,000 E+00	1,116 E- 03	1,717 E- 03	7,703 E- 05	9,872 E- 05	7,269 E- 05	7,984 E- 05
TOTAL ANNUEL	3,01 E+02	6,45 E+01	8,69 E-01	2,32 E-01	6,85 E+02	1,67E+02	1,74 E+00	1,47 E+00	9,87 E-03	2,16 E-02	2,36 E-03	1,44 E-03	1,08 E-03	1,07 E-03

	Volumes rejetés (m ³)	Activités gaz rares (GBq)	Activité Tritium (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Iodes (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)
Janvier	8,38 E+08	4,747 E+01	1,185 E+02	8,940 E+01	2,191 E-03	4,035 E-04
Février	7,35 E+08	5,815 E+01	1,281 E+02		4,146 E-03	3,880 E-04
Mars	8,03 E+08	6,040 E+01	1,352 E+02		2,805 E-03	3,853 E-04
Avril	8,18 E+08	7,057 E+01	1,135 E+02	2,253 E+02	2,205 E-03	1,565 E-03
Mai	8,10 E+08	1,270 E+02	1,176 E+02		1,933 E-03	3,996 E-04
Juin	7,98 E+08	2,864 E+02	1,277 E+02		4,311 E-03	4,246 E-04
Juillet	8,54 E+08	4,096 E+01	1,722 E+02	1,062 E+02	2,581 E-03	4,437 E-04
Août	8,33 E+08	3,642 E+01	1,448 E+02		1,982 E-03	3,590 E-04
Septembre	8,05 E+08	6,362 E+01	1,533 E+02		1,907 E-03	3,856 E-04
Octobre	8,33 E+08	4,117 E+01	1,286 E+02	2,312 E+02	2,285 E-03	4,984 E-04
Novembre	8,15 E+08	5,332 E+01	1,331 E+02		2,297 E-03	3,719 E-04
Décembre	8,28 E+08	6,526 E+01	1,038 E+02		2,833 E-03	3,283 E-04
TOTAL ANNUEL	9,77E+09	9,51E+02	1,58E+03	6,52E+02	3,15E-02	5,95E-03

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 ne présentent pas d'activité volumique bêta globale d'origine artificielle supérieure à 1E-3 Bq/m³.

d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2020 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2020.

Année	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)				
	Gaz rares	Tritium	Carbone 14	Iodes	Autres produits de fission et d'activation
N-2	6,18 E+02	1,950 E+03	5,75 E+02	5,64 E-02	6,81 E-03
N-1	7,94 E+02	1,910 E+03	8,06 E+02	4,01 E-02	6,73 E-03
N	9,51 E+02	1,58 E+03	6,52 E+02	3,15 E-02	5,95 E-03
Prévisionnel N	8,00 E+02	2,20 E+03	9,00 E+02	5,00 E-02	9,00 E-03

Commentaires : Les rejets radioactifs à l'atmosphère sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2020.

Cependant, un défaut de gainage combustible apparu sur le réacteur n°3 a occasionné sur les mois de mai et juin une évolution à la hausse de l'activité en gaz rares rejetée. Cette augmentation survenue dans le cadre de l'arrêt de la tranche 3 a occasionné en octobre un dépassement du prévisionnel annuel en gaz rares rejetés établi pour l'année 2020 à 800 GBq. Le retour à la normale des rejets en gaz rares de la tranche 3 a pu être concrétisé dès fin juin 2020. Le cumul annuel de l'activité rejetée en gaz rares a atteint au 31 décembre 2020 la valeur de 951 GBq pour un prévisionnel initial de 800 GBq.

e. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2020 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2019-DC-0676.

Paramètres	Localisation prélèvement	Limites annuelles de rejet		Rejet
		Prescriptions	Valeur	Valeur maximale
Gaz rares	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	4,800 E+04	9,51 E+02
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	4,50 E+06 ⁽²⁾	2,06 E+05
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	4,50 E+06 ⁽²⁾	2,38 E+05
	Cheminée n° 3	Débit instantané (Bq/s)	4,50 E+06 ⁽²⁾	3,69 E+06
	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	6,52 E+02
Tritium	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	8,00 E+03	1,58 E+03
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	5,00 E+05 ⁽¹⁾	2,50E+04
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	5,00 E+05 ⁽¹⁾	9,83 E+03
	Cheminée n° 3	Débit instantané (Bq/s)	5,00 E+05 ⁽¹⁾	2,36 E+04
	Cheminée n° 4	Débit instantané (Bq/s)	5,00 E+05 ⁽¹⁾	2,80 E+04
Iodes	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	1,20 E+00	3,15 E-02
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	5,00 E+01 ⁽³⁾	3,93 E-01
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	5,00 E+01 ⁽³⁾	5,95 E-01
	Cheminée n° 3	Débit instantané (Bq/s)	5,00 E+01 ⁽³⁾	1,91 E+00
	Cheminée n° 4	Débit instantané (Bq/s)	5,00 E+01 ⁽³⁾	1,72 E+00
Autres produits de fission et produits d'activation	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	2,00 E-01	5,95 E-03
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	5,00 E+01 ⁽³⁾	7,56E-02
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	5,00 E+01 ⁽³⁾	1,94 E+00
	Cheminée n° 3	Débit instantané (Bq/s)	5,00 E+01 ⁽³⁾	3,02 E-01
	Cheminée n° 4	Débit instantané (Bq/s)	5,00 E+01 ⁽³⁾	5,31 E-02

⁽¹⁾ Ce débit d'activité peut être dépassé sans toutefois que le débit d'activité pour l'ensemble du site de Paluel ne dépasse $2,10^6$ Bq/s.

⁽²⁾ Ce débit d'activité peut être dépassé sans toutefois que le débit d'activité pour l'ensemble du site de Paluel ne dépasse $1,8,10^7$ Bq/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 $2,10^2$ Bq/s.

Commentaires : 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 2020.

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

Les rejets radioactifs diffus ont notamment pour origine :

- les événements de réservoirs d'entreposage des effluents radioactifs (T, S),
- 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.

	Volume (m ³)	Rejets de vapeur du circuit secondaire		Rejets au niveau des événements des réservoirs des effluents liquides	
		Tritium (Bq)	Iodes (Bq)	Tritium (Bq)	Iodes (Bq)
Janvier	9,42 E+03	0,000 E+00	0,000 E+00	6,519 E+07	0,000 E+00
Février	1,12 E+04	0,000 E+00	0,000 E+00	8,910 E+07	0,000 E+00
Mars	2,69 E+04	2,950 E+09	0,000 E+00	1,440 E+08	0,000 E+00
Avril	3,19 E+04	6,750 E+08	0,000 E+00	1,249 E+08	0,000 E+00
Mai	2,59 E+04	3,500 E+08	0,000 E+00	6,085 E+07	0,000 E+00
Juin	1,91 E+04	2,150 E+09	0,000 E+00	4,457 E+07	0,000 E+00
Juillet	1,82 E+04	1,600 E+09	0,000 E+00	4,535 E+07	3,146 E+00
Août	1,23 E+04	0,000 E+00	0,000 E+00	6,927 E+07	0,000 E+00
Septembre	9,94 E+03	0,000 E+00	0,000 E+00	1,939 E+07	0,000 E+00
Octobre	3,06 E+04	7,000 E+08	0,000 E+00	5,971 E+07	0,000 E+00
Novembre	9,16 E+03	0,000 E+00	0,000 E+00	3,680 E+07	0,000 E+00
Décembre	4,32 E+04	3,810 E+09	0,000 E+00	9,463 E+07	0,000 E+00
TOTAL ANNUEL	2,48E+05	1,22E+10	0,00E+00	8,54E+08	3,15E+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, NO_x) 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 équipé de groupes frigorifiques pour assurer la production d'eau glacée et pour la réfrigération des locaux techniques et administratifs. Ces matériels utilisent des produits dits à « effet de serre ». Le fonctionnement des matériels et les opérations de maintenance peuvent conduire à des émissions de fluides frigorigène. Ces émissions sont réglementairement déclarées et comptabilisées et des actions sont prises pour les réduire autant que possible.
- 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 circuits 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 (SO_x) et d'azote (NO_x) rejetée dans l'atmosphère lors du fonctionnement périodique des groupes électrogènes de secours (moteurs Diesels) ayant fonctionné pendant 329 heures, des turbines à combustion (TAC) ayant fonctionné pendant 42 heures et diesels d'ultime secours (DUS) ayant fonctionné pendant 323 heures, au total sur les 4 tranches pour 2020 est de :

Paramètre	Unité	Groupes électrogènes	TAC DUS	TOTAL
SO _x	kg	3	4	7
NO _x	kg	66800	92943	159 743

b. Rejets de formaldéhyde et de monoxyde de carbone

En 2020, 168 m³ de calorifuges dans les enceintes des bâtiments réacteurs 2 et 3 ont été renouvelés.

Ce volume donne une estimation des concentrations maximales ajoutées dans l'atmosphère.

Concentration calculée	Unité	Paramètres	EBA	ETY
Concentration maximale ajoutée dans l'atmosphère	mg/m ³	Formaldéhyde	5,7 E-03	1,88 E-04
		Monoxyde de carbone	5,32 E-03	1,75 E-04

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	923,5
Morpholine / Ethanolamine		0

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	Unité	TOTAL
Chloro-fluoro-carbone (CFC)	Kg	0
Hydrogène-chloro-fluor-carbone (HCFC)		0
Hydrogène-fluoro-carbone (HFC)		394,4
Hexafluorure de soufre (SF6)		145,9

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

L'année 2020 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 2020.

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 (xénon, iode, césium, ...) et des produits d'activation (cobalt, 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 (résiduaire, chimique, 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 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 Iodes,
- 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.

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

c. Cumul mensuel

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

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 métrologue 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. »

	¹³¹ I (GBq)	⁵⁴ Mn (GBq)	⁵⁸ Co (GBq)	⁶⁰ Co (GBq)	^{110m} Ag (GBq)	^{123m} Te (GBq)	¹²⁴ Sb (GBq)	¹²⁵ Sb (GBq)	¹³⁴ Cs (GBq)	¹³⁷ Cs (GBq)	⁵¹ Cr (GBq)
Janvier	6,753 E-04	1,066 E-03	1,328 E-02	3,918 E-02	1,264 E-03	7,935 E-04	7,093 E-04	1,976 E-03	7,179 E-04	8,451 E-04	0,000 E+00
Février	5,518 E-04	9,710 E-04	6,386 E-03	3,388 E-02	6,388 E-04	6,157 E-04	5,912 E-04	1,655 E-03	6,070 E-04	7,332 E-04	0,000 E+00
Mars	1,151 E-03	5,444 E-03	2,650 E-02	1,659 E-01	2,898 E-03	2,320 E-03	1,260 E-03	3,367 E-03	1,255 E-03	1,458 E-03	0,000 E+00
Avril	9,000 E-04	4,338 E-03	1,359 E-02	9,116 E-02	3,195 E-03	1,945 E-03	9,781 E-04	2,746 E-03	9,937 E-04	1,155 E-03	0,000 E+00
Mai	6,590 E-04	1,698 E-03	1,099 E-02	4,873 E-02	1,041 E-03	6,437 E-04	6,992 E-04	2,005 E-03	7,085 E-04	1,429 E-03	0,000 E+00
Juin	5,368 E-04	6,396 E-04	7,428 E-03	1,992 E-02	5,840 E-04	6,583 E-04	5,764 E-04	1,520 E-03	5,843 E-04	7,013 E-04	0,000 E+00
Juillet	6,818 E-04	7,430 E-04	1,001 E-02	3,849 E-02	9,812 E-04	4,980 E-04	6,281 E-04	1,724 E-03	1,081 E-03	1,403 E-03	5,299 E-03
Août	6,062 E-04	1,552 E-03	1,372 E-02	4,562 E-02	6,917 E-04	4,268 E-04	6,753 E-04	1,810 E-03	6,678 E-04	1,596 E-03	0,000 E+00
Septembre	2,896 E-04	4,921 E-04	4,715 E-03	2,249 E-02	3,405 E-04	2,028 E-04	3,187 E-04	9,054 E-04	3,332 E-04	3,767 E-04	0,000 E+00
Octobre	7,465 E-04	1,701 E-03	1,392 E-02	3,146 E-02	8,938 E-04	8,998 E-04	7,869 E-04	2,235 E-03	7,688 E-04	9,532 E-04	0,000 E+00
Novembre	7,019 E-04	1,202 E-03	2,228 E-02	2,817 E-02	7,202 E-04	4,527 E-04	1,075 E-03	2,101 E-03	7,684 E-04	1,058 E-03	0,000 E+00
Décembre	1,209 E-03	2,819 E-03	8,722 E-02	4,735 E-02	1,810 E-03	8,733 E-04	3,644 E-03	3,518 E-03	7,321 E-03	8,585 E-03	9,490 E-03
TOTAL ANNUUEL	8,71 E-03	2,26 E-02	2,30 E-01	6,12 E-01	1,50 E-02	1,03 E-02	1,19 E-02	2,56 E-02	1,58 E-02	2,03 E-02	1,48 E-02

	Volumes rejetés (m ³)	Activité Tritium (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Iodes (GBq)	PF et PA 63Ni inclus (GBq)
Janvier	9,42E+03	5,867 E+03	3,435 E+00	6,753 E-04	1,240 E-01
Février	1,12 E+04	7,718 E+03	3,931 E+00	5,518 E-04	8,392 E-02
Mars	2,19 E+04	1,243 E+04	5,949 E+00	1,151 E-03	2,435 E-01
Avril	2,19 E+04	1,066 E+04	7,537 E+00	9,000 E-04	1,381 E-01
Mai	2,09 E+04	5,412 E+03	3,092 E+00	6,590 E-04	9,000 E-2
Juin	1,41 E+04	3,822 E+03	1,625 E+00	5,368 E-04	5,440 E-2
Juillet	1,32 E+04	3,864 E+03	1,919 E+00	6,818 E-04	7,249 E-2
Août	1,23 E+04	5,919 E+03	9,748 E-01	6,062 E-04	9,431 E-2
Septembre	9,94 E+03	1,600 E+03	8,392 E-01	2,896 E-04	4,147 E-02
Octobre	2,06 E+04	5,223 E+03	2,056 E+00	7,465 E-04	7,544 E-02
Novembre	9,16 E+03	3,324 E+03	7,764 E-01	7,019 E-04	8,476 E-02
Décembre	2,82 E+04	8,501 E+03	4,292 E+00	1,209 E-03	2,056 E-01
TOTAL ANNUEL	1,93 E+05	7,43 E+04	3,64 E+01	8,71 E-03	1,31 E+00

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

Commentaires : Les réservoirs Ex1 (0SEK101BA) en date du 12 décembre 2020 et Ex4 (0SEK104BA) en date du 05 décembre 2020 ont respectivement révélé une activité en tritium de 4,20E+02 Bq/l et de 4,05E+02 Bq/l.

Le réservoir Ex1 a été rempli sur la période du 30 novembre 2020 à 23h13 au 02 décembre 2020 à 08h00, Le réservoir Ex4 a quant à lui été rempli dans la continuité du 02 décembre à 09h00 au 03 décembre à 12h30.

Durant cette période, l'apport d'effluents Ex provenait principalement de la tranche n°3 dont l'activité en tritium présente dans la partie secondaire de l'installation était voisine de 1,10 E+03 Bq/l.

Les appoints rejets réalisés sur la tranche 3 ont permis entre fin novembre et début 2020 de rapidement diminuer l'activité en tritium tant dans le poste d'eau de la tranche que dans les réservoirs Ex (SEK) dans lesquels l'activité tritium est rapidement passée en dessous de 200 Bq/l puis de 100 Bq/l.

Il est à noter qu'aucun défaut particulier n'a été recensé sur l'installation de la tranche 3 sur laquelle peu d'appoints rejets avaient été réalisés durant novembre, d'où le phénomène de concentration en tritium observé.

d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejet de l'année 2020 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2020.

	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)			
	Tritium	Carbone 14	Iodes	PF et PA 63Ni inclus
N-2	9,50 E+04	4,43 E+01	9,53 E-03	2,07 E+00
N-1	8,63 E+04	3,11 E+01	8,96 E-03	2,27 E+00
N	7,43 E+04	3,64 E+01	8,71 E-03	1,31 E+00
Prévisionnel N	1,30 E+05	5,00 E+01	1,00 E-02	1,40 E+00

Commentaires : Les rejets radioactifs liquides sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2020.

La diminution de l'activité rejetée en PF/PA, 63Ni inclus, observée en 2020 est consécutive à la fin de vidange du réservoir (T3) 0KER003BA. Ce réservoir vidangé sur 4 années, de 2016 à 2019 à hauteur d'une fraction de 50 m³ / trimestre avait la particularité de contenir une présence inhabituelle de Nickel 63 et de Cobalt 60 qui avait influencé à la hausse le bilan rejet des 4 années concernées par la période de rejet.

e. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2020 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2019-DC-676.

Paramètres	Limites annuelles de rejet		Rejet
	Prescriptions	Valeur	Valeur maximale (GBq)
Tritium	Activité annuelle rejetée (GBq)	1,60 E+05	7,43 E+01
	Débit instantané (Bq/s)	800 x D	1,63 E+07
Carbone 14	Activité annuelle rejetée (GBq)	3,80 E+02	3,64 E+01
Iodes	Activité annuelle rejetée (GBq)	2,0 E-01	8,71 E-03
	Débit instantané (Bq/s)	1 x D	2,28 E+00
Autres PA et PF	Activité annuelle rejetée (GBq)	2,0 E+01	1,31 E+00
	Débit instantané (Bq/s)	7 x D	6,78 E+02

Commentaires : 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.

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,

f. Surveillance des eaux réceptrices

Des prélèvements d'eau de mer sont réalisés lors de chaque rejet d'effluents liquides radioactifs (à mi-rejet) directement dans les ouvrages de rejets, avant rejet en mer. Des prélèvements journaliers sont également réalisés en dehors des 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 2020 sont donnés dans le tableau suivant (valeurs moyennes et maximales).

	Paramètre analysé	Activité volumique horaire à mi-rejet			Activité volumique : moyenne journalière		
		Valeur moyenne mesurée en 2020	Valeur maximale mesurée en 2020	Limite réglementaire	Valeur moyenne mesurée en 2020	Valeur maximale mesurée en 2020	Limite réglementaire
Eau Filtrée	Activité bêta globale	1,20 E+01 Bq/L	1,28 E+01 Bq/L	1,8 E+01 Bq/L	-	-	-
	Tritium	2,74 E+02 Bq/L	3,84 E+02 Bq/L	1,00 E+03 Bq/L	6,69 E+01 Bq/L	3,67 E+02 Bq/L	9,00 E+02 ⁽¹⁾ / 1,00 E+02 ⁽²⁾ Bq/L
	Potassium	1,14 E+01 mg/L	1,20 E+01 mg/L	-	-	-	-
Matières en suspension	Activité bêta globale	<1,04 E-01 Bq/l	4,73 E-01 Bq/l	-	-	-	-

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

Commentaires : Les mesures de surveillance dans les eaux réceptrices pour l'année 2020 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 vanes (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 vanes 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 (H_3BO_3) : le bore contenu dans cet acide est « avide » des neutrons produits lors de la réaction nucléaire. C'est une substance neutrophage, qui permet 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 (N_2H_4) : 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 (C_4H_9NO), l'éthanolamine (C_2H_7NO) et l'ammoniaque (NH_4OH) 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 (C_2H_7NO), 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 (Na_3PO_4) : 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 pas à ce jour basculé sur le conditionnement à la morpholine ou éthanolamine. Actuellement le CNPE est conditionné à l'ammoniaque.

b. Règles spécifiques de comptabilisation

En application de l'article 3.2.7. -I, 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 « 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)	MES (Ex, T et S) (kg)	Hydrazine (kg)	Détergents (kg)	Azote total (kg)	Phosphates (kg)	Métaux Totaux (kg) *	DCO (kg)	Sulfates ⁽¹⁾ (kg)	MES ⁽¹⁾ (kg)	Fer ⁽¹⁾ (kg)
Janvier	3,740 E+02	2,002 E+02	2,370 E-02	3,380 E+00	2,882 E+02	1,209 E+02	1,800 E+00	4,000 E+01	5,693 E+03	5,400 E+03	6,580 E+01
Février	1,050 E+02	2,605 E+02	2,801 E-02	3,150 E+00	2,532 E+02	1,251 E+02	1,500 E+00	8,400 E+01	1,136 E+04	9,029 E+03	2,798 E+02
Mars	9,041 E+02	5,411 E+02	5,480 E-02	5,020 E+00	3,874 E+02	1,191 E+02	2,500 E+00	9,300 E+01	1,231 E+04	1,330 E+04	3,271 E+02
Avril	1,275 E+03	2,194 E+01	7,880 E-02	4,620 E+00	3,033 E+02	5,382 E+01	1,900 E+00	6,600 E+01	1,588 E+04	1,008 E+04	1,995 E+02
Mai	4,860 E+02	2,096 E+01	6,115 E-02	3,240 E+00	2,914 E+02	1,086 E+02	2,200 E+00	7,800 E+01	1,707 E+04	1,471 E+04	3,570 E+02
Juin	8,690 E+02	1,417 E+01	3,560 E-02	3,120 E+00	2,849 E+02	1,291 E+02	2,000 E+00	5,600 E+01	1,246 E+04	1,910 E+04	3,670 E+02
Juillet	2,735 E+02	2,409 E+02	3,520 E-02	3,070 E+00	2,730 E+02	1,042 E+02	2,700 E+00	1,200 E+03	1,332 E+04	7,603 E+03	2,336 E+02
Août	1,380 E+02	2,231 E+02	3,090 E-02	3,090 E+00	2,457 E+02	6,648 E+01	4,500 E+00	2,500 E+02	4,946 E+03	1,251 E+03	4,000 E+01
Septembre	1,280 E+02	1,964 E+02	2,840 E-02	1,450 E+00	2,296 E+02	4,631 E+01	1,900 E+00	1,300 E+02	4,940 E+03	5,760 E+03	1,127 E+02
Octobre	6,630 E+02	1,300 E+02	7,660 E-02	3,770 E+00	2,990 E+02	1,240 E+02	6,780 E+00	1,680 E+02	7,514 E+03	1,488 E+04	3,187 E+02
Novembre	3,521 E+02	6,664 E+01	4,560 E-02	3,285 E+00	2,656 E+02	3,643 E+01	1,620 E+00	9,520 E+01	4,294 E+03	7,646 E+03	1,713 E+02
Décembre	1,432 E+03	1,804 E+02	6,331 E-01	2,082 E+00	3,254 E+02	2,672 E+02	6,390 E+00	1,530 E+02	1,645 E+04	1,847 E+04	2,968 E+02
TOTAL ANNUEL	7,00 E+03	2,10 E+03	1,13 E+00	3,93 E+01	3,45 E+03	1,30 E+03	3,58 E+01	2,41E+03	1,26 E+05	1,27 E+05	2,77 E+03

*Flux mensuel limite en métaux totaux : 3,8 E1 kg ; ⁽¹⁾ Station de déminéralisation,

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)	Manganèse (kg)	Aluminium (kg)	Fer (kg)
Janvier	2,35 E-02	2,32 E-01	2,35 E-02	2,70 E-02	7,17 E-01	2,35 E-02	2,03 E-01	5,47 E-01
Février	2,80 E-02	2,63 E-01	3,65 E-02	2,16 E-02	3,84 E-01	4,35 E-02	2,41 E-01	5,09 E-01
Mars	5,48 E-02	3,65 E-01	1,02 E-01	1,12 E-01	4,91 E-01	5,48 E-02	3,89 E-01	9,50 E-01
Avril	5,48 E-02	4,27 E-01	5,48 E-02	2,19 E-02	3,88 E-01	5,48 E-02	2,19 E-01	5,85 E-01
Mai	5,24 E-02	4,69 E-01	5,24 E-02	2,42 E-02	3,23 E-01	5,24 E-02	4,79 E-01	7,56 E-01
Juin	3,54 E-02	2,95 E-01	3,54 E-02	3,71 E-02	3,71 E-01	8,21 E-02	2,74 E-01	9,08 E-01
Juillet	3,29 E-02	3,25 E-01	3,29 E-02	3,26 E-01	3,61 E-01	8,80 E-02	4,74 E-01	1,09 E+00
Août	3,08 E-02	3,88 E-01	3,08 E-02	2,01 E-01	4,84 E-01	1,57 E-01	1,03 E+00	2,08 E+00
Septembre	2,49 E-02	2,55 E-01	2,49 E-02	9,95 E-03	2,97 E-01	8,84 E-02	5,15 E-01	7,37 E-01
Octobre	5,16 E-02	4,02 E+00	5,16 E-02	2,89 E-02	5,39 E-01	1,44 E-01	8,09 E-01	1,14 E+00
Novembre	2,29 E-02	2,73 E-01	2,29 E-02	9,16 E-03	3,60 E-01	5,71 E-02	2,03 E-01	6,68 E-01
Décembre	7,06 E-02	1,08 E+00	7,06 E-02	2,82 E-02	7,21 E-01	3,02 E-01	1,03 E+00	3,09 E+00
TOTAL ANNUEL	4,83 E-01	8,39 E+00	5,39 E-01	8,48 E-01	5,44 E+00	1,15 E+00	5,87 E+00	1,31 E+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 2020 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2020.

Substances	Unité	N-2	N-1	N	Prévisionnel N
Acide borique	kg	1,30 E+04	8,54 E+03	7,00 E+03	1,00 E+04
Hydrazine	kg	1,14 E+00	6,87 E-01	1,13 E+00	8,00 E-01
Détergents	kg	6,31 E+01	7,50 E+01	3,93 E+01	8,00 E+01
Azote total	kg	/	8,62 E+02	3,45 E+03	4,20 E+03
Phosphates	kg	1,85 E+03	1,91 E+03	1,30 E+03	2,10 E+03
Fer (Station de déminéralisation)	kg	2,80 E+03	3,00 E+03	2,77 E+03	3,50 E+03
Métaux totaux	kg	7,4 E+01	4,8 E+01	3,58 E+01	6,00 E+01
Sulfates (Déminé)	kg	1,50 E+05	1,10 E+05	1,26 E+05	1,40 E+05
MES (station de déminéralisation)	kg	1,40 E+05	1,30 E+05	1,27 E+05	-
MES (T, S et Ex)	kg	1,33 E+03	2,53 E+03	2,10 E+03	-
DCO	kg	4,91 E+03	4,11 E+03	2,41 E+03	-

Commentaires : RAS

iii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2020 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2019-DC-676.

Substances	Limite Concentration maximale ajoutée dans l'ouvrage de rejet (mg/L)	Rejet Valeur maximale calculée dans l'ouvrage de rejet (mg/L)	Limite Flux 24h (kg)	Rejet Valeur maximal calculée Flux 24h (kg)	Limite Flux 2h (kg)	Rejet Valeur maximale calculée Flux 2h (kg)	Limite Flux annuel ajouté (kg)	Rejet Flux annuel calculé (kg)
Acide borique	3,10 E+00	1,40 E-01	2,50 E+03	3,67 E+02	5,00 E+02	4,40 E+01	2,000 E+04	7,000 E+03
Hydrazine	6,0 E-03	9,10 E-04	1,5 E+00	3,98 E-02	/	/	1,80 E+02	1,13 E+00
Détergents	9,9 E-01	2,7 E-04	2,0 E+02	8,2 E-01	1,60 E+02	8,3 E-02	3,150 E+03	3,93 E+01
Azote total	4,0 E-01	1,2 E-01	1,00 E+02	6,50 E+01	/	/	1,726 E+03	3,45 E+03
Phosphates	7,40 E-01	1,69 E-01	2,00 E+02	8,47 E+01	1,20 E+02	5,24 E+01	/	1,30 E+03
DCO	7,40 E-1	1,70 E-01	1,50 E+02	1,50 E+02	/	/	3,200 E+03	2,413 E+03
Métaux totaux	1,00 E-2	5,46 E-04	/	/	/	/	/	3,579 E+01
MES (T, S et Ex)	8,65 E+00	4,90 E+00	1,20 E+02	4,50 E+01	/	/	2,863 E+04	2,096 E+03
MES (station de déminéralisation)			5,20 E+03	2,90 E+03	/	/	4,897 E+05	1,272 E+05
Sulfates (Déminé)	9,64 E+00	3,71 E+00	2,40 E+03	3,70 E+03	/	/	2,500 E+05	1,262 E+05
Fer (Station de déminéralisation)	1,90 E-01	6,5 E-02	3,00 E+02	6,0 E+01	/	/	8,400 E+03	2,769 E+03

L'article 5.3.1 de la décision ASN n°2017-DC-0588 demande une évaluation de la quantité annuelle de lithine rejetée. En 2020, la quantité de lithine rejetée par le CNPE de Paluel est évaluée à 0,833 Kg.

La quantité mensuelle maximale rejetée en métaux totaux s'élève pour l'année 2020 à 6,78 Kg avec une limite mensuelle de 38 Kg.

Il est à noter que 48 réservoirs SEK (Ex) et 1 réservoirs KER (T) ont fait l'objet en 2020 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 3,98 kg d'hydrazine. Une injection de 3,60 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 2,17 kg pour les sulfates et à 1,43 kg pour le cuivre.

Commentaires : 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 - eaux de refroidissement rejetées via les puits de rejet des tranches 1 à 4

Ce paragraphe présente les rejets de substances chimiques liées au traitement biocide du CNPE de Paluel pour l'année 2020.

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	0,00 E+00	0,00 E+00
Février	0,00 E+00	0,00 E+00
Mars	0,00 E+00	0,00 E+00
Avril	0,00 E+00	0,00 E+00
Mai	5,60 E+01	1,00 E+01
Juin	2,16 E+03	2,18 E+02
Juillet	2,71 E+03	4,08 E+02
Août	3,27 E+03	8,95 E+02
Septembre	4,45 E+03	1,47 E+03
Octobre	5,77 E+03	2,02 E+03
Novembre	3,85 E+03	1,64 E+03
Décembre	1,68 E+03	5,23 E+02
TOTAL ANNUEL	2,39 E+04	7,17 E+03

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 2020 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2020.

Paramètres	Unité	N-2	N-1	N	Prévisionnel N
AOX	kg	3,05 E+04	1,57 E+04	2,39 E+04	3,20 E+04
Bromoformes	kg	1,68 E+04	3,90 E+03	7,17 E+03	3,00 E+04

Commentaires : Les rejets sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2020. Cependant, les quantités rejetées ont été plus basses que celles initialement prévues en raison de la faible disponibilité des unités d'électro-chloration sujettes en 2020 à de nombreux aléas techniques.

iii. Comparaison aux limites et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous présente un comparatif des valeurs de rejets relatifs au traitement biocide de l'année 2020 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2019-DC-0676.

	Limite	Rejet	Limite	Rejet
Paramètres	Concentration maximale ajoutée (mg/L)	Valeur maximale calculée (mg/L)	Flux 24h (kg)	Valeur maximal calculée
Oxydants résiduels	3,22 E+00	7,00 E-02	5,70 E+03	3,90 E+02
Bromoformes	4,00 E-01	1,90 E-02	7,15 E+02	9,40 E+01

Commentaires : RAS

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

i. Cumul mensuel

Le tableau ci-dessous présente les rejets mensuels pour chaque type de produits chimiques.

	Azote global (kg)	DBO5 (kg)	DCO (kg)	MES (kg)	Phosphore total (kg)
Janvier	1,02 E+02	4,08 E+00	6,13 E+01	1,97 E+01	3,32 E+00
Février	9,09 E+01	5,83 E+00	6,76 E+01	2,33 E+01	3,26 E+00
Mars	5,12 E+01	6,40 E+00	5,76 E+01	6,61 E+01	2,03 E+00
Avril	2,41 E+01	2,88 E+00	2,53 E+01	7,22 E+00	1,09 E+00
Mai	3,60 E+01	4,00 E+00	2,93 E+01	7,33 E+00	4,93 E+00
Juin	6,57 E+01	8,76 E+00	3,94 E+01	8,32 E+00	3,06 E+00
Juillet	8,11 E+01	8,54 E+00	4,27 E+01	2,14 E+00	3,20 E+00
Août	4,73 E+01	4,99 E+00	5,78 E+01	6,56 E+00	3,41 E+00
Septembre	4,90 E+01	5,37 E+00	5,37 E+01	1,33 E+01	1,87 E+00
Octobre	7,02 E+01	4,78 E+00	6,46 E+01	3,09 E+01	2,81 E+00
Novembre	7,69 E+01	6,76 E+00	5,46 E+01	2,00 E+01	2,57 E+00
Décembre	1,12 E+02	4,95 E+00	6,12 E+01	2,45 E+01	3,82 E+00
TOTAL ANNUEL	8,06 E+02	6,73 E+01	6,15 E+02	2,29 E+02	3,54 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 2020 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2020.

Paramètres	Unité	N-2	N-1	N	Prévisionnel N
Azote global	kg	1,48 E+02 ⁽¹⁾	2,26 E+03	8,06 E+02	1,8 E+03
DBO5	kg	7,5 E+01	2,80 E+02	6,73 E+01	/
DCO	kg	1,3 E+03	2,88 E+03	6,15 E+02	/
MES	kg	6,7 E+02	1,70 E+03	2,29 E+02	/
Phosphore total	kg	5,82 E+01	1,31 E+02	3,54 E+01	9,0 E+01

(1) Valeur exprimée en Azote de Kjeldahl conformément à l'arrêté du 11 mai 2000.

Le suivi de la substance Azote de Kjeldahl a été interrompu en septembre 2019 au profit du suivi de l'Azote global lors de l'entrée en vigueur des nouvelles décisions ASN publiées le 9 juillet 2019 en remplacement de l'arrêté du 11 mai 2000.

Commentaires : Une optimisation des paramètres de fonctionnement de la station d'épuration du CNPE de Paluel a permis d'atteindre des bilans rejet inférieurs à ceux initialement prévus lors de l'établissement du prévisionnel 2020.

iii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2020 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	/	/	4,00 E+01	4,30 E+00	/	8,06 E+02
DBO5	1,00 E+02	4,00 E+00	9,40 E+00	4,10 E-01	/	6,73 E+01
DCO	3,00 E+02	2,90 E+01	2,83 E+01	3,60 E+00	/	6,15 E+02
MES	1,00 E+02	3,10 E+01	9,40 E+00	4,20 E+00	/	2,29 E+02
Phosphore total	/	/	1,26 E+00	2,10 E-01	/	3,54 E+01

Commentaires : RAS

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

L'année 2020 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 2020.

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 : ΔT °C) est lié à la puissance thermique (P_{th}) 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 les décisions ASN n°2019-DC-0676 et n°2019-DC-0677.

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 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 suivis pour l'année 2020 sont présentés dans les tableaux suivants :

	Température moyenne mesurée à la prise d'eau (entrée condenseur) (°C)	Echauffement Moyen mesuré dans les puits de rejet (°C)	Echauffement Maximum mesuré dans les puits de rejet (°C)	Température Moyenne mesurée dans les puits de rejet (°C)	Température Maximum mesuré dans les puits de rejet (°C)
Janvier	9,7	12,6	13,1	20,0	23,4
Février	9,2	12,5	14,2	18,9	23,1
Mars	9,3	12,7	13,7	18,3	23,5
Avril	11,2	13,0	14,3	18,3	27,0
Mai	14,1	13,1	14,9	19,9	29,9
Juin	17,3	12,9	14,4	24,0	32,7
Juillet	19,1	13,2	14,7	26,2	34,7
Août	20,9	12,8	14,0	28,1	35,0
Septembre	19,3	12,7	14,4	26,1	34,0
Octobre	15,5	12,2	14,2	22,5	30,1
Novembre	13,9	11,9	13,6	23,8	28,1
Décembre	10,9	11,8	12,5	16,9	23,9

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	35,0
Echauffement ²	°C	15	14,9

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.

² 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.

Commentaires : Les limites réglementaires associées aux rejets thermiques ont toujours été respectées. En 2020, l'échauffement n'a pas excédé le seuil de 15°C avec un maximum de 14,9°C enregistré durant le mois de mai.

3. En conditions climatiques exceptionnelles

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 2020 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 programmées ou inopinées 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 CNPE⁴.

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'environnement⁵.

⁴ <https://www.edf.fr/la-centrale-nucleaire-de-paluel/l-exploitation-de-la-centrale-nucleaire-de-paluel>

⁵ <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 radiométriques (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.

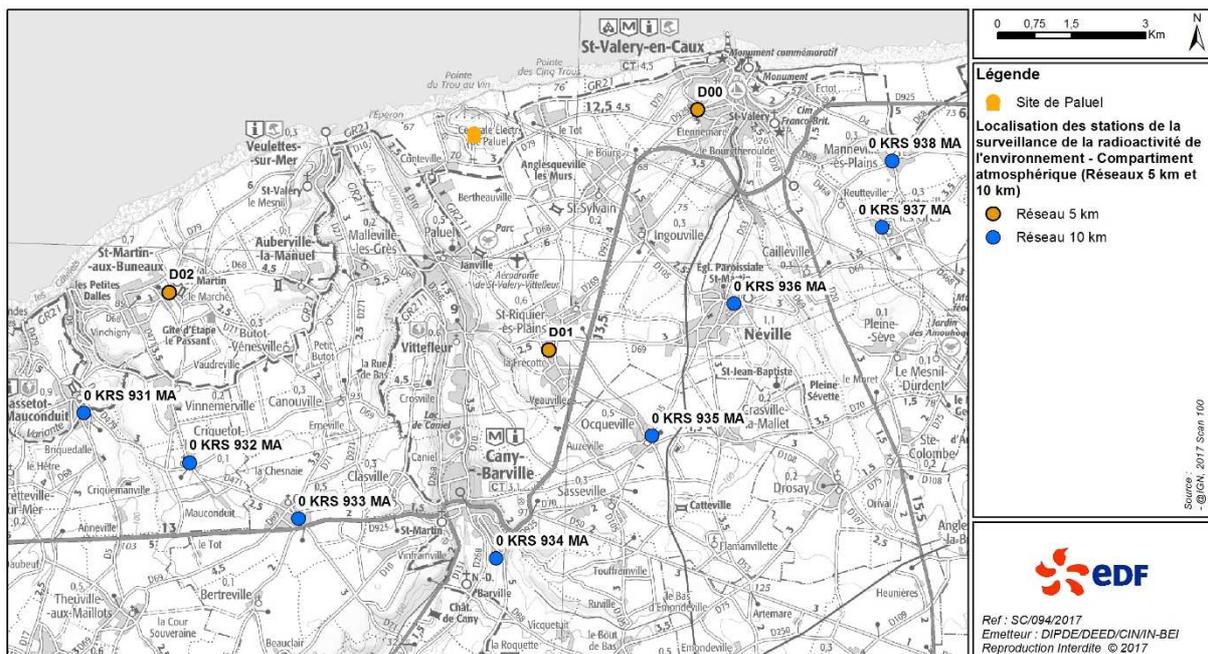
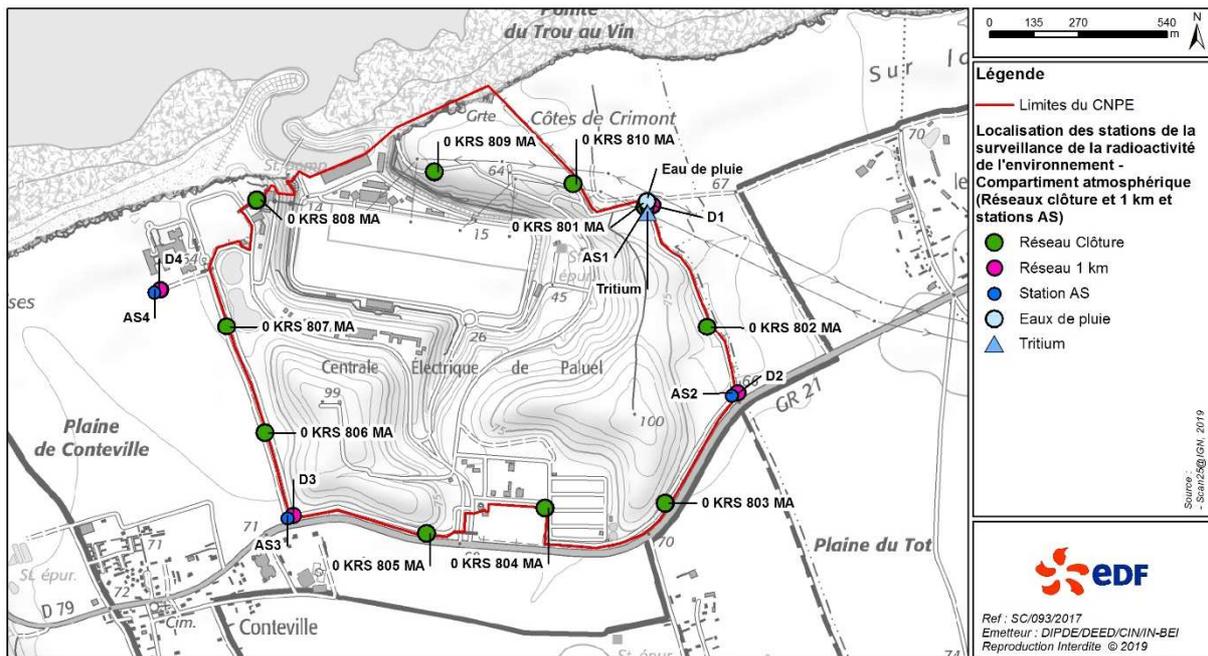


Figure 3 : Cartes de répartition des balises radiométriques du CNPE de Paluel

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 2020 sont présentés dans le tableau suivant. Les débits de dose maximaux et les données relatives à l'année antérieure sont également présentés à titre de comparaison.

Réseau de mesure	Débit de dose moyen année 2020 (nSv/h)	Débit de dose max année 2020 (nSv/h)	Débit de dose moyen année N-1 (nSv/h)	Débit de dose moyen année N-2 (nSv/h)
Clôture	8,49 E+01	4,79 E+02	8,22 E+01	6,82 E+01
1 km	8,61 E+01	1,25 E+03	8,18 E+01	6,69 E+01
5 km	8,98 E+01	1,62 E+02	8,92 E+01	7,52 E+01
10 km	9,81 E+01	1,64 E+02	9,70 E+01	8,19 E+01

Commentaires : Pour les quatre réseaux, les débits de dose moyens enregistrés pour l'année 2020 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 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 2020 sont donnés dans le tableau suivant.

Compartiment	Paramètres		Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée	Limite réglementaire (pour chaque analyse)
Poussières atmosphériques	Bêta globale		< 4,46 E-04 Bq/m ³	2,29 E-03 Bq/m ³	0,01 Bq/m ³
	Spectrométrie gamma	⁵⁸ Co	< 1,09 E-05 Bq/Nm ³	< 8,72 E-05 Bq/Nm ³	-
		⁶⁰ Co	< 7,32 E-06 Bq/Nm ³	< 6,22 E-05 Bq/Nm ³	-
		¹³⁴ Cs	< 7,10 E-06 Bq/Nm ³	< 5,95 E-05 Bq/Nm ³	-
		¹³⁷ Cs	< 6,00 E-06 Bq/Nm ³	< 4,98 E-05 Bq/Nm ³	-
		⁴⁰ K	< 1,03 E-04 Bq/Nm ³	< 9,06 E-04 Bq/Nm ³	-
Tritium atmosphérique			< 1,56 E-01 Bq/m ³	< 1,96 E-01 Bq/m ³	50 Bq/m ³
Eau de pluie	Bêta globale		< 9,64 E-02 Bq/L	3,32 E-01 Bq/L	-
	Tritium		< 4,97 E+00 Bq/L	7,52 E+00 Bq/L	-
	Potassium		2,86 E-01 mg/L	1,20 E+00 mg/L	-

Commentaires : Les mesures de surveillance du compartiment atmosphérique pour l'année 2020 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.

Les filtres de prélèvement continu des poussières atmosphériques collectés sur la journée du 27 novembre 2020 ont révélé une activité bêta globale supérieure à 2 mBq/Nm³. L'analyse spectrométrie gamma réalisée sur les 4 filtres n'a révélé aucune présence de radionucléides artificiels.

3. Surveillance du milieu terrestre

Les résultats des mesures réalisées sur le compartiment terrestre pour l'année 2020 sont donnés dans le tableau suivant.

Nature du prélèvement	Radionucléide	Périodicité	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée
Végétaux terrestres (Bq/kg sec)	Spectrométrie gamma sous influence	⁵⁸ Co	< 5,32 E-01	< 5,88 E-01
		⁶⁰ Co	< 5,45 E-01	< 5,75 E-01
		¹³⁴ Cs	< 4,61 E-01	< 4,80 E-01
		¹³⁷ Cs	< 4,72 E-01	< 4,86 E-01
		⁴⁰ K	1,01 E+03	1,34 E+03
	Spectrométrie gamma hors influence	⁵⁸ Co	< 5,45 E-01	< 6,29 E-01
		⁶⁰ Co	< 5,60 E-01	< 6,01 E-01
		¹³⁴ Cs	< 4,58 E-01	< 4,94 E-01
		¹³⁷ Cs	< 4,69 E-01	< 5,01 E-01
		⁴⁰ K	1,11 E+03	1,33 E+03
Lait (Bq/L)	Spectrométrie gamma sous influence	⁵⁸ Co	< 1,21 E-01	< 1,43 E-01
		⁶⁰ Co	< 1,36 E-01	< 1,48 E-01
		¹³⁴ Cs	< 1,27 E-01	< 1,36 E-01
		¹³⁷ Cs	< 1,27 E-01	< 1,37 E-01
		⁴⁰ K	5,16 E+01	6,41 E+01

Commentaires : Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment terrestre ainsi que leur interprétation pour l'année 2019 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 2020 sont donnés dans le tableau suivant.

	Paramètre analysé	Périodicité	Unités	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée
Eau filtrée	Activité bêta globale	Bi-mensuelle Sous influence	Bq/L	1,20 E+01	1,29 E+01
		mensuelle Hors influence	Bq/L	1,21 E+01	1,28 E+01
	Tritium	Bi-mensuelle Sous influence	Bq/L	< 6,65 E+00	1,26 E+01
		mensuelle Hors influence	Bq/L	<7,21 E+00	1,23 E+01
	Potassium	Bi-mensuelle Sous influence	mg/L	4,16 E+02	4,40 E+02
		mensuelle Hors influence	mg/L	4,15 E+02	4,40 E+02
Matières en suspension	Activité bêta globale	Bi-mensuelle Sous influence	Bq/L	7,06 E-02	1,70 E-01
		mensuelle Hors influence	Bq/L	2,62 E-02	4,00 E-02

Commentaires : 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 KER (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 KER (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 2019 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	<5,14 E+00
Bêta global	Bq/L	9,56 E-01
Bêta global des matières en suspension	Bq/L	5,65 E-02
Potassium	mg/L	3,20 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
pH	-	9,2
Conductivité	µS / cm	5,4 E+03
Hydrocarbures totaux	mg / l	1,80 E-01
DCO		1,20 E+02
COT		2,90 E+01
Azote global		2,30 E+01
Métaux totaux		4,1 E+00
Sulfates		3,6 E+02

Commentaires : 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

L'année 2020 a été fortement marquée par la crise sanitaire COVID-19. Les restrictions associées aux mesures de protection sanitaires liées à cette crise ont perturbé la mise en œuvre de la surveillance écologique et halieutique du milieu marin aux abords des CNPE situés en bord de mer et estuaire. Au total, plus de 99% des prélèvements prévus sur les 5 CNPE en 2020 (soit plus de 5000) ont néanmoins été effectués.

En ce qui concerne le CNPE de Paluel, le programme de surveillance a pu être mis en œuvre dans son intégralité malgré les difficultés rencontrées. Seul le report de la campagne pélagique de printemps en fin d'année (lié à l'impossibilité d'embarquement du personnel Ifremer en charge de ces campagnes entre mars et juin 2020) est venu modifier le programme habituel (voir tableau récapitulatif ci-dessous).

Au vu de la robustesse de la chronique de données de surveillance pélagique du milieu aux abords du CNPE dont dispose EDF, le report ponctuel de cette campagne est estimé sans impact significatif sur la qualité globale de la surveillance du CNPE de Paluel.

PALUEL - Décision n° 2019-DC-0677 de l'ASN du 9 juillet 2019				
Domaine	Compartiment	Programme - Campagnes	Prévision des Campagnes	Etat
Pélagique	Physico-chimie / Chimie Phytoplancton Zooplanton	3 campagnes / an [Printemps / Été / Automne]	1 : Prévues au printemps	Report : réalisée le 03/12/2020
			2 : Prévues en été	Réalisée le 23/06/2020
			3 : Prévues en automne	Réalisée le 08/09/2020
Benthique	Benthos subtidal	2 campagnes / an	1 : Prévues en mai	Réalisée le 26/05/2020
			2 : Prévues en septembre	Réalisée le 17/10/2020
	Zoobenthos intertidal	2 campagnes / an	1 : Prévues en juillet	Réalisée les 7-9/07/2020
			2 : Prévues en août	Réalisée les 4-5/08/2020
	Phytobenthos intertidal	2 campagnes / an	1 : Prévues en mars	Réalisée le 10/03/2020
			2 : Prévues en septembre	Réalisée le 22/09/2020
Phytobenthos intertidal selon protocole DCE	1 campagne 2 ans sur 6	Prévues en avril 2020	Réalisée le 10/04/2020	

LEGENDE	
	Réalisé tel que prévu ou reporté et réalisé selon des modalités conformes aux prescriptions réglementaires
	Report (selon des modalités différant des prescriptions réglementaires)

1. Physico-chimie des eaux de surface

Le CNPE fait réaliser par l'Ifremer, au niveau des stations canal d'amenée, rejet et le point de référence hors influence des rejets du CNPE, 3 campagnes annuelles (printemps, été et automne) 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 2020, malgré le contexte sanitaire (COVID-19) ayant entraîné le report en période hivernale de la campagne printanière, 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 2020 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. L'année 2020 arrive en tête des années les plus chaudes sur la période 1986-2020, ex aequo avec 2014. Les mois de juin, juillet et août inscrivent l'été 2020 dans les trois plus chauds depuis 1981 et une relative douceur s'est poursuivie en septembre et octobre. Les **salinités** relevées, en été et en automne, se situent dans la gamme haute des données historiques. Les débits de la Seine, inférieurs à la moyenne interannuelle aux mêmes périodes, ainsi que le déficit pluviométrique entre juin et septembre, expliquent les niveaux de salinités sur ces deux campagnes.

Le suivi 2020 des **sels nutritifs** montre des concentrations relativement faibles en été pour tous les éléments azotés, ce qui peut être relié à l'utilisation de ces sels nutritifs par le phytoplancton au début d'une période productive (« Bloom » printanier). Les valeurs estivales de sels nutritifs montrent des niveaux de consommation de nutriments classique et une recharge en automne. Le cycle saisonnier attendu (Figure B-1) des sels nutritifs est ainsi respecté et reste conforme à ce qui est observé sur les côtes de la Manche Orientale.

L'année 2020 est la cinquième année de mesure de l'**oxygène dissous**. Les concentrations relevées sont proches de la valeur de référence attendue en Manche Atlantique et aucun état d'hypoxie ou d'anoxie n'a été observé sur l'ensemble de la zone d'étude au cours de cette année. Une nouvelle fois en 2020, des concentrations en MES relativement élevées au regard de la série historique ont été observées, notamment au cours de l'été au point Canal. A l'instar de l'oxygène dissous, la mesure de la turbidité par néphélométrie a été mise en place en 2016. En 2020 la plus forte valeur de turbidité a été mesurée en automne au point Rejet. Néanmoins, une certaine homogénéité caractérise les trois campagnes. Par ailleurs, au cours de ces trois saisons, la turbidité et la matière en suspension ont diminué de la côte vers le large. Cette variabilité spatiale est conforme à ce qui est généralement observé en zone côtière. Les remises en suspension sur les petits fonds côtiers, les apports continentaux par les bassins versants ainsi que des biomasses phytoplanctoniques généralement plus élevées à la côte, peuvent expliquer ces variations observées le long d'un gradient côte/large.

En conclusion, les données relatives au compartiment hydrologique acquises en 2020 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 Rejets. 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.

2. 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'aménée, Rejet et Référence.

Les conclusions de la surveillance exercée sur l'année 2020 sont :

Concernant les concentrations des formes de **trihalométhanes**, cette année, une seule valeur apparaît supérieur à la LQ, au point Rejet lors de la campagne d'automne, avec une concentration en Bromoforme de 2,9 µg/L, inférieur au seuil écotoxicologique de la PNEC chronique fixée à 7, 86 µg/L.

En conclusion, les données relatives au compartiment hydrologique acquises en 2020 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 Rejets, Cette perturbation thermique reste cependant géographiquement très limitée.

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-chimie et chimie pour l'année 2020 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.

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.

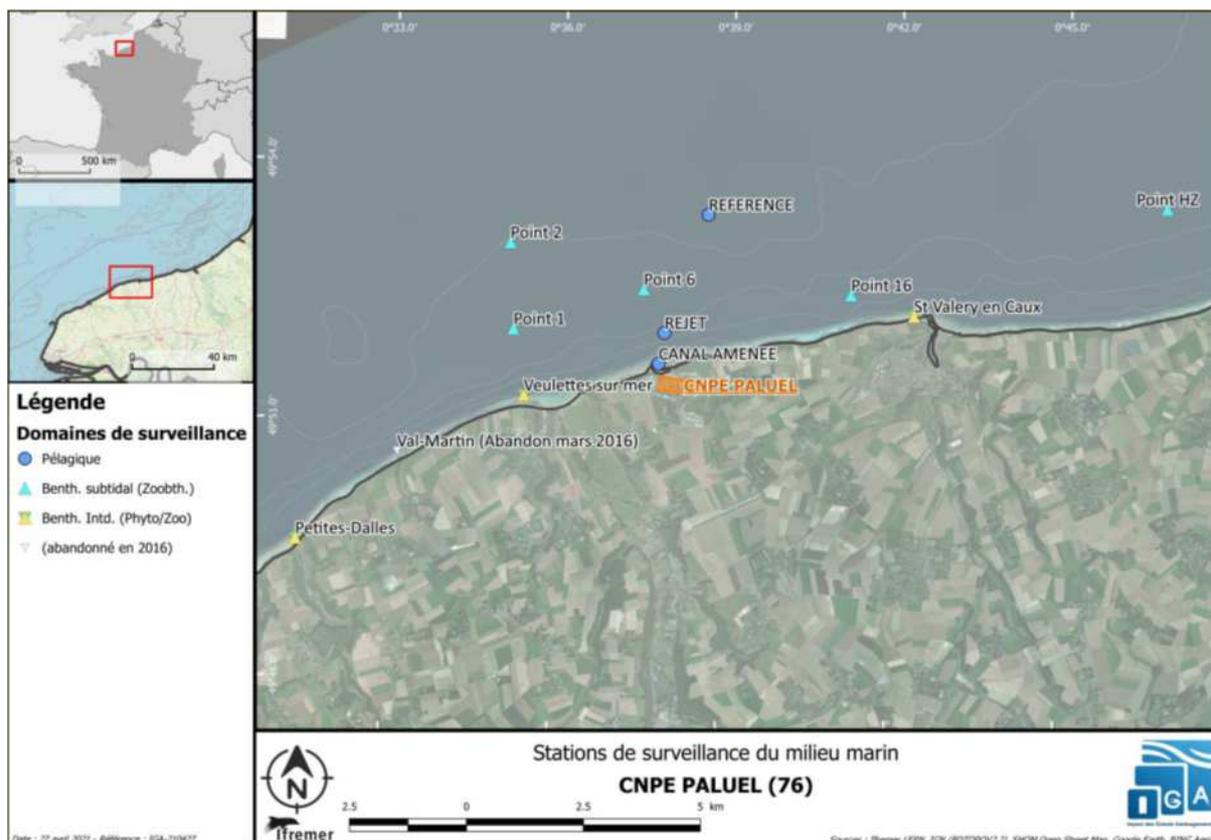
1. Surveillance pérenne

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 des centrales 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 autorisant les prises d'eau 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 œuvre par l'exploitant. Cette surveillance a été initiée il y a 42 ans (en 1978).

La stratégie mise en œuvre 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).



Les conditions sanitaires particulières (COVID19) ont contraint à devoir reporter la campagne pélagique de printemps. En accord avec le CNPE et DIDPE, le rattrapage a été réalisé en fin d'année. Les résultats associés à cette campagne tardive ne disposant pas d'équivalent historique, ils sont présentés à titre informatif. Les comparaisons inter-annuelles portent uniquement sur les périodes estivales et automnales disposant de recul temporel.

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

Domaine	Compartiment	Paramètre	Lieux de surveillance (Dates campagnes)
Pélagique	Hydrologie	Température	3 stations / 3 points : <i>Canal d'aménée</i> (en surface) <i>Rejet,</i> (en surface) <i>Référence</i> (en surface) Date des campagnes 2020 : 23 juin 2020 (ETE) 7 septembre 2020 (AUTOMNE) 3 décembre 2020 (Rattrapage – PRINTEMPS)
		Salinité	
	Physico-chimie / Chimie ²	Sels azotés (Ammonium, Nitrates, Nitrites)	
		Turbidité	
		Oxygène dissous	
		Phosphates	
		Silicates	
		Trihalométhanes ou Haloformes	
	Phytoplancton	Matières en suspension	
		Composition floristique (Flore Totale)	
		Biomasse Chlorophyllienne (Chlorophylle <i>a</i>)	
		Phéopigments	
	Zooplancton	Production primaire	
		Dénombrement faunistique	
Biomasse sestonique			
Micro-organismes ²	Dosage Carbone		
	Dosage Azote		
Benthique	Zoobenthos intertidal ²	Population d'idotées (abondance, biométrie)	3 radiales : <i>Saint-Valéry-en-Caux ; Veulettes/Mer et</i> <i>Petites-Dalles</i> 7-9 juil. et 4-5 août 2020
		Biomasse algale (<i>Fucus vesiculosus</i>)	5 points : 1, 2, 6, 16 et HZ 26 mai et 17 octobre 2020
	Zoobenthos subtidal	Macrofaune (abondance)	5 points : 1, 2, 6, 16 et HZ 26 mai et 17 octobre 2020
		Granulométrie	
	Phytobenthos intertidal	Populations de <i>Fucus serratus</i> (biomasse, longueur des thalles, fertilité)	3 radiales : <i>Saint-Valéry-en-Caux, Veulettes/Mer</i> <i>Petites Dalles</i> 10 mars et 17 sept. 2020
		Suivi des peuplements de substrats durs selon protocole DCE (recouvrement global, nombre d'espèces caractéristiques, recouvrement des espèces opportunistes)	3 radiales : <i>Saint-Valéry-en-Caux, Veulettes/Mer</i> <i>Petites Dalles</i> 10 avril 2020
Halieutique	Pêches	Suivis des pêches artisanales : production annuelle et mensuelle, nb de navire, CPUE ³ , espèces, type d'engins, principaux ports d'exploitation	Fécamp et Dieppe Année 2019

Dans le domaine du **phytoplancton**, l'année a été caractérisée par des valeurs s'inscrivant dans la norme de ce qui a été observé historiquement. Seulement le paramètre YMAX montre un mauvais état physiologique des cellules durant la campagne automnale, avec des valeurs très faibles, ainsi que des concentrations en phéopigments relativement élevées, notamment sur le point Rejet et Référence. Les espèces dénombrées sont communément observées sur la zone. Le cycle saisonnier du phytoplancton, ainsi que la structure des communautés phytoplanctoniques observées en 2020 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 2020 s'inscrit dans la continuité et la stabilité des années antérieures, même si on peut noter, en automne, des niveaux élevés d'abondance tant à la côte (Canal) qu'au Large (Référence). Les seules espèces détectées en 2020 par la méthode biochimique sont *V. alginolyticus* et *V. vulnificus* (sans confirmation moléculaire établie pour ce dernier). Au cours de l'année 2020, l'analyse des paramètres du compartiment microbiologique à travers les vibrions halophiles n'a pas mis en évidence de résultats particuliers pouvant être mis en relation avec l'activité du CNPE de Paluel.

En 2020 les **abondances zooplanctoniques** étaient différentes des observations historiques: l'abondance au point canal, habituellement la plus faible, était supérieure aux deux autres points et au maximum de la série 1988-2019 à ce point. Cette abondance s'explique par une forte concentration du copépode *Acartia* sp. à la côte). Lors de la campagne de septembre les abondances étaient conformes aux observations historiques, bien qu'un peu faible au point canal. Chacune des espèces zooplanctoniques observées cette année respectent, pour ce que peut montrer cette analyse des 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.

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 2020. 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, comme c'est le cas en 2020. Cette évolution sédimentaire va fortement impacter la macrofaune benthique que 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 2020, semble pour la première fois en régression depuis 2015 du fait notamment d'une forte diminution de la diversité et de l'abondance des populations. 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, n'est observée que sur la station 1 lors de la campagne d'automne (alors que l'espèce est plus souvent observée sur la station 2 à l'automne, restant en général absente ou rare au printemps).

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'apparaît 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'impact 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 lieu de surveillance a été localisé sur la plage des Petites Dalles, à travers deux radiales prospectée d'abord en juillet et en août. En 2020, sur les deux sites historiques, la densité d'idotées est très basse, en dessous des moyennes pluriannuelles et sont d'ailleurs nulles sur la radiale historique de Veulettes-sur-Mer en juillet. Les densités rapportées à la biomasse d'algues suivent une dynamique très similaire, signe que la régression des populations d'idotées n'est pas une résultante de l'évolution des populations d'algues. Sur Petites-Dalles, les densités d'idotées observées sont très faibles bien que les biomasses d'algues y soient très supérieures. Depuis 2007, la régression des idotées s'accroît, et le phénomène semble toucher à l'ensemble du littoral cauchois,

indépendamment des niveaux de développement des ceintures algales. Il s'inscrit très probablement dans un contexte plus global, impossible à appréhender sur la seule base des données actuellement disponibles.

*Les **biomasses de Fucus serratus** évaluées en 2020 au niveau des stations définies pour la surveillance du CNPE de Paluel sont inférieures à celles observées sur la période 1994 à 2006, excepté en mars à la station Les Petites Dalles. Les valeurs de biomasse algale à Saint-Valéry-en-Caux restent particulièrement faibles pour les deux saisons. Ainsi, la population de Fucus serratus observée près du CNPE de Paluel depuis 1994 se maintient à un niveau bas depuis de nombreuses années. Une légère amélioration est observée en mars 2020 mais compensée par une diminution en septembre ce qui maintient la population stable pour ce site. La population de Fucus serratus de Paluel présente en fin d'hiver un pourcentage d'algues fertiles beaucoup plus faible que celles de Flamanville et de Guissény. Les pourcentages de thalles fertiles observés en mars et septembre 2020 à Saint-Valéry-en-Caux sont supérieurs à la moyenne calculée depuis 1997 avec une hausse importante en mars. Pour Veulettes-sur-Mer, les valeurs de fertilité en mars et septembre rejoignent les moyennes sur la période de suivi. Les valeurs 2020 restent conformes au cycle de maturation de Fucus serratus avec des pourcentages en fin d'été supérieurs à ceux observés en fin d'hiver. Les données acquises en 2020 ne mettent pas en évidence d'influence significative du fonctionnement du CNPE sur ces mêmes populations.*

*À compter de cette année, et selon une fréquence de 3 ans, une évaluation de l'état écologique des **peuplements de macroalgues de substrats durs** est effectué sur le site de Saint-Valéry-en-Caux (Décision ASN n°2019-DC-0677 du 9 juillet 2019) selon la méthodologie mise en œuvre dans le cadre de la DCE. Les résultats obtenus au printemps 2020 classent le site en "**Bon**" état écologique. Ils semblent traduire une amélioration de l'état écologique par rapport aux cycles précédents réalisés dans le cadre de la DCE en 2011 et 2016.*

***L'activité halieutique** dans le secteur du CNPE de Paluel est évaluée sur la zone 28F0 définie par le CIEM - Conseil International pour l'Exploration de la Mer. Dans cette zone, la production annuelle de pêche en 2019 a été d'environ 2 900 tonnes soit l'une des deux plus faibles quantités débarquées depuis le début du suivi. L'année 2019 est aussi caractérisée par un niveau de capture par unité d'efforts (CPUE) dans le 28F0, parmi les plus faibles depuis le début de la série historique alors qu'il est toujours en augmentation depuis 2010 à l'échelle de la Manche orientale. 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 ont principalement ciblé le buccin à partir de 2008. La stratégie de suivi des métriques du domaine halieutique n'a pas mis en évidence au cours de l'année 2019, de modification significative des débarquements issus du 28F0 pouvant être en lien avec l'activité du CNPE de Paluel.*

En conclusion, le suivi écologique et halieutique réalisé à proximité du CNPE de Paluel en 2020 ne met pas en évidence d'influence du fonctionnement du CNPE sur les différents compartiments des domaines pélagique, benthique et halieutique.

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

2. Surveillance en conditions climatiques exceptionnelles ou en situations 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 nucléaires 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 proximité dans un rayon de 10km (Mairie de Paluel, Saint Sylvain, Ingouville, Saint Valéry 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 (retombées atmosphériques des essais nucléaires, Tchernobyl,...). L'analyse détaillée des résultats est présentée dans le rapport du suivi radioécologique annuel réalisé par 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-2015-2017.pdf

À partir des activités annuelles rejetées par radionucléide, une dose efficace¹ 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 sur 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 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 et la comparaison aux seuils réglementaires :

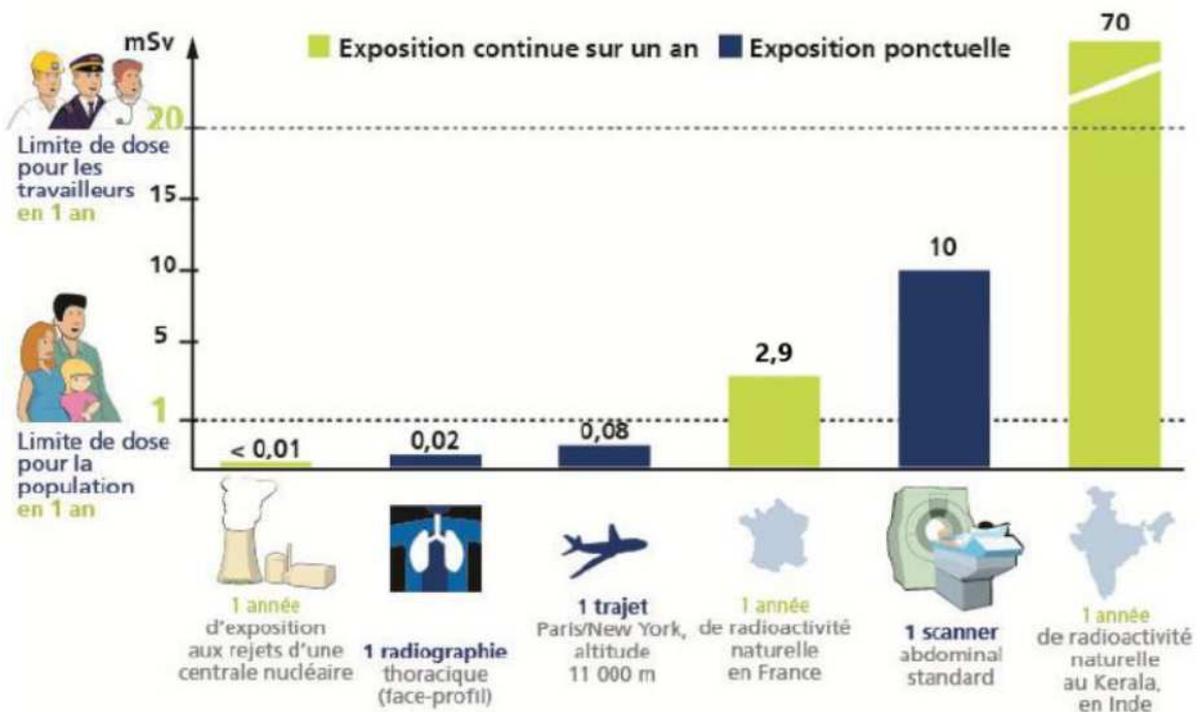


Figure 4 : Echelle des ordres de grandeur de doses résultant de situations courantes et comparaison aux seuils réglementaires (Source : EDF)

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 3 ci-après.

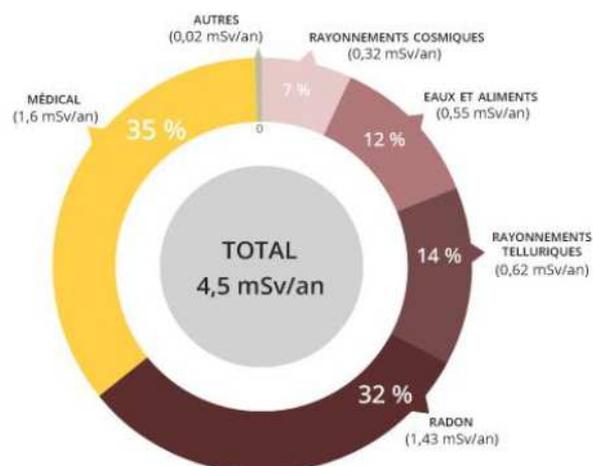


Figure 5 : part relative des différentes sources d'expositions de la population française aux rayonnements ionisants (source : bilan IRSN 2015)

Les tableaux suivants fournissent les valeurs de dose efficace totale calculées à partir des rejets radioactifs réels de l'année 2020 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	2,6 E-06	5,0 E-05	5,3 E-05
Rejets d'effluents liquides	1,7 E-07	2,0 E-04	2,0 E-04
TOTAL	2,7 E-06	2,5 E-04	2,6 E-04

ENFANT DE 10 ANS	Exposition externe (mSV)	Exposition interne (mSV)	Total (mSV)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	2,6 E-06	5,0 E-05	5,3 E-05
Rejets d'effluents liquides	5,8 E-07	1,1 E-04	1,1 E-04
TOTAL	3,2 E-06	1,6 E-04	1,6 E-04

ENFANT DE 1 AN	Exposition externe (mSV)	Exposition interne (mSV)	Total (mSV)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	2,7 E-06	7,5 E-05	7,7 E-05
Rejets d'effluents liquides	2,2 E-07	2,5 E-04	2,5 E-04
TOTAL	2,9 E-06	1,0 E-04	1,0 E-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 2020 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.

I. 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.

1. 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	Courte	FMA-VC (faible et moyenne activité à vie courte)	Fûts, coques
Filtres d'air	Très faible, Faible et Moyenne		TFA (très faible activité), FMA-VC	Casiers, big-bags, futs, coques, caissons
Résines secondaires				
Concentrats, boues				
Pièces métalliques				
Matières plastiques, celluloses				
Déchets non métalliques (gravats,,)				
Déchets graphite	Faible	Longue	FA-VL (faible activité à vie longue)	Entreposage sur site
Pièces métalliques et autres déchets actives	Moyenne		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

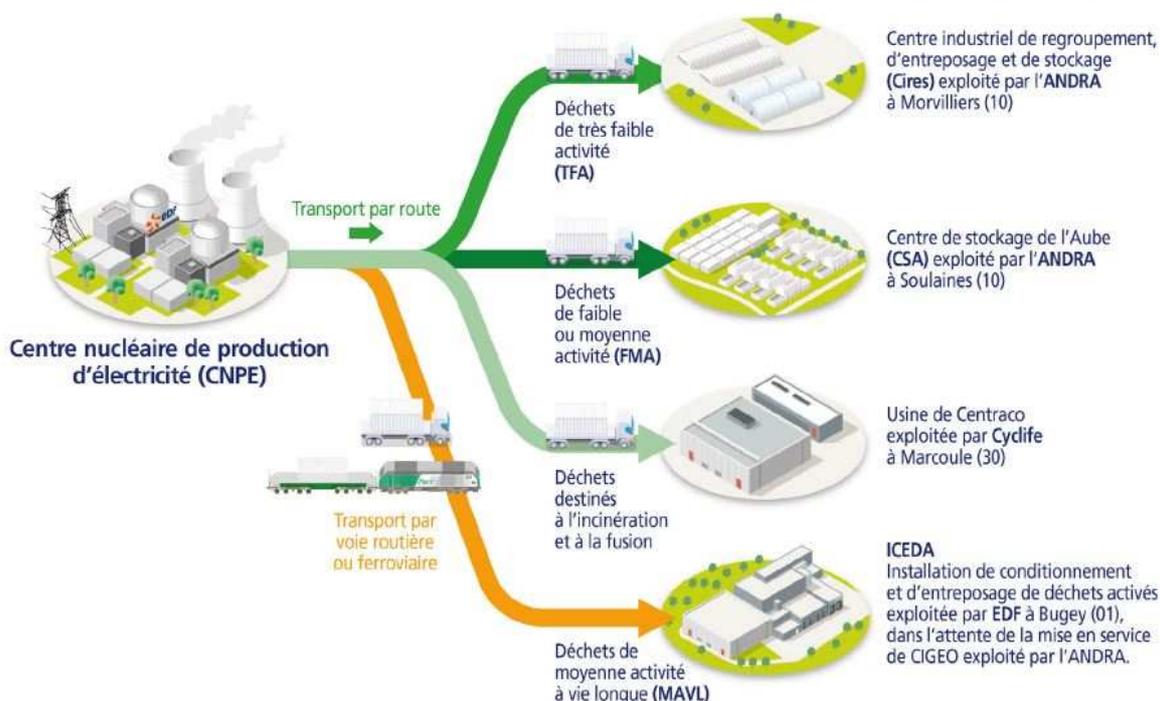


Figure 6 : Transport des déchets radioactifs (Source : EDF)

3. Les quantités de déchets entreposées au 31/12/2020

Le tableau suivant présente les quantités de déchets en attente de conditionnement au 31 décembre 2020 pour les 4 réacteurs en fonctionnement du CNPE de PALUEL.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2020	Commentaires
TFA	260 T (60T huiles + 200T sous-sols du BAN)	En conteneurs sur l'aire TFA
FMAVC (Liquides)		Effluents du lessivage chimique, huiles, solvants...
FMAVC (Solides)		Localisation Bâtiment des Auxiliaires Nucléaire et Bâtiment Auxiliaire de Conditionnement (BAC)
MAVL	225 Grappes 15 carquois 134 Étuis	Concerne les grappes et les étuis dans les piscines de désactivation (déchets technologiques, galette inox, bloc béton et chemise graphite)

Le tableau suivant présente les quantités de déchets conditionnés en attente d'expédition au 31 décembre 2020 pour les 4 réacteurs en fonctionnement du CNPE de PALUEL.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2020	Type d'emballage
TFA	250 tonnes	Tous types d'emballages confondus
FMAVC (Solides)	158 colis	Coques béton
FAVL	656 colis	Fûts (métalliques, PEHD)
MAVL		Autres (caissons, pièces massives...)

Le tableau suivant présente le nombre de colis évacués et les sites d'entreposage en 2020 pour les 4 réacteurs en fonctionnement du CNPE de PALUEL.

Site destinataire	Nombre de colis évacués
Cires à Morvilliers	214
CSA à Soulaines	778
Cyclife (Centraco à Marcoule)	1404

En 2020, 2396 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 2020 par les INB d'EDF.

Quantités 2020 en tonnes	Déchets dangereux		Déchets non dangereux non inertes		Déchets inertes		Total	
	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés
Sites en exploitation	366	351	1920	1843	1293	1241	3579	3435
Sites en déconstruction	1017	56,1	707	609	447	447	2170	1112

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 reste conséquente en 2020 du fait de la poursuite d'importants chantiers, en particulier les chantiers de modifications post Fukushima et l'aménagement de parkings ou bâtiments tertiaires.

La forte augmentation des quantités de déchets dangereux et non dangereux non inertes constatée cette année est liée à la tenue de chantiers de déconstruction importants, en particulier sur le site de BUG (démolition de galerie, démolition de locales chaudières, démantèlement de salle des machines, etc.).

De nombreuses actions sont mises en œuvre par EDF pour optimiser la gestion des déchets conventionnels, 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 2020, les 4 unités de production du CNPE de PALUEL ont produit 3079 tonnes de déchets conventionnels : 99 % 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

Annexe 1 : Suivi radioécologique annuel du CNPE de Paluel Année 2019

Le rapport Suivi radioécologique annuel des CNPE de la Manche et de la Mer du Nord pour l'année 2019 rédigé par l'INRS 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
BP 48 – 76450 CANY BARVILLE
Numéro de téléphone 02.35.57.66.66

A wide-angle photograph of the Paluel Nuclear Power Plant. The facility features four large, grey, dome-shaped containment domes of varying heights, situated behind a complex of industrial buildings and piping. The plant is built on a raised concrete embankment. In the foreground, a body of water is bordered by a large, rugged breakwater made of grey concrete armor units. The sky is bright blue with scattered white clouds. To the left, a high-voltage electricity pylon is visible against the horizon.

Pièces jointes au Rapport
environnemental annuel relatif aux
installations nucléaires du Centre
Nucléaire de Production d'Electricité de

PALUEL

2020

Bilan rédigé au titre de l'article 4.4.4 de l'arrêté du
7 février 2012

LISTE DES PIÈCES JOINTES

Annexe 1 – Rapport annuel 2019 -Suivi radioécologique annuel des CNPE de la Manche et de la Mer du Nord

Suivi radioécologique annuel des CNPE de la Manche et de la Mer du Nord

Année 2019

Rapport IRSN/2021-00434

Pôle Santé et Environnement

Service d'expertise et d'étude en radioprotection des
populations et de la radioactivité dans
l'environnement

Suivi radioécologique annuel des CNPE de la Manche et de la Mer du Nord

Année 2019

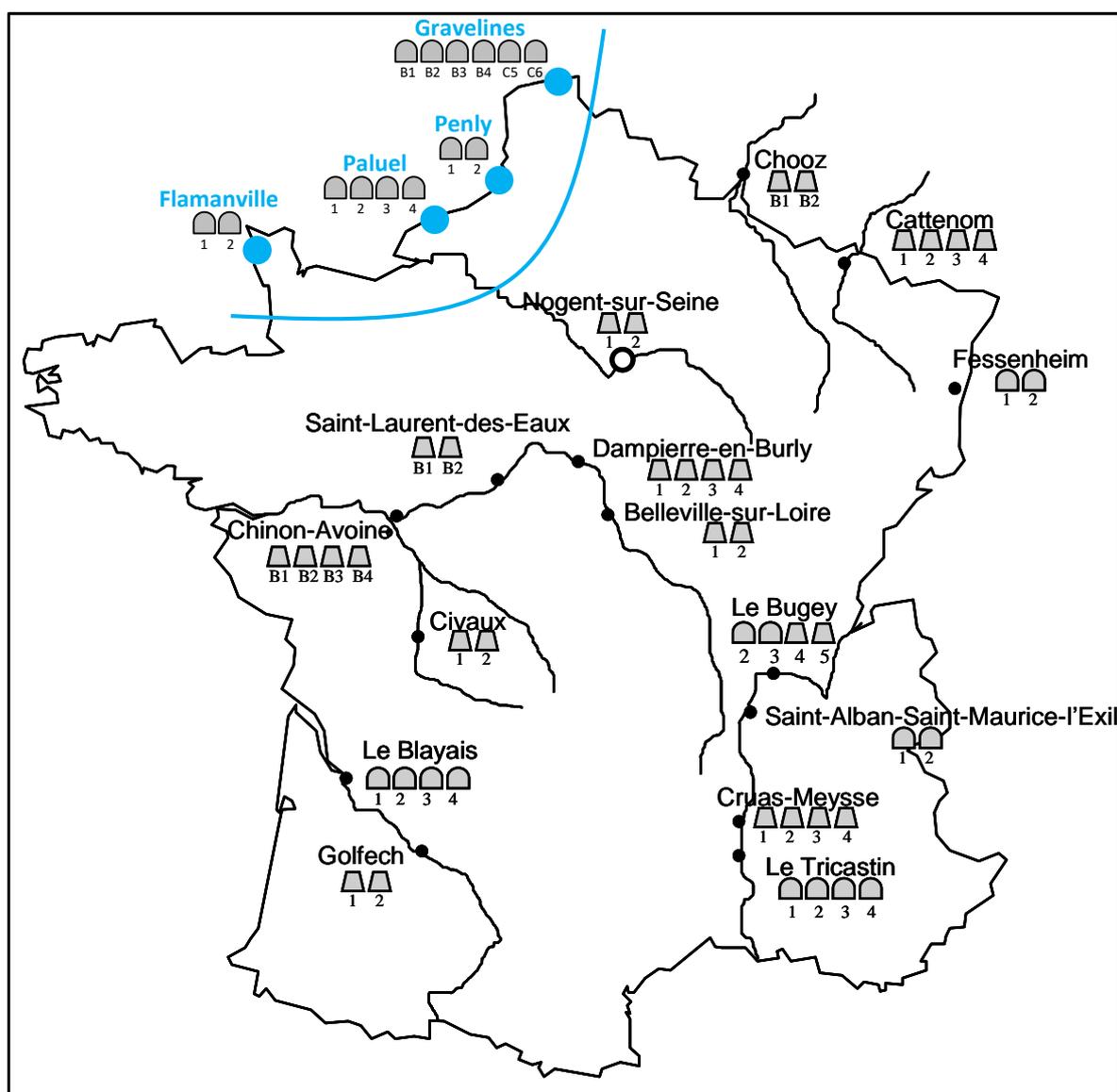


Table des Matières

TABLE DES ILLUSTRATIONS ET DES TABLEAUX	9
RÉSUMÉ	21
0 OBJECTIFS	23
1 MÉTHODOLOGIE DU SUIVI RADIOÉCOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT PROCHE DES CENTRES NUCLÉAIRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ FRANÇAIS.....	23
2 ORIGINE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'ENVIRONNEMENT DES CNPE FRANÇAIS DE LA MANCHE ET DE LA MER DU NORD.....	24
2.1 Radionucléides d'origine naturelle	24
2.1.1 Origine tellurique	24
2.1.2 Rayonnement cosmique et comportement du tritium et du ¹⁴ C	25
2.2 Radionucléides d'origine artificielle.....	25
2.2.1 Retombées des essais aériens d'armes nucléaires et des chutes de satellites	25
2.2.2 Retombées de l'accident de Tchernobyl.....	27
2.2.3 Retombées de l'accident de Fukushima-Daiichi	28
2.2.4 Installations nucléaires exploitées par EDF.....	29
2.2.5 Autres activités.....	30
3 CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET GÉOGRAPHIQUE	31
3.1 Climatologie	31
3.2 Géologie et hydrogéologie	32
3.3 Hydrographie et hydrologie	33
4 ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE FLAMANVILLE	34
4.1 Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures.....	34
4.2 État radiologique de l'environnement terrestre	35
4.2.1 Stratégie d'échantillonnage	35

4.2.2	Résultats et interprétation	40
4.3	État radiologique de l'environnement aquatique	42
4.3.1	Stratégie d'échantillonnage	42
4.3.2	Résultats et interprétation	47
4.4	Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Flamanville	51
4.5	Tableaux de résultats	52
5	ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE PALUEL	75
5.1	Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures.....	75
5.2	État radiologique de l'environnement terrestre	76
5.2.1	Stratégie d'échantillonnage	76
5.2.2	Résultats et interprétation	80
5.3	État radiologique de l'environnement aquatique	82
5.3.1	Stratégie d'échantillonnage	82
5.3.2	Résultats et interprétation	87
5.4	Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Paluel.....	91
5.5	Tableaux de résultats	93
6	ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE PENLY.....	115
6.1	Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures.....	115
6.2	État radiologique de l'environnement terrestre	117
6.2.1	Stratégie d'échantillonnage	117
6.2.2	Résultats et interprétation	120
6.3	État radiologique de l'environnement aquatique	122
6.3.1	Stratégie d'échantillonnage	122
6.3.2	Résultats et interprétation	127
6.4	Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Penly	131
6.5	Tableaux de résultats	133
7	ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE GRAVELINES	155
7.1	Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures.....	155
7.2	Etat radiologique de l'environnement terrestre	157

7.2.1	Stratégie d'échantillonnage	157
7.2.2	Résultats et interprétation	161
7.3	État radiologique de l'environnement aquatique	164
7.3.1	Stratégie d'échantillonnage	164
7.3.2	Résultats et interprétation	168
7.4	Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Gravelines	172
7.5	Tableaux de résultats.....	173
8	SYNTHÈSE DE L'ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DE LA MANCHE ET DE LA MER DU NORD.....	199
8.1	Radioécologie du milieu terrestre.....	199
8.2	Radioécologie du milieu marin.....	200
9	BIBLIOGRAPHIE.....	205
10	ANNEXES	207
10.1.	Choix des stations de prélèvements	210
10.2.	Choix des matrices prélevées	210
10.2.1.	Domaine terrestre.....	211
10.2.2.	Domaine aquatique marin.....	211
10.3.	Choix des fréquences d'analyses	212
10.4.	Choix des analyses	212
10.5.	Méthode de prélèvements sur le terrain.....	212
10.5.1.	Domaine terrestre.....	212
10.5.2.	Domaine aquatique marin.....	213
10.6.	Préparation et conditionnement des échantillons	214
10.6.1.	Domaine terrestre.....	214
10.6.2.	Domaine aquatique marin.....	216
10.7.	Techniques d'analyses	217
10.7.1.	Détermination de la teneur en matière organique et de la granulométrie des sols et des sédiments	217
10.7.2.	Identification des espèces vivantes.....	217
10.7.3.	Mesure du tritium libre	217

10.7.4.	Mesure du tritium organiquement lié	218
10.7.5.	Mesure du ¹⁴ C	218
10.7.6.	Spectrométrie γ	219
10.8.	Expression des résultats et unités utilisées	219
10.9.	Radionucléides dans l'environnement	221
10.9.1.	Radioactivité d'origine naturelle	221
10.9.2.	Radioactivité d'origine artificielle	222
10.9.3.	Sources de ³ H	223
10.9.4.	Sources de ¹⁴ C	224
10.10.	Laboratoires d'analyses	225

Table des illustrations et des tableaux

Illustrations

Figure 1 - Localisation des installations nucléaires de la façade Manche/Mer du Nord et circulation générale des masses d'eaux (carte : [1, 2]).	24
Figure 2 - Activités de ^3H dans l'eau de pluie à Thonon-les-Bains, d'après IAEA/WMO 2006.....	26
Figure 3 - Évolution de l'activité spécifique du ^{14}C dans l'hémisphère nord depuis 1950 (tirée de [3]).	27
Figure 4 - Activités surfaciques de ^{137}Cs , estimées en 2010, issues des retombées atmosphériques des essais aériens et de l'accident de Tchernobyl d'après [21].....	28
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]).....	29
Figure 6 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Flamanville.	35
Figure 7 - Localisation du CNPE de Flamanville et des stations terrestres échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2019.	39
Figure 8 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des sols (cultivés et non cultivés), végétaux cultivés (herbe et légumes) et indicateurs végétaux (mousses et lichens) échantillonnés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville.....	41
Figure 9 - Localisation du CNPE de Flamanville et des stations marines échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2019.	46
Figure 10 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des sédiments et des algues échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville.....	48
Figure 11 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des mollusques et crustacés et des poissons échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville	49
Figure 12 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Paluel.....	76
Figure 13 - Localisation du CNPE de Paluel et des stations terrestres échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2019.....	79
Figure 14- Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des sols (cultivés et non cultivés), végétaux cultivés (herbe et légumes) et indicateurs végétaux (mousses et lichens) échantillonnés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel. * : activités inférieures au seuil de décision.	81

Figure 15 - Localisation du CNPE de Paluel et des stations marines échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2019.	86
Figure 16 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des sédiments et des algues échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel.	88
Figure 17 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des mollusques et crustacés et des poissons échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel.	89
Figure 18 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Penly.	116
Figure 19 - Localisation du CNPE de Penly et des stations terrestres échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2019.	119
Figure 20 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des sols (cultivés et non cultivés), végétaux cultivés (herbe et légumes) et indicateurs végétaux (mousses et lichens) échantillonnés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly. * : activités inférieures au seuil de décision.	121
Figure 21 - Localisation du CNPE de Penly et des stations marines échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2019.	126
Figure 22 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des sédiments et des algues échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Penly.	128
Figure 23 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des mollusques et crustacés et des poissons échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Penly.	129
Figure 24 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Gravelines.	156
Figure 25 - Localisation de CNPE de Gravelines et des stations terrestres échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2019.	160
Figure 26 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des sols (cultivés et non cultivés), végétaux cultivés (herbe et légumes) et indicateurs végétaux (mousses) échantillonnés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines. * : activités inférieures au seuil de décision.	162
Figure 27 - Localisation du CNPE de Gravelines et des stations marines échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2019.	167
Figure 28 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des sédiments et des algues échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines.	169

Figure 29 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des mollusques et crustacés et des poissons échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines.....	170
Figure 30 - 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. $0,1 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'après [15]).	202
Figure 31 - Activités en ^{60}Co et en ^{137}Cs mesurées dans les algues échantillonnées en 2019 dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord.	203
Figure 32 - 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., $240 \pm 2 \text{ Bq.kg}^{-1}$ C d'après [29]).....	203

Tableaux

Tableau 1 - Identification des échantillons analysés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique de 2019 et analyses réalisées.	37
Tableau 2 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville en 2019 et analyses réalisées.....	44
Tableau 3 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	52
Tableau 4 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	53
Tableau 5 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	54
Tableau 6 - Activités en radionucléides émetteurs β au sein d'échantillons de lierre collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	55
Tableau 7 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de légumes (salades ou chou ou betterave) collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	56
Tableau 8 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	57
Tableau 9 - Activités en radionucléides émetteurs β au sein d'échantillons d'eau de boisson collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	58
Tableau 10 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	59
Tableau 11 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	60
Tableau 12 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	61

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.....	62
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.....	63
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 2019.	64
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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sols et les végétaux, $Bq.L^{-1}$ pour le lait).	65
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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sols et les végétaux, $Bq.L^{-1}$ pour le lait).	66
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 2019.	67
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 2019.	67
Tableau 20 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2019.	68
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 2019.....	69
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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sédiments, les algues, $Bq.kg^{-1} frais$ pour les mollusques, les crustacés et les poissons).	70
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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sédiments, les algues, $Bq.kg^{-1} frais$ pour les mollusques, les crustacés et les poissons).	71
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 2019.	72
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 2019.	72

Tableau 26 - Activités en ¹⁴ C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2019.	73
Tableau 27 - Activités en ⁶³ Ni mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2019.	74
Tableau 28 - Activités en ⁵⁵ Fe mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2019.	74
Tableau 29 - Identification des échantillons analysés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique de 2019 et analyses réalisées.	78
Tableau 30 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel en 2019 et analyses réalisées.....	83
Tableau 31 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	93
Tableau 32 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	94
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	95
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	96
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	97
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	98
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	99
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	100

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.....	101
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.....	102
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.....	103
Tableau 42 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques de l'échantillon de sol collecté dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2019.....	104
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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sols et les végétaux, $Bq.L^{-1}$ pour le lait).	105
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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sols et les végétaux, $Bq.L^{-1}$ pour le lait).	106
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 2019.	107
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 2019.	107
Tableau 47 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2019.	108
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 2019.	109
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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sédiments et les algues, $Bq.kg^{-1} frais$ pour les mollusques, les crustacés et les poissons).	110
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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sédiments et les algues, $Bq.kg^{-1} frais$ pour les mollusques, les crustacés et les poissons).	111
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 2019.	112
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 2019.	112

Tableau 53 - Activités en ¹⁴ C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2019.....	113
Tableau 54 - Activités en ⁶³ Ni mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2019.....	114
Tableau 55 - Activités en ⁵⁵ Fe mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2019.....	114
Tableau 56 - Identification des échantillons analysés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique de 2019 et analyses réalisées.	118
Tableau 57 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Penly en 2018 et analyses réalisées.....	123
Tableau 58 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	133
Tableau 59 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	134
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	135
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	136
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	137
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	138
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	139
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	140

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.....	141
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.....	142
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.....	143
Tableau 69 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques de l'échantillon de sol collecté dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2019.....	144
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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sols et les végétaux, $Bq.L^{-1}$ pour le lait).....	145
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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sols et les végétaux, $Bq.L^{-1}$ pour le lait).....	146
Tableau 72 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2019.....	147
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 2019.....	147
Tableau 74 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2019.....	148
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 2019.	149
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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sédiments et les algues, $Bq.kg^{-1} frais$ pour les mollusques, les crustacés et les poissons).	150
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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sédiments et les algues, $Bq.kg^{-1} frais$ pour les mollusques, les crustacés et les poissons).	151
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 2019.	152
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 2019.	152

Tableau 80 - Activités en ¹⁴ C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2019.	152
Tableau 81 - Activités en ⁶³ Ni mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2019.	154
Tableau 82 - Activités en ⁵⁵ Fe mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2019.	154
Tableau 83 - Identification des échantillons analysés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique de 2019 et analyses réalisées.	158
Tableau 84 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines en 2019 et analyses réalisées.....	165
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	173
Tableau 86 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	174
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	175
Tableau 88 - Activités en radionucléides émetteurs β au sein d'échantillons de lierre collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	176
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	177
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	178
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	179
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.	180

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.....	181
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.....	182
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.....	183
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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.....	184
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 2019.	185
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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sols et les végétaux, $Bq.L^{-1}$ pour le lait).	186
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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sols et les végétaux, $Bq.L^{-1}$ pour le lait).	187
Tableau 100 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2019.....	188
Tableau 101 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2019.	189
Tableau 102 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2019.	190
Tableau 103 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sédiment collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2019.....	191
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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sédiments et les algues, $Bq.kg^{-1} frais$ pour les mollusques, les crustacés et les poissons).	192
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 2019	

(<i>Bq.kg⁻¹ sec</i> pour les sédiments et les algues, <i>Bq.kg⁻¹ frais</i> pour les mollusques, les crustacés et les poissons).....	194
Tableau 106 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2019.	196
Tableau 107 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2019.	196
Tableau 108 - Activités en ¹⁴ C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2019.	197
Tableau 109 - Activités en ⁶³ Ni mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2019.	198
Tableau 110 - Activités en ⁵⁵ Fe mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2019.	198

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 ^{137}Cs est détecté dans la plupart des échantillons prélevés (21 fois sur 26), 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 2019, les activités en ^{131}I dans les mousses terrestres sont restées inférieures aux seuils de décision. Les activités du tritium en milieu terrestre sont comparables à celles mesurables en dehors de tout apport local par une installation, hormis dans l'environnement du CNPE de Paluel, dans lequel on mesure un apport local en tritium sous forme libre et liée dans l'herbe échantillonnée à 0,7 km du CNPE. Les activités en ^{14}C en milieu terrestre sont comparables à celles mesurables en dehors de tout apport local par une installation, ou témoignent d'un apport local pour les salades en champ proche des CNPE de Flamanville (4,0 km du CNPE), Paluel (1,6 km du CNPE) et Gravelines (9,7 km du CNPE) et en champ lointain des CNPE de Flamanville (9,3 km du CNPE), Penly (3,8 km du CNPE) et Gravelines (3,7 km du CNPE), sans que la contribution des rejets du site ne soit démontrée.

Pour le compartiment marin, le ^{137}Cs , détecté dans la plupart des matrices marines à l'exception de trois échantillons d'algues, de deux échantillons de mollusques et de quatre 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 ^{60}Co , le $^{108\text{m}}\text{Ag}$, le $^{110\text{m}}\text{Ag}$, et le ^{241}Am , 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 ^{241}Am , présent uniquement dans les rejets d'ORANO La Hague). En 2019, les activités en ^{131}I sont restées inférieures aux seuils de décision dans les algues dans l'environnement des CNPE de Paluel et de Gravelines, tandis que l' ^{131}I est détecté dans les algues prélevées dans l'environnement des CNPE de Flamanville (en champ proche) et de Penly (en champ lointain). En 2019, les activités en tritium libre dans les algues 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 libre en champ proche des CNPE de Flamanville, Paluel et Penly par rapport aux algues échantillonnées en champ lointain de ces CNPE. Les activités en tritium organiquement lié dans les algues, les mollusques, les crustacés et les poissons échantillonnés dans l'environnement marin proche des 4 CNPE marins témoignent d'un marquage pour environ la moitié des échantillons. Les activités en ^{14}C quantifiées au sein des algues, des mollusques 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 ^{14}C tend à être plus prononcé au voisinage des points de rejet d'effluents liquides des CNPE pour les algues (Flamanville, Penly et Gravelines), pour les mollusques (Flamanville, Penly et Gravelines) et pour les poissons (Paluel et Penly).

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 10.1).

Les matrices échantillonnées sont les plus abondantes localement et/ou caractéristiques de l'économie locale (Annexes 10.2 et 10.3). 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 ^{14}C mesuré dans les végétaux terrestres (Annexe 10.3), 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 ^{14}C sont réalisées (Annexes 10.4, 10.7, 10.8 et 10.10). Dans certaines matrices, des analyses supplémentaires peuvent être réalisées (Annexes 10.4). 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 (Annexes 10.5, 10.6 et 10.7).

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 24) ainsi que des retombées atmosphériques des accidents de Tchernobyl et, dans une moindre mesure, de Fukushima Daiichi.

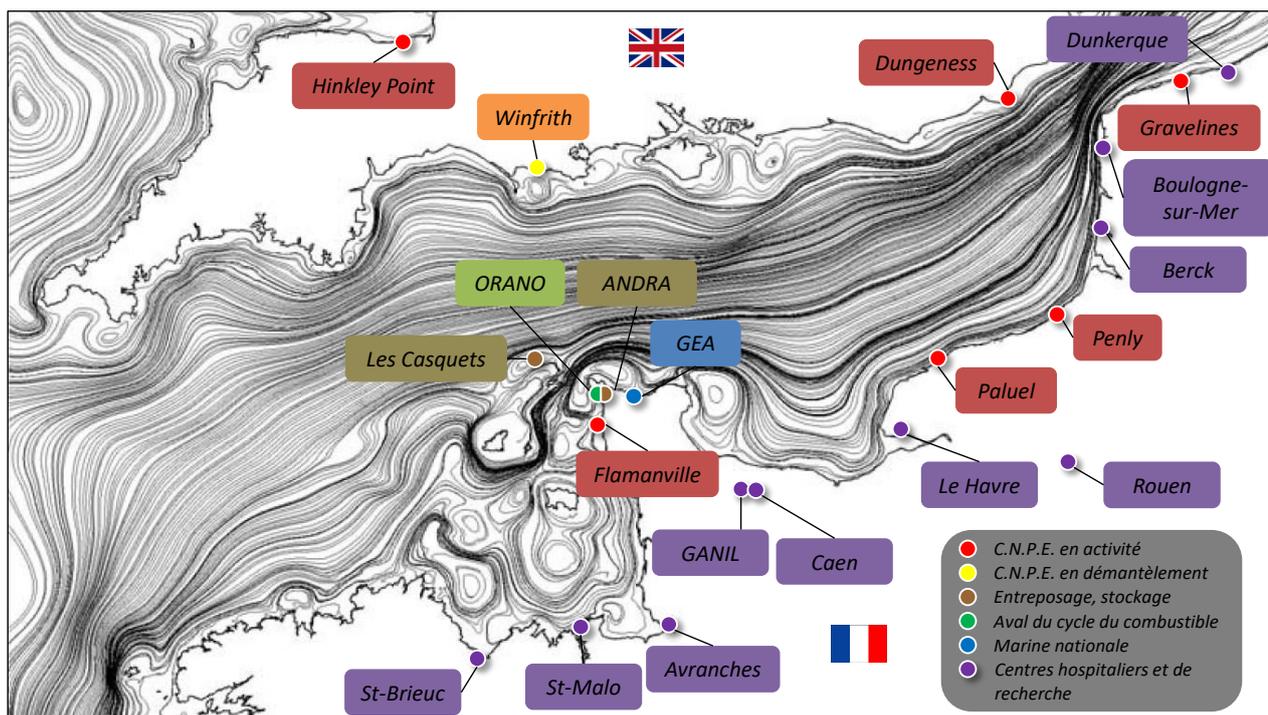


Figure 1 - Localisation des installations nucléaires de la façade Manche/Mer du Nord et circulation générale des masses d'eaux (carte : [1, 2]).

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 ^{40}K et les produits des chaînes de désintégration de ^{238}U , de ^{235}U et du ^{232}Th . 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 2015 à 2017 [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 2015 à 2017 [3].

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

En tant qu'isotope de l'hydrogène, le ³H (période radioactive : 12,312 ans [4]) est intimement 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), 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 tel ou tel composant environnemental ou biologique. 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'¹³¹I, 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, 240}Pu 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

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

terrestre de ^{238}Pu , d' ^{235}U 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 2015 à 2017 [3] et plus brièvement ci-dessous. En 2019, sur la majeure partie de la France, les activités rémanentes en ^{137}Cs des retombées des essais aériens étaient comprises entre 1 400 et 2 000 $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$ [9], compte tenu de la seule décroissance radioactive du ^{137}Cs . 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 $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ dans les eaux de pluie analysées à Thonon-les-Bains ou à Vienne dans les années 1960, l'activité volumique a décliné à moins de 10 $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ dès la fin des années 1970. Depuis la fin des années 1990, elle est inférieure à 2 $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ [10-13] (Figure 2 page 26).

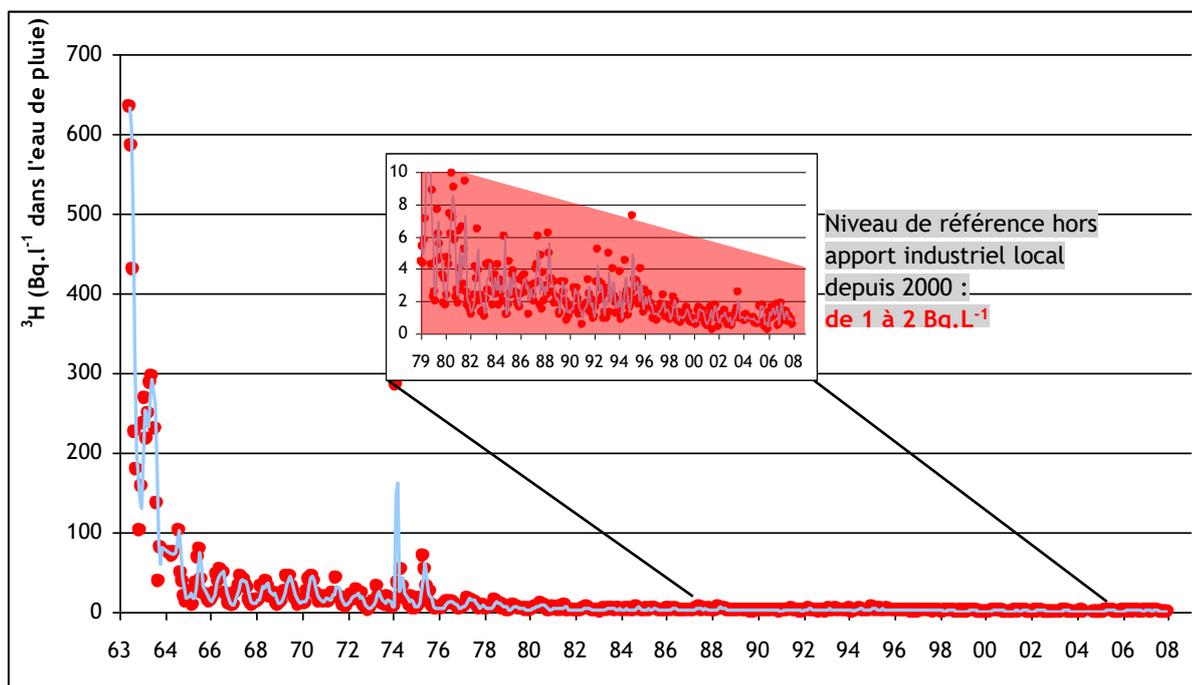


Figure 2 - Activités de ^3H dans l'eau de pluie à Thonon-les-Bains, d'après IAEA/WMO 2006.

Le tritium produit lors des essais aériens est quantifiable aujourd'hui sous les deux formes, HTO et TOL. Hors influence industrielle locale, la forme libre (HTO) est 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 $1,4 \pm 1,2$ $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ en France métropolitaine (mesures de 2007 à 2012 [14]) 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 $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ [15, 5]) 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 ^{14}C présent dans l'atmosphère. L'activité spécifique atmosphérique en ^{14}C a atteint plus de 400 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}\text{C}$ avant de décroître suite à l'arrêt des essais atmosphériques ainsi qu'à l'augmentation des rejets de CO_2 dans l'atmosphère liée à l'utilisation de combustibles fossiles, dépourvus de ^{14}C [16]. En 1999, l'activité spécifique dans le milieu terrestre s'élevait à 255 ± 7

Bq.kg⁻¹ C [17]. En 2019, elle est proche de 230 Bq.kg⁻¹ C et se rapproche de l'activité spécifique atmosphérique antérieure aux premiers essais aériens (226,0±1,1 Bq.kg⁻¹ C) [3] (Figure 3 page 27).

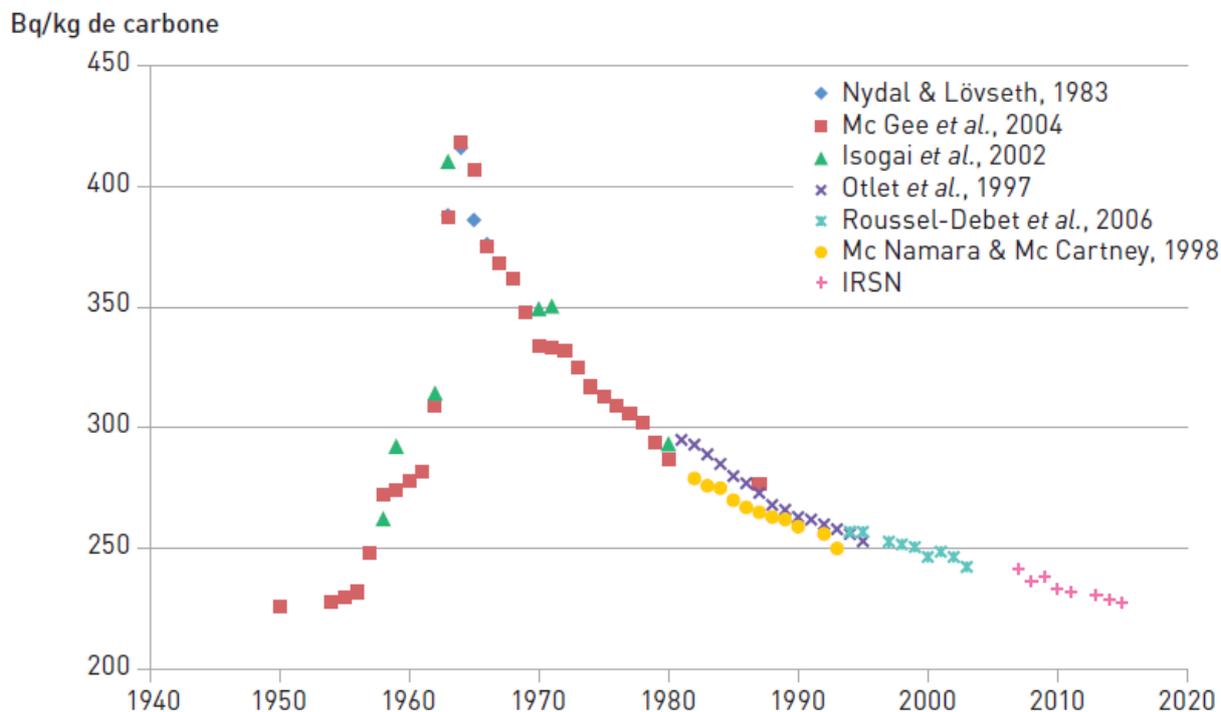


Figure 3 - Évolution de l'activité spécifique du ¹⁴C dans l'hémisphère nord depuis 1950 (tirée de [3]).

Le ¹⁴C des écosystèmes d'eau douce n'est pas en équilibre avec le CO₂ 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 [18]. En milieu marin, le ¹⁴C rejeté est en grande majorité sous forme minérale dissoute [19] 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 [19]. 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 proche de 250 Bq.kg⁻¹ C [19].

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 10^7 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 10^7 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 événements 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, ^{110m}Ag, 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 28 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 [20].

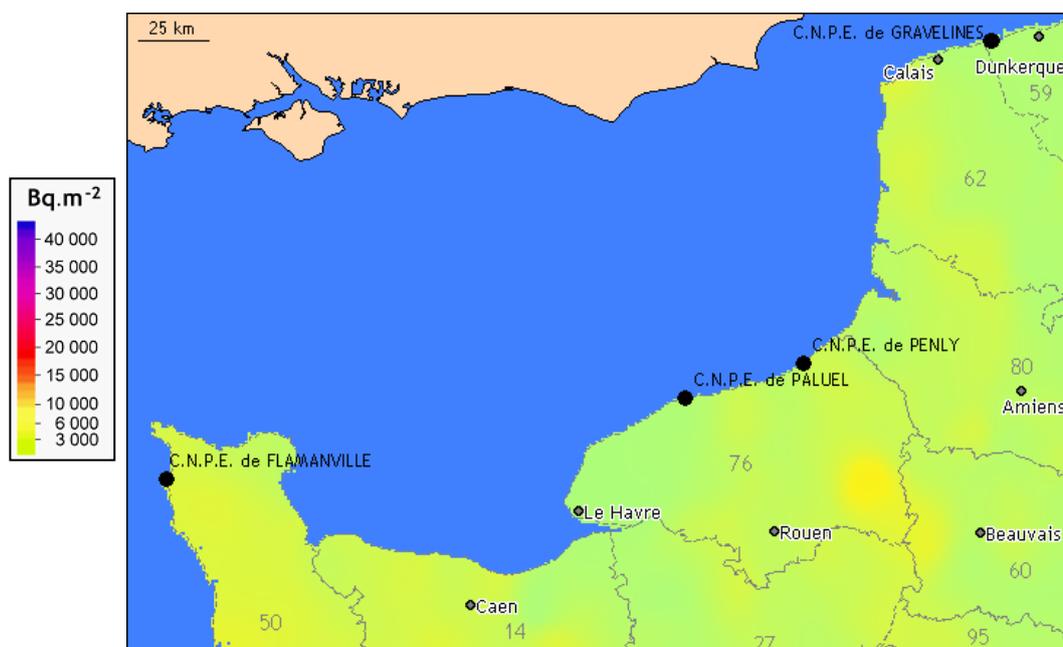


Figure 4 - Activités surfaciques de ¹³⁷Cs, estimées en 2010, issues des retombées atmosphériques des essais aériens et de l'accident de Tchernobyl d'après [21].

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 28).

Les résultats des analyses réalisés sur le territoire métropolitain par l'IRSN et par les exploitants nucléaires ont montré la présence de ^{131}I , de ^{137}Cs et de ^{134}Cs [22]. L' ^{131}I , du fait de sa courte période radioactive (8,0233 jours [4]), a rapidement disparu de l'environnement. Le ^{134}Cs , dont le dépôt massif issu des retombées de l'accident de Tchernobyl n'était plus détecté compte tenu de sa courte période radioactive (2,0644 ans [4]), a pu être attribué à cet accident. En revanche, les résultats de ^{137}Cs sont difficilement imputables à ce seul événement compte-tenu de la rémanence de ce radionucléide sur le littoral de la Manche et de la Mer du Nord.

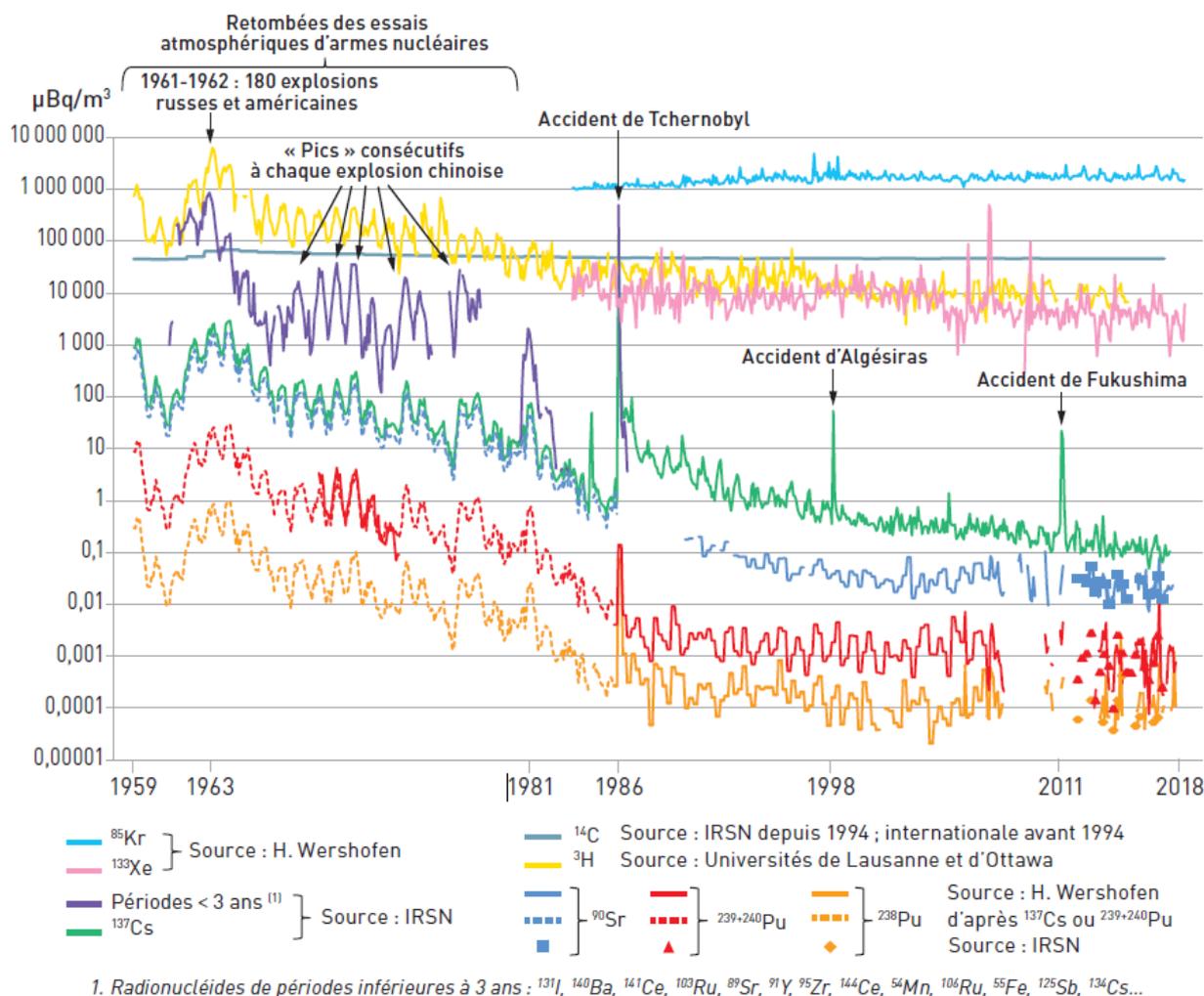


Figure 5 - Évolution des activités des principaux radionucléides artificiels mesurés dans l'air en France et en Allemagne au cours des 60 dernières années (tirée de [3]).

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

certaines 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 ^{14}C , l' ^{41}Ar , les xénon métastables 131, 133 et 135, le ^{85}Kr , les ^{131}I et ^{133}I , les ^{58}Co et ^{60}Co et les ^{134}Cs et ^{137}Cs . Au sein des rejets d'effluents radioactifs liquides, le tritium, le ^{14}C , les ^{58}Co et ^{60}Co , le ^{63}Ni , les ^{142}Sb et ^{125}Sb , les ^{134}Cs et ^{137}Cs , le ^{54}Mn , l' $^{110\text{m}}\text{Ag}$, le $^{123\text{m}}\text{Te}$, et l' ^{131}I sont prépondérants. Le ^{55}Fe et le l' $^{108\text{m}}\text{Ag}$ 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 2019 ayant pu avoir une conséquence mesurable sur les niveaux d'activité des échantillons analysés dans le cadre du suivi.

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 ^{241}Am 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 ^{137}Cs 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 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (en diagnostic fonctionnel, période radioactive de 6,0067 heures [4]) et l' ^{131}I (en thérapie métabolique, période radioactive de 8,0233 jours [4]) représentent à eux seuls près de 99% de la radioactivité utilisée par les services de médecine nucléaire [23]. L' ^{131}I 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}I 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 10^3 à 10^4 [24]. En Basse-Normandie, quatre sites non électronucléaires (centres hospitaliers et le Grand Accélérateur National d'Ions Lourds à Caen) génèrent des déchets radioactifs (Figure 1 page 24), dans les agglomérations d'Avranches, de Cherbourg et de Caen, en « aval » du CNPE de Flamanville (sauf pour Avranches, situé en « amont ») et 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 déchets radioactifs (Figure 1 page 24), 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

24). Considérant les périodes radioactives du ^{99m}Tc et de ^{131}I , 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 apparaît 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 24 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 ^{14}C 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 ^{14}C est rejeté en milieu marin en grande majorité sous forme minérale dissoute [25] 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 [19]. 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 [25].

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 50^{ème} 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, telle 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 sinusoidale 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 24 ; [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.

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.

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.

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

4 ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE FLAMANVILLE

4.1 Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures

Le CNPE de Flamanville est situé en bord de mer, au pied du cap de Flamanville dans le nord-ouest du département de la Manche, à 5 km de la commune des Pieux et à une trentaine de kilomètres au sud-ouest de Cherbourg-Octeville (Figure 7 page 39). Le CNPE de Flamanville est proche de diverses installations nucléaires, toutes comprises dans un rayon de 30 km autour du site : l'usine de traitement du combustible usé d'ORANO La Hague, le centre de stockage de la Manche de l'ANDRA à Digulleville, et le Groupe d'Etude Atomique de la marine nationale à Cherbourg (Figure 1 page 24). L'environnement terrestre et marin du nord Cotentin est potentiellement soumis aux rejets d'effluents de chacune de ces installations. Le CNPE de Flamanville se compose de deux tranches de la filière des réacteurs à eau pressurisée (REP) de 1300 MWe chacune, couplées au réseau en décembre 1985 (INB n°108) et juillet 1986 (INB n°109). Un troisième réacteur de type EPR (INB n°167) y est actuellement en cours de construction.

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 intéressant l'environnement pour l'année 2019 ayant pu avoir une conséquence mesurable sur les niveaux d'activité des échantillons analysés dans le cadre du suivi.

La dispersion des effluents dans l'environnement est contrainte par les conditions météorologiques et hydrodynamiques propres au site. Les vents de secteur sud à ouest sont les plus fréquents. Les courants côtiers en Manche sont complexes. Devant le site de Flamanville, entre les îles Anglo-Normandes et la côte ouest du Cotentin, se forme un gyre anticyclonique⁴ de quelques dizaines de kilomètres de large au sein duquel sont effectués les rejets d'effluents liquides du CNPE de Flamanville et où est entraînée une partie des rejets d'effluents liquides des installations de l'usine d'ORANO La Hague.

La chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Flamanville est présentée sur la Figure 6 page 35. Les références bibliographiques sont présentées à la fin du rapport.

⁴ Un gyre est un très large tourbillon d'eau formé par un ensemble de courants marins sous l'action des vents. A cette échelle, le sens de rotation des gyres est dépendant de l'hydrodynamisme local et des courants résiduels de marée. Devant le CNPE de Flamanville, le gyre observé tourne dans le sens anticyclonique, c'est-à-dire dans le sens horaire.

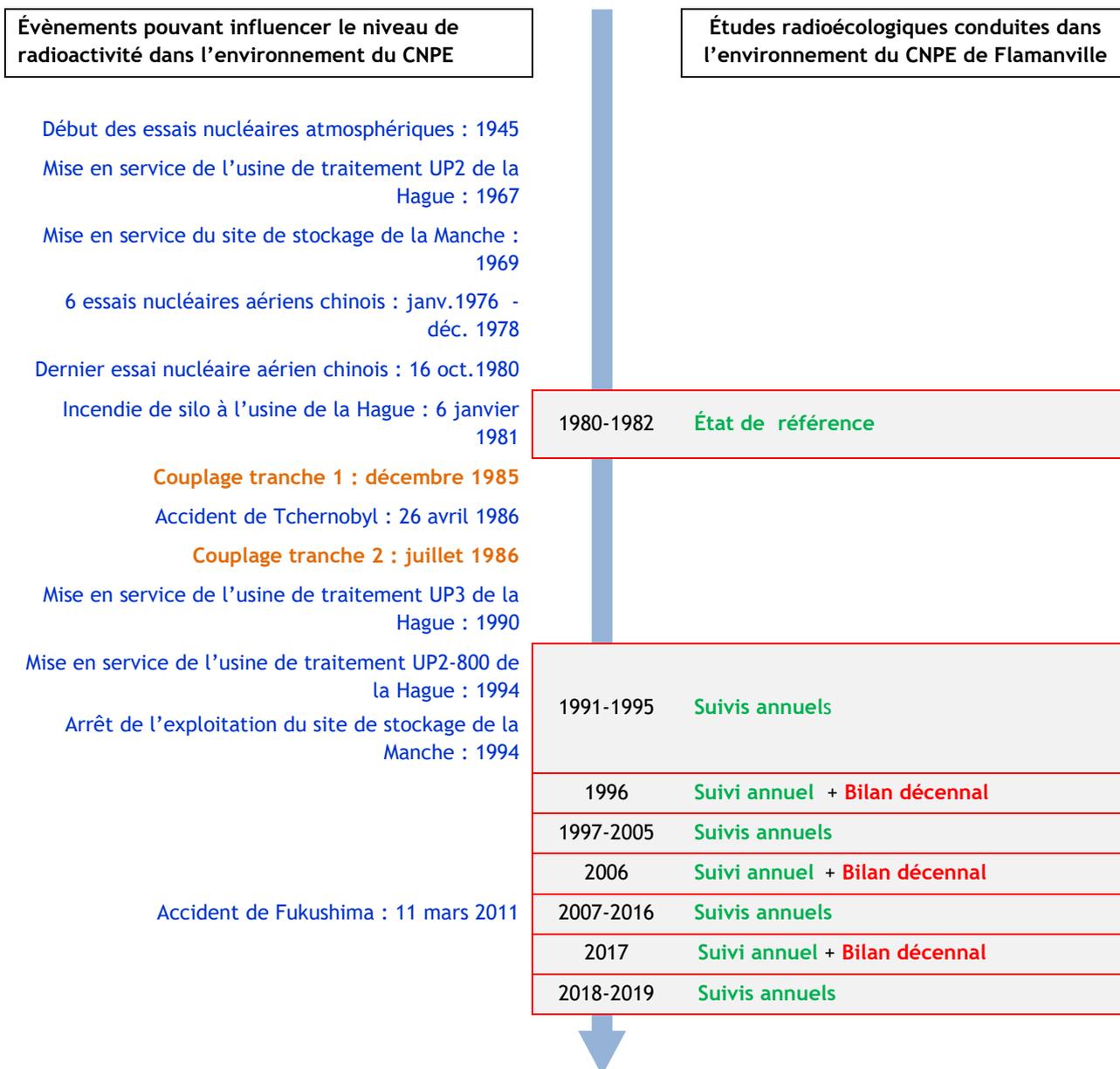


Figure 6 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Flamanville.

4.2 État radiologique de l'environnement terrestre

4.2.1 Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvements ainsi que la nature des échantillons collectés sont reportées sur la Figure 7 page 39. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 1 page 37 et suivante. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique des sols de pâturage échantillonnés sont présentées dans le Tableau 15 page 64.

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 potentielle des dépôts atmosphériques sur plusieurs années. Les échantillons sont, en dehors des indicateurs végétaux (mousses terricoles, herbe et lierre), des vecteurs directs ou indirects de radioactivité vers l'homme : le lait et des légumes-feuilles comme les salades. 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, dans la mesure du possible, 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. Du sol de prairie et une production agricole sont prélevés hors vents dominants.

Les stations de prélèvements ont été définies en fonction du régime éolien local, généralement dominé par les vents de secteur sud à ouest. La zone terrestre potentiellement la plus influencée par les rejets d'effluents à l'atmosphère se trouve dans le secteur est ou en champ proche (ZI ; Flamanville et Siouville-Hague). Les stations hors vents dominants sont situées dans le secteur sud-sud-est (ZNI ; Surtainville et Sortosville-en-Beaumont).

L'eau prélevée à Siouville provient d'un réseau d'eau potable distribuée par la communauté de communes des Pieux et dont le site de production est situé à Teurthéville-Hague. Ce réseau alimente les communes de Sotteville, Helleville, Héauville, Siouville-Hague, Benoistville, Tréauville, et Saint-Christophe-du-Foc. La distribution d'eau potable à Siouville exploite le captage des Tourelles. Il n'a pas été possible de trouver une nappe exploitée pour produire de l'eau potable ou d'irrigation qui soit sous l'influence de la nappe située sous le CNPE.

En 2019, comme cela est régulièrement le cas, l'analyse gamma demandée sur les feuilles de lierre échantillonnées en champ proche du CNPE a été reportée sur de l'herbe prélevée à la même station, du fait de la difficulté de récolter suffisamment de matière pour réaliser une analyse gamma en cendres sur le lierre. L'IRSN n'a rencontré aucune autre difficulté de prélèvement dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville.

Par rapport à l'année 2018, des analyses de tritium libre et organiquement lié ont été rajoutées sur la salade prélevée hors vents dominants, au titre des prescriptions réglementaires.

Tableau 1 - Identification des échantillons analysés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique de 2019 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Station	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
0,5 km ENE	Flamanville - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Flamanville	-01,87508	49,53765	Autres végétaux	Lierre <i>Hedera helix</i>	Feuilles annuelles	09/01/2019	Tritium lié + %H (sec)	3,21	-
0,5 km ENE	Flamanville - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Flamanville	-01,87508	49,53765	Autres végétaux	Lierre <i>Hedera helix</i>	Feuilles annuelles	09/01/2019	Tritium libre (liquide)	3,21	-
0,6 km S-E	Flamanville - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Flamanville	-01,87817	49,53263	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	14/05/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	3,98	15,00
4,0 km NE	Flamanville - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	-01,84225	49,56196	Légumes	Salades	Feuilles	18/09/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	10,98	6,45
4,0 km NE	Flamanville - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	-01,84225	49,56196	Légumes	Salades	Feuilles	18/09/2019	Tritium lié + %H (sec)	17,61	-
4,0 km NE	Flamanville - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	-01,84225	49,56196	Légumes	Salades	Feuilles	18/09/2019	Tritium libre (liquide)	17,61	-
4,0 km NE	Flamanville - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	-01,84225	49,56196	Légumes	Salades	Feuilles	18/09/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	17,61	-
4,8 km NE	Flamanville - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	-01,82621	49,56119	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	06/09/2019	Spectrométrie gamma (sec)	1,08	-
4,8 km NE	Flamanville - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	-01,82621	49,56119	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	06/09/2019	Granulométrie + MO (sec)	1,08	-
4,8 km NE	Flamanville - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	-01,82621	49,56119	Aliments liquides non transformés	Lait de vache	Entier	06/09/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	8,10	15,91
4,8 km NE	Flamanville - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	-01,82621	49,56119	Aliments liquides non transformés	Lait de vache	Entier	06/09/2019	Tritium lié + %H (sec)	7,16	-
4,8 km NE	Flamanville - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	-01,82621	49,56119	Aliments liquides non transformés	Lait de vache	Entier	06/09/2019	Tritium libre (liquide)	7,16	-
4,8 km NE	Flamanville - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	-01,82621	49,56119	Aliments liquides non transformés	Lait de vache	Entier	06/09/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	7,16	-
4,8 km NE	-	Siouville-Hague	-01,82621	49,56119	Eau douce	Eau de boisson	Filtrat à 0,20 µm	06/09/2019	Tritium libre (liquide)	-	-
5,6 km ENE	Flamanville - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Siouville-Hague	-01,81420	49,56391	Mousses terricoles	Polytric <i>Polytrichum species</i>	Entier	02/01/2019	Spectrométrie gamma (frais) + I-131	1,11	-
9,3 km SSE	Flamanville - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Surtainville	-01,82148	49,46346	Légumes	Salades	Feuilles	27/09/2019	Spectrométrie gamma (sec)	27,88	7,27

Situation par	Chronique	Station	Longitude	Latitude	Nature	Espèce	Fraction	Date de	Type de	Frais/	Sec/
---------------	-----------	---------	-----------	----------	--------	--------	----------	---------	---------	--------	------

rapport au CNPE			WGS 84	WGS 84				prélèvement	mesure	Sec	Cendres
9,3 km SSE	Flamanville - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Surtainville	-01,82148	49,46346	Légumes	Salades	Feuilles	27/09/2019	Tritium lié + %H (sec)	23,09	-
9,3 km SSE	Flamanville - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Surtainville	-01,82148	49,46346	Légumes	Salades	Feuilles	27/09/2019	Tritium libre (liquide)	23,09	-
9,3 km SSE	Flamanville - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Surtainville	-01,82148	49,46346	Légumes	Salades	Feuilles	27/09/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	23,09	-
16,5 km SE	Flamanville - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Sortosville-en-Beaumont	-01,72827	49,42704	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	10/05/2019	Spectrométrie gamma (sec)	1,25	-
16,5 km SE	Flamanville - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Sortosville-en-Beaumont	-01,72827	49,42704	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	10/05/2019	Granulométrie + MO (sec)	1,25	-

- : absence de traitement.

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

	Prélèvements hors vents dominants de l'installation
	Prélèvements sous les vents dominants de l'installation
	Prélèvements dans une nappe phréatique

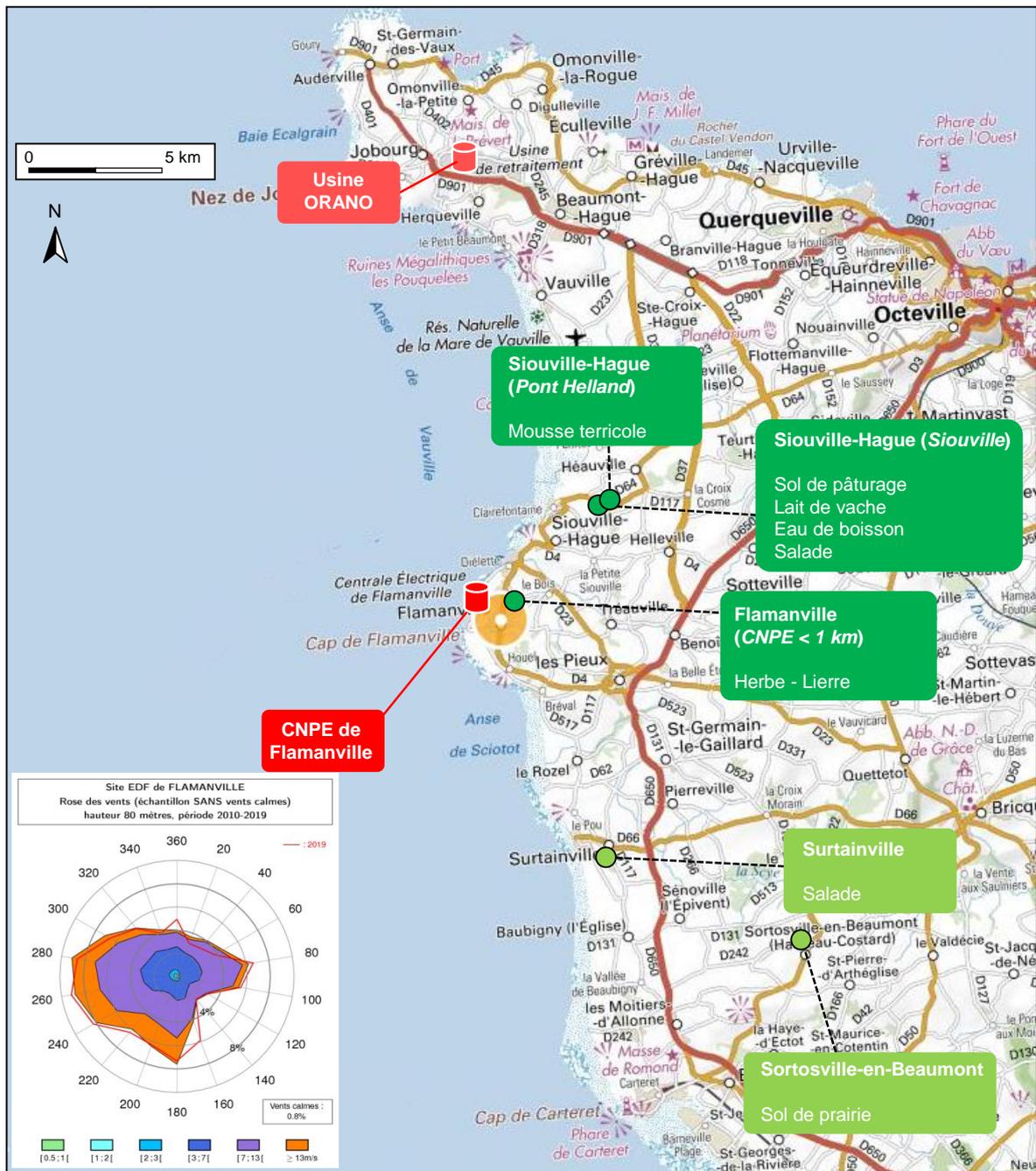


Figure 7 - Localisation du CNPE de Flamanville et des stations terrestres⁵ échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2019.

⁵ 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.

4.2.2 Résultats et interprétation

4.2.2.1 *Radionucléides émetteurs gamma*

4.2.2.1.1 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 Flamanville sont présentés au sein du Tableau 16 page 65.

En 2019, la radioactivité d'origine naturelle quantifiée dans les matrices terrestres environnant le CNPE de Flamanville 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 [3]. La radioactivité d'origine naturelle présente une composante tellurique prépondérante dans les sols et les végétaux. Elle a pour principale origine le ^{40}K et, dans une moindre mesure, les familles du ^{232}Th et de ^{238}U . Dans les sols, les activités massiques en ^{40}K , en fils du ^{232}Th et du ^{238}U sont en accord avec les valeurs observées en France métropolitaine [3, 26, 27]. 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 ^{40}K , 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. Enfin, ces résultats de mesure attestent de l'absence de biais dans les étapes de préparation et de mesure des échantillons.

4.2.2.1.2 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 Flamanville sont présentés au sein du Tableau 17 page 66.

Dans les sols, le seul radionucléide d'origine artificielle quantifié est le ^{137}Cs . Ce radionucléide est également quantifié dans les mousses, les salades et le lait, mais il ne l'est pas dans l'herbe. Les activités en ^{137}Cs détectées dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville en 2019 sont en accord avec les niveaux observés au cours des dix dernières années (Figure 8 page 41, et Tableau 3 à Tableau 9, pages 52 et suivantes) et au niveau 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 (Figure 8 page 41). Les analyses d' ^{131}I 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 γ détectées dans le cadre de cette étude ne mettent pas en évidence de marquage de l'environnement par les rejets d'effluents atmosphériques du CNPE.

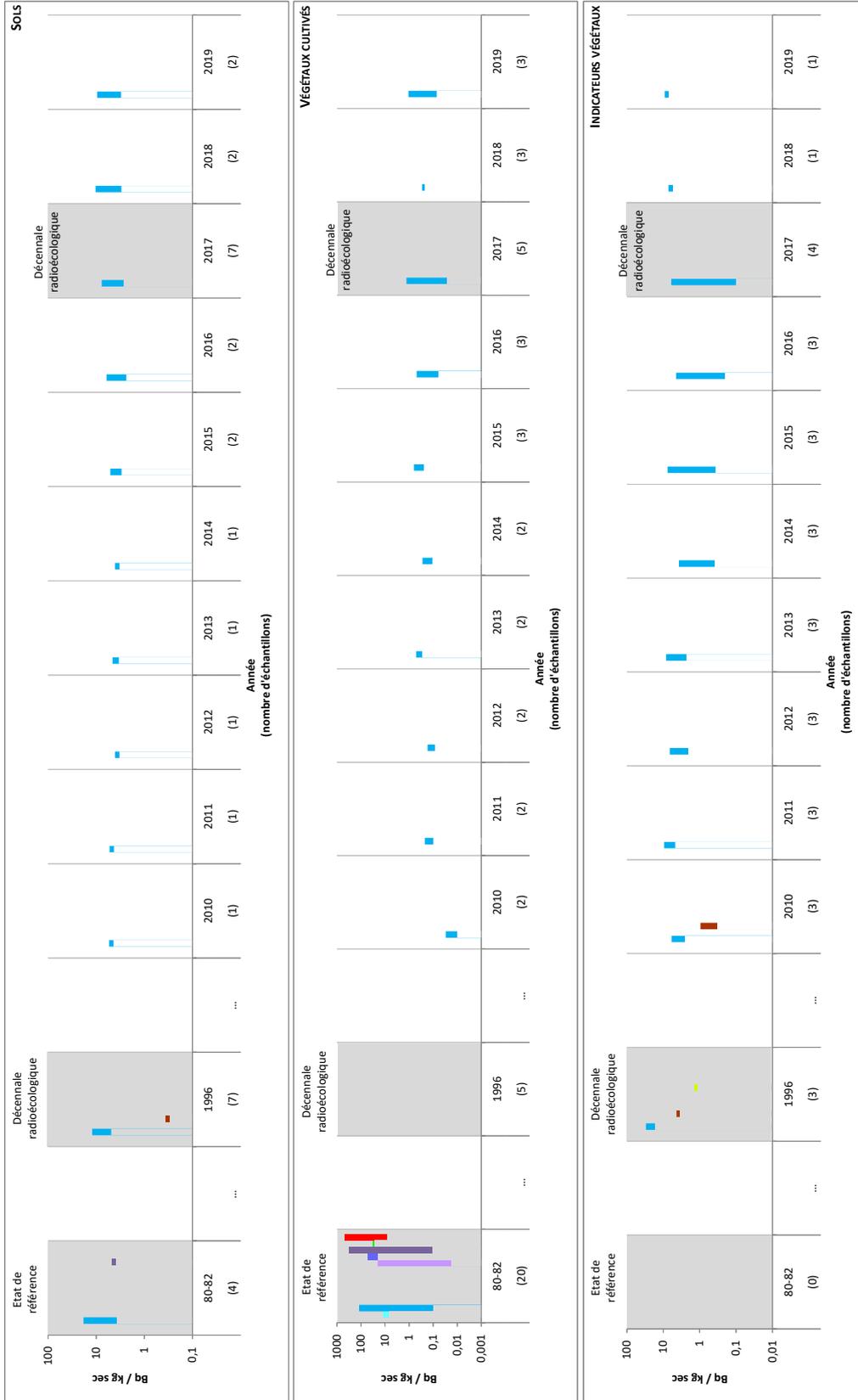


Figure 8 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des sols (cultivés et non cultivés), végétaux cultivés (herbe et légumes) et indicateurs végétaux (mousses et lichens) échantillonnés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville.

4.2.2.2 Radionucléides émetteurs bêta

4.2.2.2.1 Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville sont présentés au sein du Tableau 18 et du Tableau 19 page 67, respectivement.

Les activités en tritium sont proches du bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence d'un apport industriel local (1 à 3 Bq.L⁻¹, avec une valeur moyenne de 1,3 Bq.L⁻¹ d'après [3]) pour la salade, le lierre, le lait et l'eau de boisson ; et ne mettent pas en évidence d'apport local en champ proche du CNPE de Flamanville.

4.2.2.2.2 Carbone 14

Les résultats d'analyse des activités en ¹⁴C dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville sont présentés au sein du Tableau 20 page 68.

L'activité en ¹⁴C dans le lait échantillonné (243±12 Bq.kg⁻¹ C) est proche du bruit de fond sur le territoire métropolitain français hors influence industrielle locale (proche de 230 Bq.kg⁻¹ C d'après [3]), tandis qu'elle est supérieure à ce bruit de fond dans les salades échantillonnées en champ proche (266±13 Bq.kg⁻¹ C) et lointain (259±13 Bq.kg⁻¹ C) du CNPE de Flamanville. Ainsi, en se basant sur les résultats des années précédentes et de cette année, un apport local est mis en évidence pour les salades dans l'environnement du CNPE de Flamanville, sans que la contribution du CNPE ne soit démontrée.

4.3 État radiologique de l'environnement aquatique

4.3.1 Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvements ainsi que la nature des échantillons collectés sont reportées sur la Figure 9 page 46. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 2 page 44 et suivante. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique des sédiments échantillonnés sont présentées dans le Tableau 21 page 69. 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, d'algues et de mollusques (patelles) ont été effectués à la main, tandis que les prélèvements de poissons, de crustacés et de certains 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 (Flamanville et Barneville-Carteret). De même, des sédiments de granulométrie proche ont été recherchés afin de mieux comparer les résultats des différents points de prélèvement. Cependant, la configuration des plages locales n'a pas toujours rendu ces buts atteignables, notamment dans le port de Auderville, où seuls des sédiments relativement grossiers ont pu être récoltés. De même, comme en 2017 et en 2018, les sédiments collectés dans le Port de Barneville-Carteret sont plutôt grossiers en 2019, du fait de l'hydrodynamisme local durant les semaines ayant précédé le prélèvement.

Les stations de prélèvements ont été définies en fonction de l'hydrodynamisme local, dominé par le courant du Raz Blanchard au Nord du CNPE et par un gyre anticyclonique de quelques dizaines de kilomètres de large devant le site de Flamanville, entre les îles Anglo-Normandes et la côte ouest du Cotentin. 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 quotidiennement par ces rejets. A Flamanville, le champ proche désigne les stations situées à quelques kilomètres au nord et au sud du CNPE, soit de Dielette à Sciotot (Siouville-Hague, Tréauville, Flamanville). Il est à noter que cette zone est également influencée par les rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO la Hague proche du CNPE de Flamanville, qui induisent un marquage continu en tritium de l'ensemble du Golfe Normand-Breton de 1 à 10 Bq.L⁻¹ [1, 2]. 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 Flamanville, la zone d'excursion habituelle du panache de rejet modélisée sur la base des données de rejet d'effluents liquides de l'installation est plutôt située au sud du CNPE, et s'étend jusqu'au cap de Carteret. Néanmoins, la zone au nord du CNPE et le cap de Flamanville sont fortement influencés par les rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO la Hague, même si le marquage induit par le CNPE de Flamanville peut être comparable dans certaines circonstances. Plus au sud, le panache des rejets de l'usine ORANO La Hague dépasse rarement le Cap de Carteret [1, 2]. La zone définie comme en champ lointain pour le CNPE de Flamanville tient donc compte de cette double contrainte locale. Elle est ainsi située au sud du cap de Carteret, soit dans le port de Barneville-Carteret et à Saint-Georges-de-la-Rivière. Une autre zone en champ lointain est également définie, à proximité de l'usine ORANO, dans le Port de Auderville (Goury).

En 2019, comme en 2018, l'IRSN a rencontré des difficultés d'approvisionnement pour les prélèvements de poissons et de crustacés en champ lointain des rejets d'effluents liquides du CNPE de Flamanville, et les pêches prévues n'ont pas pu être réalisées, sans qu'aucune solution alternative ne puisse être trouvée. 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.

Par rapport à l'année 2018, la gamme des analyses réalisées au titre des prescriptions réglementaires sur les crustacés échantillonnés en champ proche et lointain a été étendue pour inclure désormais des analyses de ¹⁴C. Pour les mollusques échantillonnés en champ proche et lointain, les analyses de ¹⁴C effectuées en 2018 au titre du suivi annuel sont devenues réglementaires en 2019.

Tableau 2 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville en 2019 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Station	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
2 km O	Flamanville - Champ proche	Flamanville, au large	-01,89720	49,53830	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	03/07/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	3,82	10,07
2 km O	Flamanville - Champ proche	Flamanville, au large	-01,89720	49,53830	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	21/06/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	4,85	14,73
2 km O	Flamanville - Champ proche	Flamanville, au large	-01,89720	49,53830	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	21/06/2019	Tritium lié + %H (sec)	4,72	-
2 km O	Flamanville - Champ proche	Flamanville, au large	-01,89720	49,53830	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	21/06/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	4,72	-
2 km O	Flamanville - Champ proche	Flamanville, au large	-01,90982	49,53627	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Entier	03/07/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	2,26	1,69
2 km O	Flamanville - Champ proche	Flamanville, au large	-01,90982	49,53627	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Chair	03/07/2019	Tritium lié + %H (sec)	5,02	-
2 km O	Flamanville - Champ proche	Flamanville, au large	-01,90982	49,53627	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Chair	03/07/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	5,02	-
2,1 km NE	Flamanville - Champ proche	Flamanville	-01,86802	49,54899	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	16/05/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	4,02	3,64
2,7 km NE	Flamanville - Champ proche	Flamanville	-01,86008	49,55094	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	21/01/2019	Spectrométrie gamma (sec)	2,17	-
2,7 km NE	Flamanville - Champ proche	Flamanville	-01,86008	49,55094	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	21/01/2019	Granulométrie + MO (sec)	2,17	-
2,9 km NE	Flamanville - Champ proche	Tréauville	-01,86149	49,55450	Mollusques	Patelle <i>Patella species</i>	Chair	21/01/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	5,89	4,34
2,9 km NE	Flamanville - Champ proche	Tréauville	-01,86149	49,55450	Mollusques	Patelle <i>Patella species</i>	Chair	21/01/2019	Tritium lié + %H (sec)	5,53	-
2,9 km NE	Flamanville - Champ proche	Tréauville	-01,86149	49,55450	Mollusques	Patelle <i>Patella species</i>	Chair	21/01/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	5,53	-
3,5 km NE	Flamanville - Champ proche	Siouville-Hague	-01,85642	49,55916	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	21/01/2019	Spectrométrie gamma (frais) + I-131	4,36	-
3,5 km NE	Flamanville - Champ proche	Siouville-Hague	-01,85642	49,55916	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	21/01/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	4,36	3,87
3,5 km NE	Flamanville - Champ proche	Siouville-Hague	-01,85642	49,55916	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	21/01/2019	Tritium lié + %H (sec)	4,22	-
3,5 km NE	Flamanville - Champ proche	Siouville-Hague	-01,85642	49,55916	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	21/01/2019	Tritium libre (liquide)	4,22	-
3,5 km NE	Flamanville - Champ proche	Siouville-Hague	-01,85642	49,55916	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	21/01/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	4,22	-
3,5 km NE	Flamanville - Champ proche	Siouville-Hague	-01,85642	49,55916	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	21/01/2019	Fer-55 (cendres)	4,36	3,87

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Station	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
3,5 km NE	Flamanville - Champ proche	Siouville-Hague	-01,85642	49,55916	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	21/01/2019	Nickel-63 + stable (cendres)	4,36	3,87
20,3 km NNO	Flamanville - Champ lointain ss influence EDF et ORANO	Auderville	-01,94550	49,71399	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	16/05/2019	Spectrométrie gamma (sec)	1,32	-
20,3 km NNO	Flamanville - Champ lointain ss influence EDF et ORANO	Auderville	-01,94550	49,71399	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	16/05/2019	Granulométrie + MO (sec)	1,32	-
19,1 km SSE	Flamanville - Champ lointain	Barneville-Carteret	-01,78365	49,37671	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	22/01/2019	Spectrométrie gamma (sec)	1,42	-
19,1 km SSE	Flamanville - Champ lointain	Barneville-Carteret	-01,78365	49,37671	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	22/01/2019	Granulométrie (sec)	1,42	-
22,8 km SSE	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75790	49,34769	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	22/01/2019	Spectrométrie gamma (frais) + I-131	4,49	-
22,8 km SSE	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75790	49,34769	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	22/01/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	4,49	4,04
22,8 km SSE	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75790	49,34769	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	22/01/2019	Tritium lié + %H (sec)	4,50	-
22,8 km SSE	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75790	49,34769	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	22/01/2019	Tritium libre (liquide)	4,50	-
22,8 km SSE	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75790	49,34769	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	22/01/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	4,50	-
22,8 km SSE	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75790	49,34769	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	22/01/2019	Fer-55 (cendres)	4,49	4,04
22,8 km SSE	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75790	49,34769	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	22/01/2019	Nickel-63 + stable (cendres)	4,49	4,04
22,8 km SSE	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75790	49,34769	Mollusques	Patelle <i>Patella species</i>	Chair	22/01/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	6,46	3,00
22,8 km SSE	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75790	49,34769	Mollusques	Patelle <i>Patella species</i>	Chair	22/01/2019	Tritium lié + %H (sec)	5,75	-
22,8 km SSE	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75790	49,34769	Mollusques	Patelle <i>Patella species</i>	Chair	22/01/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	5,75	-

- : 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 lointain et sous influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE et située à proximité de l'usine ORANO
Prélèvements en champ proche et sous influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE

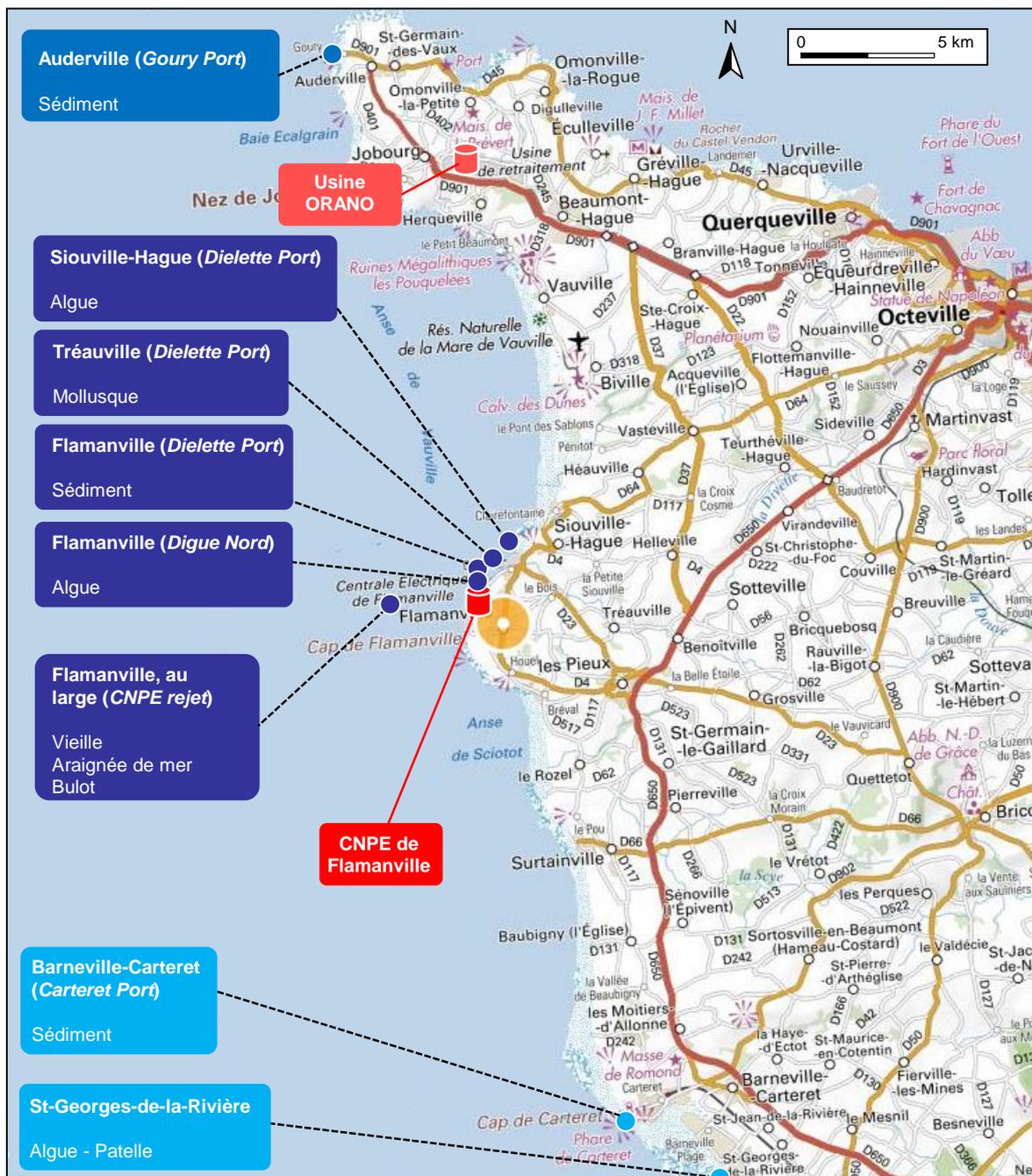


Figure 9 - Localisation du CNPE de Flamanville et des stations marines⁶ échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2019.

⁶ 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). Bleu moyen : station en champ lointain et sous influence potentielle des rejets d'effluents liquides du CNPE, ainsi qu'à proximité de l'usine ORANO La Hague (CL). Les anciens noms des stations (jusqu'en 2018) sont indiqués en italique lorsqu'ils diffèrent de la nomenclature actuelle.

4.3.2 **Résultats et interprétation**

4.3.2.1 **Radionucléides émetteurs gamma**

4.3.2.1.1 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 Flamanville sont présentés au sein du Tableau 22 page 70.

En 2019, la radioactivité d'origine naturelle détectée dans les matrices marines environnant le CNPE de Flamanville 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 ^{40}K est le radionucléide prépondérant en termes d'activité. Les activités en ^{40}K 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, les algues et les mollusques, ainsi que dans les sédiments ; à des teneurs plus élevées dans les algues du fait de leur capacité à capter les aérosols, et dans les sédiments fins, aptes à retenir les radionucléides. 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.

4.3.2.1.2 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 Flamanville sont présentés au sein du Tableau 23 page 71.

La radioactivité d'origine artificielle au sein des sédiments et des organismes marins végétaux et animaux est essentiellement imputable au ^{137}Cs et au ^{60}Co , et dans une moindre mesure, à l' $^{108\text{m}}\text{Ag}$, à l' $^{110\text{m}}\text{Ag}$, au ^{241}Am , et au ^{131}I . Le ^{137}Cs est le plus fréquemment quantifié (8 fois sur 11 échantillons analysés). Comme ils le furent occasionnellement au cours de la dernière décennie, l' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et l' $^{108\text{m}}\text{Ag}$ sont détectés dans l'environnement marin en champ proche du CNPE de Flamanville (1 fois et 3 fois respectivement sur les 11 échantillons analysés, dans les mollusques en champ proche pour le $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et en champ proche et lointain pour le $^{108\text{m}}\text{Ag}$) à des niveaux proches du seuil de décision. Le ^{60}Co est détecté dans 6 des 11 échantillons (un sédiment, une algue et un mollusque en champ proche, un sédiment et une algue en champ lointain), à des niveaux plus élevés dans les bulots en champ proche. L' ^{131}I recherché dans les algues est détecté en champ proche. Les mollusques restent les matrices au sein desquelles la plus grande diversité de radionucléides émetteurs gamma est quantifiée, avec la présence de ^{137}Cs , de ^{60}Co , $^{108\text{m}}\text{Ag}$, $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et ^{241}Am . Les résultats de mesure par spectrométrie gamma obtenus en 2019 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 Flamanville (Figure 10 page 48 et Figure 11 page 49, et Tableau 10 à Tableau 14, pages 59 et suivantes).

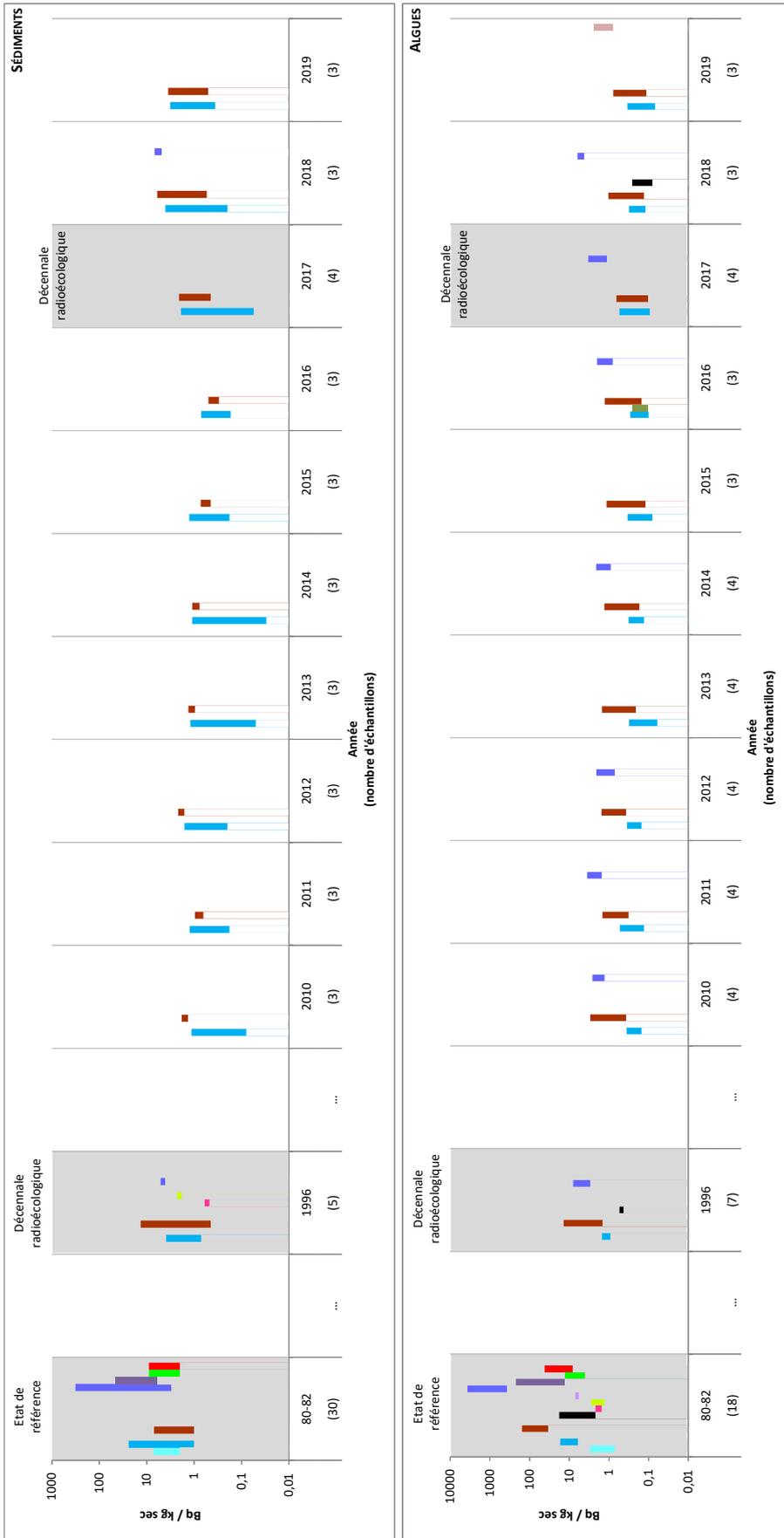


Figure 10 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des sédiments et des algues échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville.

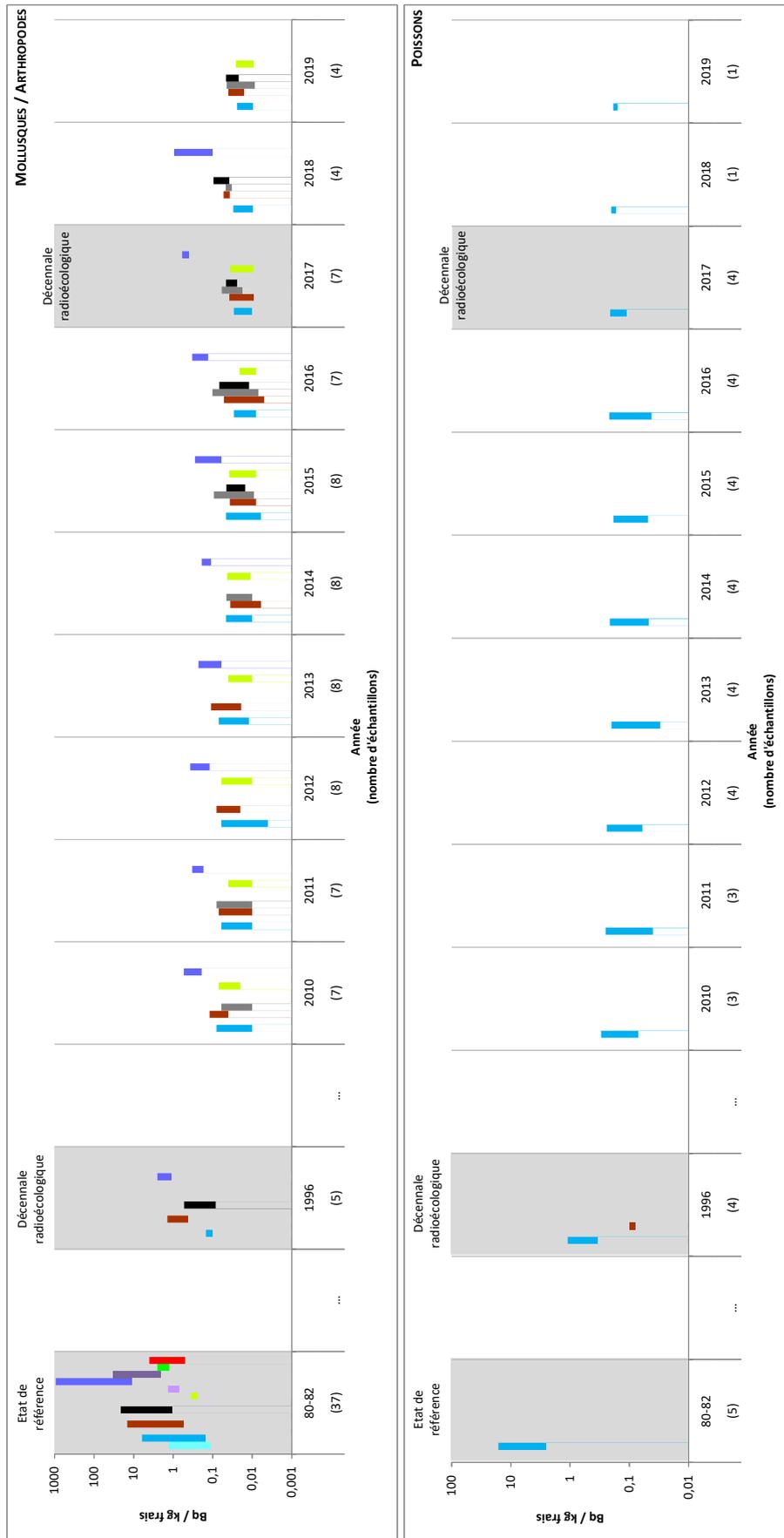


Figure 11 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des mollusques et crustacés et des poissons échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville

4.3.2.2 Radionucléides émetteurs bêta

4.3.2.2.1 Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville sont présentés au sein du Tableau 24 et du Tableau 25 page 72, respectivement.

Les activités en tritium libre et lié dans les échantillons prélevés en champ lointain ($1,9 \pm 0,6$ à $3,8 \pm 0,8$ Bq.L⁻¹, toutes matrices confondues) 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 [18, 28]). Elles sont majoritairement imputables à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague. En champ proche, les activités en tritium libre et organiquement lié ($4,6 \pm 0,7$ à $13,2 \pm 1,2$ Bq.L⁻¹, toutes matrices confondues) sont légèrement plus élevées qu'en champ lointain. Cette observation, cohérente avec les valeurs observées au cours de la dernière décennie, témoigne d'un marquage par les rejets liquides du CNPE pour ce radionucléide.

4.3.2.2.2 Carbone 14

Les résultats d'analyse des activités en ¹⁴C dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville sont présentés au sein du Tableau 26 page 73.

Les activités en ¹⁴C quantifiées au sein des algues, des patelles et des poissons échantillonnés en champ proche et en champ lointain des rejets d'effluents liquides du CNPE de Flamanville sont supérieures au bruit de fond en ¹⁴C observé hors influence dans les matrices biologiques collectées en entrée de Manche (240 ± 2 Bq.kg⁻¹ C d'après [29]). Elles sont cependant cohérentes avec les valeurs moyennes enregistrées par le passé du fait du marquage global par les INB de la Manche [29], et notamment de la proximité de l'usine ORANO La Hague. Ce marquage en ¹⁴C est plus prononcé au voisinage du point des rejets d'effluents liquides du CNPE de Flamanville pour les algues et les mollusques échantillonnés en 2019, qui témoignent d'une contribution des rejets liquides du CNPE.

4.3.2.2.3 Nickel 63 et Fer 55

Les résultats d'analyse des activités en ⁶³Ni et en ⁵⁵Fe dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville sont présentés au sein du Tableau 27 et du Tableau 28 page 74, respectivement.

Le ⁶³Ni est détectable dans les algues en champ proche et lointain des rejets d'effluents liquides du CNPE de Flamanville, avec une activité plus importante en champ proche qu'en champ lointain. Les activités mesurées sont dans la même gamme que les valeurs mesurées depuis 2017.

Le ⁵⁵Fe, recherché dans les algues, n'y est pas décelable en 2019. 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.

4.4 Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Flamanville

Les niveaux d'activités des radionucléides naturels détectés en 2019 dans l'environnement du CNPE de Flamanville sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés depuis l'instauration des suivis radioécologiques. Le ^{40}K est le radionucléide d'origine naturelle prépondérant dans tous les échantillons.

La radioactivité gamma d'origine artificielle du milieu terrestre est exclusivement imputable au ^{137}Cs , présent dans le sol, la mousse terrestre, la salade, l'herbe et le lait échantillonnés. 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 le Cotentin. La dispersion de ^{137}Cs depuis le milieu marin vers l'environnement terrestre via les aérosols marins 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. Les activités en tritium libre et organiquement lié ne mettent pas en évidence de marquage lié aux rejets d'effluent à l'atmosphère. L'activité en ^{14}C dans les salades en champ proche et lointain est significativement supérieure au bruit de fond sur le territoire français hors influence industrielle (proche de $230 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ d'après [3]), tandis qu'elle est proche du bruit de fond dans le lait.

En 2019, les diverses matrices sédimentaires et biologiques collectées dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville sont régulièrement marquées par le ^{137}Cs . À une fréquence moindre, d'autres radionucléides artificiels sont également quantifiés dans les sédiments (^{60}Co), les algues (^{60}Co et ^{131}I) et les mollusques (^{60}Co , $^{108\text{m}}\text{Ag}$, $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et ^{241}Am). Outre la rémanence des retombées atmosphériques globales dans le cas du ^{137}Cs , les radionucléides artificiels quantifiés dans les matrices marines ont pour la plupart une double origine : les rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague et ceux du CNPE de Flamanville (hormis pour le ^{241}Am , présent uniquement dans les rejets de l'usine ORANO La Hague). L' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et le $^{108\text{m}}\text{Ag}$, sont quantifiés en champ proche, dans les algues, les patelles et les bulots, ainsi qu'en champ lointain dans les patelles. Il est à noter que le $^{108\text{m}}\text{Ag}$ ne fait pas partie des radionucléides les plus représentés dans les rejets d'effluents radioactifs liquides des CNPE, même s'il peut toutefois être ponctuellement présent. L' ^{131}I est détecté dans les algues mesurées à l'état frais en champ proche du CNPE. L'origine de ce marquage en ^{131}I au sein des algues est incertaine, mais peut être liée aux rejets d'effluents liquides du CNPE de Flamanville (0,92 MBq d'iodes rejetés par le CNPE de Flamanville au cours des 3 semaines précédant le prélèvement ; données EDF). Il est également possible que ce marquage en iode radioactif relève d'un événement local, possiblement par les urines d'un patient traité en médecine nucléaire, bien qu'il n'y ait pas de centre de médecine nucléaire proche de Flamanville. Les niveaux d'activité en radionucléides artificiels émetteurs gamma quantifiés dans l'environnement marin proche du CNPE de Flamanville, notamment dans les produits de consommation (bulots, arthropode et poissons) restent très faibles. Les activités en tritium libre et organiquement lié dans les différents échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville 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. Par ailleurs, le contexte régional (concentration d'industries nucléaires dans un rayon proche du CNPE) et hydrologique du nord-Cotentin rend difficile une discrimination du marquage spécifique par les rejets du CNPE de Flamanville sur l'environnement marin. Les activités en tritium libre et organiquement lié restent toutefois plus élevées en champ proche qu'en champ lointain. La contribution spécifique du CNPE de Flamanville au marquage par le ^{14}C des matrices marines est également décelable à proximité de l'exutoire de ses effluents liquides [29], dans les algues et les mollusques.

4.5 Tableaux de résultats

Tableau 3 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2,5 km	5,0 km	0,7 et 18 km	0,7 et 18 km	0,7 à 18 km	4,8 et 16,5 km	4,8 et 16,5 km				
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	5,4 (1/1)	4,9 (1/1)	4,8 (1/1)	3,7 (1/1)	4,0 (1/1)	3,7 (1/1)	3,3-4,6 (2/2)	2,7-5,6 (2/2)	2,9-7,1 (7-7)	3,3-9,5 (2/2)	3,4-8,9 (2/2)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.						

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

Tableau 4 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	1,4 et 6,0 km	1,4 et 6,0 km	6,0 et 7,0 km	6,0 et 7,0 km	6,0 et 7,0 km	6,0 et 7,0 km	6,0 et 7,0 km	6,0 et 7,0 km	6,0 à 14,3 km	6,0 km	5,6 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	7-12 (2/2)	3-5 (2/2)	6-9 (2/2)	3,1-3,6 (2/2)	3,8-6,0 (2/2)	0,66-0,90 (2/2)	0,80-1,40 (2/2)	0,90-1,30 (2/2)	0,50-2,57 (4/4)	6,3 (1/1)	8,1 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

Tableau 5 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2,5 km	2,5 km	2,5 km	2,5 km	2,9 km	4,0 et 5,0 km	0,7 km	0,7 km	0,7 à 18,0 km	0,7 km	0,6 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	-	0,2 (1/1)	-	0,1 (1/1)	-	0,15 (1/1)	0,35 (1/1)	0,09 (1/1)	0,05-0,06 (2/3)	0,254 (1/1)	-
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2,5 km	2,5 km	2,5 km	2,5 km	2,9 km	4,0 et 5,0 km	0,7 km	0,7 km	0,7 à 18,0 km	0,7 km	0,6 km
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C)											
³ H libre	-	-	-	-	-	-	2,6 (1/1)	7,2 (1/1)	0,9-8,8 (2/2)	n.a.	n.a.
³ H lié	-	-	-	-	-	-	-	-	1,4-5,2 (2/2)	n.a.	n.a.
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	235 (1/1)	243 (1/1)	239 (1/1)	261 (1/1)	264 (1/1)	243-282 (2/2)	n.a.	n.a.

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

Tableau 6 - Activités en radionucléides émetteurs β au sein d'échantillons de lierre collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	-	-	-	-	-	-	0,7 km	0,7 km	0,7 et 18 km	0,5 km	0,5 km
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)											
^3H libre	n.a.	6,0 (1/1)	1,8-9,3 (2/2)	3,5 (1/1)	2,4 (1/1)						
^3H lié	n.a.	n.a.	1,3-6,3 (2/2)	3,5 (1/1)	2,9 (1/1)						
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	235-245 (4/4)	239-245 (4/4)	236-259 (6/6)	234-245 (4/4)	241-248 (4/4)

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

Tableau 7 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de légumes (salades ou chou ou betterave) collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2,5 km	2,5 km	2,5 km	2,5 km	4,0 km	4,0 km	4,0 et 12,0 km	4,0 et 12,0 km	4,0 et 12,0 km	4,0 et 9,2 km	4,0 et 9,3 km
Nature	Chou	Betterave	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	-	0,22 (1/1)	-	-	0,4 (1/1)	0,19 (1/1)	0,29-0,54 (2/2)	0,41 (1/2)	1,16 (1/2)	-	0,12-0,95 (2/2)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2,5 km	2,5 km	2,5 km	2,5 km	4,0 km	4,0 km	4,0 et 12,0 km	4,0 et 12,0 km	4,0 et 12,0 km	4,0 et 9,2 km	4,0 et 9,3 km
Nature	Chou	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)											
³ H libre	-	-	-	-	-	-	2,5 (1/1)	2,7 (1/1)	1,7-2,1 (2/2)	1,5 (1/1)	1,9-2,0 (2/2)
³ H lié	-	-	-	-	-	-	2,6 (1/1)	2,4 (1/1)	1,7-2,8 (2/2)	1,7 (1/1)	2,7-3,0 (2/2)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	230-237 (2/2)	243-244 (2/2)	245-247 (2/2)	233-237 (2/2)	259-266 (2/2)

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

Tableau 8 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	1,5 km	2,5 km	2,5 km	2,5 km	5,0 km	5,0 km	5,0 km	5,0 km	5,0 et 6,7 km	4,8 km	4,8 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.L ⁻¹)											
¹³⁴ Cs	-	-	0,01 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,035 (1/1)	0,013 (1/1)	0,02 (1/1)	0,020 (1/1)	0,006 (1/1)	0,010 (1/1)	0,004 (1/1)	0,006 (1/1)	0,003-0,007 (2/2)	0,005 (1/1)	0,005 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	1,5 km	2,5 km	2,5 km	2,5 km	5,0 km	5,0 km	5,0 km	5,0 km	5,0 et 6,7 km	4,8 km	4,8 km
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C)											
³ H libre	1,6 (1/1)	1,1 (1/1)	1,0 (1/1)	1,3 (1/1)	1,1 (1/1)	0,8 (1/1)	0,7 (1/1)	0,8 (1/1)	1,0-1,3 (2/2)	1,7 (1/1)	1,2 (1/1)
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	1,4 (1/1)	1,4 (1/1)	2,3 (1/1)	1,1 (1/1)	1,8 (1/1)	1,4-1,5 (2/2)	0,9 (1/1)	1,4 (1/1)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	237-239 (4/4)	235-246 (4/4)	235-241 (2/2)	241 (1/1)	243 (1/1)

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

Tableau 9 - Activités en radionucléides émetteurs β au sein d'échantillons d'eau de boisson collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2,5 km	2,5 km	2,5 km	2,5 km	4,0 km	5,0 km	5,0 km	5,0 km	5,0 km	4,8 km	4,8 km
Émetteurs β (^3H libre : Bq.L ⁻¹)											
^3H libre	1,0 (1/1)	0,9 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9 (1/1)

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

Tableau 10 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	3 à 20 km	3 à 20 km	3 à 20 km	3 à 20 km	3 à 20 km	3 à 20 km	3 à 20 km	3 à 20 km	3 à 20 km	2,2 à 20,3 km	2,7 à 20,3 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,31-1,3 (2/3)	0,13-1,0 (3/3)	0,26-1,10 (2/3)	0,30-1,42 (3/3)	0,11-1,06 (3/3)	0,11-0,97 (3/3)	0,26-1,13 (2/3)	0,24-0,64 (2/3)	0,09-1,72 (4/4)	0,27-3,72 (3/3)	0,44-2,94 (3/3)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	2,6 (1/3)	1,6 (1/3)	0,8 (1/3)	1,9 (1/3)	1,1 (1/3)	0,93 (1/3)	0,59 (1/3)	0,40 (1/3)	0,57-1,83 (3/4)	0,66-5,40 (2/3)	0,62-3,14 (2/3)
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,8 (1/3)	-
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	n.a.	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 11 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	0,8 à 20 km	1,5 à 25 km	1,5 à 25 km	1,5 à 25 km	0,5 à 25 km	0,5 à 25 km	3 à 25 km	3 à 25 km	3 à 25 km	1,6 à 22,8 km	2,1 à 22,8 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,27-0,37 (4/4)	0,24-0,29 (4/4)	0,21-0,43 (4/4)	0,21-0,27 (4/4)	0,14-0,24 (4/4)	0,21-0,25 (4/4)	0,14-0,26 (3/3)	0,17-0,23 (3/3)	0,15-0,44 (4/4)	0,18-0,24 (2/3)	0,15-0,27 (2/3)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	0,18 (1/3)	-	-	-
⁶⁰ Co	1,2-2,9 (4/4)	0,5-2,6 (4/4)	0,5-1,2 (4/4)	0,5-1,3 (4/4)	0,3-1,3 (4/4)	0,10-0,71 (4/4)	0,24-0,96 (2/3)	0,27-1,10 (3/3)	0,18-0,50 (4/4)	0,23-0,88 (3/3)	0,21-0,36 (2/3)
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17 (1/3)	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	2-3,1 (2/4)	1,9 (1/4)	2,5 (1/4)	1,4 (1/4)	-	1,5 (1/4)	-	1,4 (1/3)	2,1-2,7 (2/4)	5,2 (1/3)	-
²⁴¹ Am	0,2 (1/4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,57 (1/2)

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	0,8 à 20 km	1,5 à 25 km	1,5 à 25 km	1,5 à 25 km	0,5 à 25 km	0,5 à 25 km	3 et 25 km	3 et 25 km	3 à 25 km	3,1 et 22,8 km	2,1 à 22,8 km
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,7-7,3 (2/2)	1,8-4,1 (2/2)	3,3-8,5 (3/3)	2,0-4,4 (2/2)	1,9-4,6 (2/2)
³ H lié	n.a.	n.a.	3,7-10,8 (3/3)	3,9-7,8 (2/2)	3,8-11,0 (2/2)						
¹⁴ C	n.a.	n.a.	285-513 (3/3)	289-484 (2/2)	281-459 (2/2)						

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

Tableau 12 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2 à 25 km	2 à 25 km	2 à 25 km	2 à 25 km	2 à 25 km	2 à 25 km	2 à 25 km	2 à 25 km	2 à 25 km	2,0 à 22,8 km	2,0 à 22,8 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ frais)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,015-0,040 (4/4)	0,02-0,07 (4/4)	0,02-0,03 (3/5)	0,01-0,03 (3/5)	0,02 (2/5)	0,016-0,031 (4/5)	0,009-0,030 (4/4)	0,012-0,013 (3/4)	0,016-0,024 (5/5)	0,013-0,022 (3/3)	0,017 (1/3)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	0,05-0,16 (4/4)	0,06-0,09 (4/4)	0,05 (1/5)	0,03-0,06 (4/5)	0,03-0,04 (4/5)	0,017-0,029 (4/5)	0,027-0,030 (2/4)	0,009-0,041 (3/4)	0,017-0,041 (5/5)	0,045 (1/3)	0,028 (1/3)
^{110m} Ag	0,019 (1/4)	-	-	-	-	-	0,020-0,021 (2/4)	0,025-0,039 (3/4)	0,035-0,059 (4/5)	0,049-0,083 (2/3)	0,034 (1/3)
^{108m} Ag	0,011-0,060 (4/4)	0,02-0,05 (2/4)	0,02-0,06 (2/5)	-	-	0,019-0,029 (2/5)	0,015-0,032 (4/4)	0,011-0,088 (3/4)	0,024-0,051 (2/5)	0,040 (1/3)	0,016-0,033 (3/3)
¹⁰⁶ Ru/Rh	0,6-0,8 (3/4)	0,26-0,44 (3/4)	0,25 (1/5)	0,18-0,27 (2/5)	0,12-0,16 (3/5)	0,15 (1/5)	0,16-0,23 (2/4)	0,19-0,28 (2/4)	0,13-0,77 (4/5)	0,19-0,82 (3/3)	-
²⁴¹ Am	0,014-0,030 (3/4)	0,03-0,06 (2/4)	0,02 (1/5)	0,02 (2/5)	0,02-0,03 (2/5)	0,021-0,023 (2/5)	0,012-0,032 (2/4)	0,013-0,017 (2/4)	0,016-0,030 (3/5)	-	0,018 (1/3)

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2 à 25 km	2 à 25 km	3 et 25 km	2 à 25 km	2,5 et 22,8 km	2,0 à 22,8 km					

Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)

³ H libre	n.a.	n.a.	2,2-11,2 (2/2)	2,3-14,7 (2/2)	2,0-2,5 (2/2)	2,7-16,2 (2/2)	2,5-8,1 (2/2)	2,4-2,6 (2/2)	2,9-8,2 (2/2)	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	2,3-8,8 (2/2)	3,7-8,1 (2/2)	2,6-11,2 (2/2)	3,3-8,8 (2/2)	3,8-7,8 (2/2)	2,4-10,1 (4/4)	3,2-8,5 (2/2)	3,3-9,9 (2/2)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	287-482 (2/2)	290-470 (2/2)	281-468 (2/2)	281-496 (2/2)	289-525 (2/2)	291-543 (4/4)	293-471 (2/2)	293-491 (2/2)

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	2 km	2 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ frais)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,039 (1/4)	0,04 (1/3)	0,05 (1/3)	0,04 (1/3)	0,04-0,05 (2/3)	0,038 (1/3)	0,040 (1/3)	0,023 (1/3)	-	-	0,022 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	0,03-0,70 (3/4)	0,11 (1/3)	0,02 (1/3)	0,05 (1/3)	0,07 (1/3)	0,02 (1/3)	0,015 (1/3)	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	0,035 (1/3)	0,046 (1/3)	-	-	-
^{108m} Ag	0,014 (1/4)	0,04 (1/3)	0,02 (1/3)	-	-	0,034 (1/3)	0,080 (1/3)	0,018 (1/3)	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	0,11 (1/3)	-	-	-	-
²⁴¹ Am	0,06 (1/4)	-	0,01 (1/3)	0,05 (1/3)	-	0,035 (1/3)	0,013 (1/3)	0,016 (1/3)	-	-	-
<hr/>											
Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	2 km	2 km
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	6,1-7,3 (2/2)	8,1-10,10 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	4,8-12,0 (2/2)	5,2-12,1 (2/2)	9,4-13,0 (2/2)	7,1 (1/1)	8,2 (1/1)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	377 (1/1)

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	2 km	2 km					
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ frais)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,09-0,28 (3/3)	0,08-0,27 (3/3)	0,06-0,23 (4/4)	0,06-0,22 (3/3)	0,04-0,18 (4/4)	0,056-0,193 (4/4)	0,06-0,17 (4/4)	0,05-0,19 (4/4)	0,13-0,19 (2/2)	0,184 (1/1)	0,172 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{108m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<hr/>											
Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	2 km	2 km					
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)											
³ H libre	3,8-22,0 (3/3)	7,0-23,9 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	4,9-12,8 (2/2)	13,1-19,8 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	5,3-11,6 (2/2)	11,3-17,1 (2/2)	4,4-13,2 (2/2)	14,3 (1/1)	13,2 (1/1)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	320-550 (2/2)	292-437 (2/2)	347-548 (2/2)	505 (1/1)	590 (1/1)

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

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 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Frais/sec	Fractions	%
Flamanville - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Siouville	06/09/2019	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie <i>0 - 5 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	21/10/2019	sec	1,08	Matière organique	5,0±0,1
									Argile (< 2µm)	7,0±0,2
									Limons fins	12,2±0,3
									Limons grossiers	21,3±0,5
									Sables fins	24,6±0,4
									Sables grossiers	34,9±0,5
Flamanville - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Sortosville-en-Beaumont	10/05/2019	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie <i>0 - 5 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	21/10/2019	sec	1,25	Matière organique	11,8±0,2
									Argile (< 2µm)	12,8±0,2
									Limons fins	19,3±0,4
									Limons grossiers	28,9±0,6
									Sables fins	19,8±0,4
									Sables grossiers	19,2±0,4

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

	Prélèvements hors vents dominants de l'installation
	Prélèvements sous les vents dominants de l'installation
	Prélèvements d'eau

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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sols et les végétaux, $Bq.L^{-1}$ pour le lait).

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{40}K	Famille du ^{232}Th	Famille de ^{238}U			7Be
										^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Flamanville - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Sortosville-en-Beaumont	10/05/2019	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	sec	1,25	19/11/2019	570±50	47,0±6,0	n.a.	39±12	n.a.	≤ 15
Flamanville - zi proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	06/09/2019	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	sec	1,08	07/11/2019	468±41	33,5±4,0	n.a.	≤ 17	n.a.	≤ 9,0
Flamanville - zi proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	18/09/2019	Légumes	Salades	Feuilles	cendre	10,98	09/12/2019	1 390±140	0,93±0,28	≤ 1,2	≤ 15	4,34±0,93	63,7±6,0
Flamanville - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Surtainville	27/09/2019	Légumes	Salades	Feuilles	cendre	27,88	09/12/2019	1 004±96	≤ 0,37	≤ 0,96	≤ 12	4,54±0,83	88,0±8,3
Flamanville - zi proche, à moins de 5 km du site	Flamanville	14/05/2019	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	cendre	3,98	16/12/2019	646±67	2,87±0,40	≤ 0,53	≤ 7,3	7,13±0,80	117±12
Flamanville - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Siouville-Hague	02/01/2019	Mousses terrestres	Polytric	Entier	frais	1,11	03/01/2019	259±24	4,6±2,7	n.a.	≤ 77,7	n.a.	474±30
Flamanville - zi proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	06/09/2019	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	cendre	8,10	16/12/2019	48,9±4,7	≤ 0,015	≤ 0,036	≤ 0,47	≤ 0,039	≤ 0,062

n.a. : non analysé.

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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sols et les végétaux, $Bq.L^{-1}$ pour le lait).

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{124}Sb	^{125}Sb	$^{131}I^*$
Flamanville - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Sortosville-en-Beaumont	10/05/2019	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	sec	1,25	19/11/2019	$\leq 0,19$	$8,90 \pm 0,70$	$\leq 1,0$	$\leq 0,19$	$\leq 0,34$	$\leq 0,31$	$\leq 1,4$	$\leq 0,50$	n.a.
Flamanville - zi proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	06/09/2019	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	sec	1,08	07/11/2019	$\leq 0,15$	$3,36 \pm 0,30$	$\leq 0,80$	$\leq 0,15$	$\leq 0,26$	$\leq 0,23$	$\leq 1,0$	$\leq 0,42$	n.a.
Flamanville - zi proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	18/09/2019	Légumes	Salades	Feuilles	cendre	10,98	09/12/2019	$\leq 0,093$	$0,12 \pm 0,05$	$\leq 0,23$	$\leq 0,15$	$\leq 0,14$	$\leq 0,12$	$\leq 0,22$	$\leq 0,23$	n.a.
Flamanville - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Surtainville	27/09/2019	Légumes	Salades	Feuilles	cendre	27,88	09/12/2019	$\leq 0,083$	$0,95 \pm 0,11$	$\leq 0,17$	$\leq 0,12$	$\leq 0,11$	$\leq 0,096$	$\leq 0,15$	$\leq 0,19$	n.a.
Flamanville - zi proche, à moins de 5 km du site	Flamanville	14/05/2019	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	cendre	3,98	16/12/2019	$\leq 0,053$	$\leq 0,047$	$\leq 0,40$	$\leq 0,073$	$\leq 0,100$	$\leq 0,067$	$\leq 0,47$	$\leq 0,12$	n.a.
Flamanville - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Siouville-Hague	02/01/2019	Mousses terrestres	Polytric	Entier	frais	1,11	03/01/2019	$\leq 0,56$	$8,1 \pm 1,0$	$\leq 0,56$	$\leq 0,67$	$\leq 0,56$	$\leq 0,67$	$\leq 0,56$	$\leq 1,44$	$\leq 0,67$
Flamanville - zi proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	06/09/2019	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	cendre	8,10	16/12/2019	$\leq 0,0030$	$0,0050 \pm 0,0016$	$\leq 0,0085$	$\leq 0,0047$	$\leq 0,0047$	$\leq 0,0047$	$\leq 0,0085$	$\leq 0,0070$	n.a.

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

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 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	³ H libre (Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation)	³ H libre (Bq.kg ⁻¹ frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Flamanville - zi proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	18/09/2019	Légumes	Salades	Feuilles	17,61	22/10/2019	2,00±0,70	1,89±0,66	Bq.kg ⁻¹ frais
Flamanville - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Surtainville	27/09/2019	Légumes	Salades	Feuilles	23,09	13/12/2019	1,90±0,60	1,82±0,57	Bq.kg ⁻¹ frais
Flamanville - zi proche, à moins de 5 km du site	Flamanville	09/01/2019	Végétaux terrestre non consommés	Lierre commun <i>Hedera helix</i>	Feuilles annuelles	3,21	27/05/2019	2,40±0,60	1,65±0,41	Bq.kg ⁻¹ frais
Flamanville - zi proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	06/09/2019	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,16	22/10/2019	1,20±0,60	1,03±0,52	Bq.L ⁻¹ d'ECH.
-	Siouville-Hague	06/09/2019	Eaux de boisson	Eau de boisson	Filtrat à 0,20 µm	-	22/10/2019	0,90±0,60	0,90±0,60	Bq.L ⁻¹ d'ECH.

n.a. : non analysé.

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 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Flamanville - zi proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	18/09/2019	Légumes	Salades	Feuilles	17,61	12/12/2019	2,70±0,70	0,075±0,020	Bq.kg ⁻¹ frais
Flamanville - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Surtainville	27/09/2019	Légumes	Salades	Feuilles	23,09	15/01/2020	3,00±0,90	0,069±0,021	Bq.kg ⁻¹ frais
Flamanville - zi proche, à moins de 5 km du site	Flamanville	09/01/2019	Végétaux terrestre non consommés	Lierre commun <i>Hedera helix</i>	Feuilles annuelles	3,21	10/06/2019	2,90±0,70	0,55±0,14	Bq.kg ⁻¹ frais
Flamanville - zi proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	06/09/2019	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,16	05/11/2019	1,40±0,60	0,147±0,063	Bq.L ⁻¹ d'ECH.

n.a. : non analysé.

Tableau 20 - Activités en ¹⁴C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure du ¹⁴ C	¹⁴ C (Bq.kg ⁻¹ C)	¹⁴ C (Bq.kg ⁻¹ frais ou Bq.L ⁻¹ d'ECH.)	C _{TOT} (g.kg ⁻¹ frais ou g.L ⁻¹ d'ECH)	δ ¹³ C/ ¹² C (‰)	pMC (%)	Unité
Flamanville - zi proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	18/09/2019	Légumes	Salades	Feuilles	17,61	28/01/2020	266±13	5,66±0,28	21	-28,46±0,30	112,0±5,5	Frais
Flamanville - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Surtainville	27/09/2019	Légumes	Salades	Feuilles	23,09	29/01/2020	259±13	4,75±0,24	18	-27,92±0,30	110,0±5,5	Frais
Flamanville - zi proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	06/09/2019	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,16	29/01/2020	243±12	18,40±0,91	76	-18,74±0,30	103,0±5,1	Liquide

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 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Frais/sec	Fractions	%
Flamanville - Champ proche	Flamanville	21/01/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	08/07/2019	sec	2,17	Matière organique	4,2±0,1
									Argile (< 2µm)	0,6±0,3
									Limons fins	22,5±0,8
									Limons grossiers	41,3±0,3
									Sables fins	11,8±0,3
									Sables grossiers	4,6±0,2
Flamanville - Champ lointain ss influence EDF et ORANO	Auderville	16/05/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	08/07/2019	sec	1,32	Matière organique	0,1±0,1
									Argile (< 2µm)	1,2±0,1
									Limons fins	0,2±0,1
									Limons grossiers	0,3±0,1
									Sables fins	0,9±0,9
									Sables grossiers	94,2±0,2
Flamanville - Champ lointain	Barneville- Carteret	22/01/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	08/07/2019	sec	1,42	Matière organique	1,0±0,1
									Argile (< 2µm)	0,1±0,1
									Limons fins	8,9±0,3
									Limons grossiers	13,4±1,2
									Sables fins	60,6±0,3
									Sables grossiers	4,8±0,2

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 lointain et sous influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE et située à proximité de l'usine ORANO
Prélèvements en champ proche et sous influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE

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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sédiments, les algues, $Bq.kg^{-1} frais$ pour les mollusques, les crustacés et les poissons).

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{40}K	Famille du ^{232}Th	Famille de ^{238}U			7Be
										^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Flamanville - champ proche	Flamanville	21/01/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	2,17	07/05/2019	487±43	31,6±3,8	n.a.	39±13	n.a.	≤ 4,7
Flamanville - champ lointain	Barneville-Carteret	22/01/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,42	07/05/2019	281±26	14,1±1,8	n.a.	≤ 10	n.a.	8,8±1,9
Flamanville - champ lointain ss influence edf et orano	Auderville	16/05/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,32	22/08/2019	377±33	7,00±0,90	n.a.	≤ 12	n.a.	≤ 2,4
Flamanville - champ proche	Flamanville	16/05/2019	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	cencre	4,02	16/12/2019	919±91	3,69±0,63	12,1±1,4	≤ 25	2,20±0,80	12,1±6,1
Flamanville - champ proche	Siouville-Hague	21/01/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	frais	4,36	22/01/2019	1 618±100	10,0±4,4	n.a.	≤ 109	n.a.	20,9±7,4
Flamanville - champ proche	Siouville-Hague	21/01/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	cencre	4,36	18/06/2019	1 320±130	6,15±0,93	14,0±1,6	≤ 23	5,4±1,2	16,8±3,9
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	22/01/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	frais	4,49	23/01/2019	1 253±76	8,5±3,1	n.a.	67±54	n.a.	26,0±6,3
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	22/01/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	cencre	4,49	18/06/2019	1 290±120	9,2±1,2	16,1±1,7	≤ 17	5,8±1,1	24,7±4,0
Flamanville - champ proche	Flamanville, au large	03/07/2019	Crustacés aquatiques	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Chair	cencre	2,26	13/12/2019	46,5±4,7	1,18±0,18	0,38±0,13	≤ 2,4	0,37±0,16	≤ 0,94
Flamanville - champ proche	Flamanville, au large	03/07/2019	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	cencre	3,82	17/12/2019	117±11	≤ 0,057	0,138±0,075	≤ 2,1	0,494±0,096	0,83±0,36
Flamanville - champ proche	Tréauville	21/01/2019	Mollusques aquatiques	Patelle <i>Patella vulgata</i>	Chair	cencre	5,89	18/06/2019	52,8±5,1	0,235±0,047	0,481±0,086	≤ 1,4	2,35±0,23	4,65±0,59
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	22/01/2019	Mollusques aquatiques	Patelle <i>Patella vulgata</i>	Chair	cencre	6,46	19/06/2019	44,3±4,6	0,73±0,11	1,05±0,14	≤ 1,4	1,44±0,18	1,13±0,31
Flamanville - champ proche	Flamanville, au large	21/06/2019	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	cencre	4,85	13/12/2019	127±13	≤ 0,028	≤ 0,066	≤ 0,84	≤ 0,070	0,45±0,17

n.a. : non analysé.

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 2019 ($Bq.kg^{-1}$ sec pour les sédiments, les algues, $Bq.kg^{-1}$ frais pour les mollusques, les crustacés et les poissons).

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{124}Sb	^{125}Sb	^{108m}Ag	^{106}Rh	$^{131}I^*$	^{241}Am
Flamanville - champ proche	Flamanville	21/01/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	2,17	07/05/2019	$\leq 0,17$	$2,94 \pm 0,28$	$\leq 0,44$	$3,14 \pm 0,40$	$\leq 0,24$	$\leq 0,22$	$\leq 0,48$	$\leq 0,45$	$\leq 0,20$	$\leq 1,9$	n.a.	n.a.
Flamanville - champ lointain	Barneville-Carteret	22/01/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,42	07/05/2019	$\leq 0,090$	$0,90 \pm 0,11$	$\leq 0,25$	$0,62 \pm 0,11$	$\leq 0,15$	$\leq 0,13$	$\leq 0,27$	$\leq 0,27$	$\leq 0,12$	$\leq 1,1$	n.a.	n.a.
Flamanville - champ lointain ss influence edf et orano	Auderville	16/05/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,32	22/08/2019	$\leq 0,100$	$0,440 \pm 0,080$	$\leq 0,26$	$\leq 0,14$	$\leq 0,14$	$\leq 0,13$	$\leq 0,26$	$\leq 0,25$	$\leq 0,12$	$\leq 1,0$	n.a.	n.a.
Flamanville - champ proche	Flamanville	16/05/2019	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	cen-dre	4,02	16/12/2019	$\leq 0,13$	$0,270 \pm 0,072$	$\leq 0,91$	$0,36 \pm 0,12$	$\leq 0,25$	$\leq 0,19$	$\leq 1,1$	$\leq 0,30$	$\leq 0,17$	$\leq 1,7$	n.a.	$\leq 0,13$
Flamanville - champ proche	Siouville-Hague	21/01/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	frais	4,36	22/01/2019	$\leq 0,74$	$\leq 0,87$	$\leq 0,83$	$\leq 0,96$	$\leq 0,78$	$\leq 0,87$	$\leq 0,74$	$\leq 2,18$	n.a.	$\leq 7,4$	$1,57 \pm 0,78$	n.a.
Flamanville - champ proche	Siouville-Hague	21/01/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	cen-dre	4,36	18/06/2019	$\leq 0,16$	$0,147 \pm 0,078$	$\leq 0,62$	$0,62 \pm 0,16$	$\leq 0,26$	$\leq 0,21$	$\leq 0,65$	$\leq 0,36$	$\leq 0,21$	$\leq 1,8$	n.a.	$\leq 0,16$
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	22/01/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	frais	4,49	23/01/2019	$\leq 0,45$	$\leq 0,54$	$\leq 0,49$	$\leq 0,58$	$\leq 0,49$	$\leq 0,54$	$\leq 0,49$	$\leq 1,35$	n.a.	$\leq 4,5$	$\leq 0,54$	n.a.
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	22/01/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	cen-dre	4,49	18/06/2019	$\leq 0,12$	$\leq 0,12$	$\leq 0,49$	$0,213 \pm 0,099$	$\leq 0,20$	$\leq 0,17$	$\leq 0,52$	$\leq 0,27$	$\leq 0,15$	$\leq 1,2$	n.a.	$\leq 0,15$
Flamanville - champ proche	Flamanville, au large	03/07/2019	Crustacés aquatiques	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Chair	cen-dre	2,26	13/12/2019	$\leq 0,018$	$0,022 \pm 0,010$	$\leq 0,081$	$\leq 0,021$	$\leq 0,034$	$\leq 0,026$	$\leq 0,099$	$\leq 0,044$	$\leq 0,026$	$\leq 0,21$	n.a.	$\leq 0,021$
Flamanville - champ proche	Flamanville, au large	03/07/2019	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	cen-dre	3,82	17/12/2019	$\leq 0,013$	$0,0169 \pm 0,0073$	$\leq 0,068$	$0,028 \pm 0,012$	$\leq 0,023$	$\leq 0,018$	$\leq 0,070$	$\leq 0,031$	$0,033 \pm 0,011$	$\leq 0,16$	n.a.	$\leq 0,013$
Flamanville - champ proche	Tréauville	21/01/2019	Mollusques aquatiques	Patelle <i>Patella vulgata</i>	Chair	cen-dre	5,89	18/06/2019	$\leq 0,010$	$\leq 0,010$	$\leq 0,039$	$\leq 0,015$	$0,034 \pm 0,012$	$\leq 0,013$	$\leq 0,047$	$\leq 0,027$	$0,0164 \pm 0,0078$	$\leq 0,13$	n.a.	$\leq 0,013$
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	22/01/2019	Mollusques aquatiques	Patelle <i>Patella vulgata</i>	Chair	cen-dre	6,46	19/06/2019	$\leq 0,011$	$\leq 0,011$	$\leq 0,041$	$\leq 0,015$	$\leq 0,020$	$\leq 0,014$	$\leq 0,052$	$\leq 0,031$	$0,0201 \pm 0,0098$	$\leq 0,13$	n.a.	$0,0175 \pm 0,0083$
Flamanville - champ proche	Flamanville, au large	21/06/2019	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	cen-dre	4,85	13/12/2019	$\leq 0,0062$	$0,172 \pm 0,015$	$\leq 0,032$	$\leq 0,0084$	$\leq 0,011$	$\leq 0,0084$	$\leq 0,036$	$\leq 0,014$	$\leq 0,0084$	$\leq 0,070$	n.a.	$\leq 0,0070$

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

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 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	³ H libre (Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation)	³ H libre (Bq.kg ⁻¹ frais)
Flamanville - champ proche	Siouville-Hague	21/01/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	4,22	29/05/2019	4,60±0,70	3,51±0,53
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	22/01/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	4,50	29/05/2019	1,90±0,60	1,48±0,47

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 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ frais)
Flamanville - champ proche	Siouville-Hague	21/01/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	4,22	10/06/2019	11,0±1,0	1,17±0,13
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	22/01/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	4,50	10/06/2019	3,80±0,80	0,380±0,083
Flamanville - champ proche	Flamanville, au large	03/07/2019	Crustacés aquatiques	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Chair	5,02	18/12/2019	8,20±0,90	1,03±0,12
Flamanville - champ proche	Tréauville	21/01/2019	Mollusques aquatiques	Patelle <i>Patella vulgata</i>	Chair	5,53	10/06/2019	9,9±1,2	1,03±0,13
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	22/01/2019	Mollusques aquatiques	Patelle <i>Patella vulgata</i>	Chair	5,75	10/06/2019	3,10±0,90	0,275±0,081
Flamanville - champ proche	Flamanville, au large	21/06/2019	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	4,72	18/12/2019	13,2±1,2	1,77±0,18

Tableau 26 - Activités en ¹⁴C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/sec	Date de mesure du ¹⁴ C	¹⁴ C (Bq.kg ⁻¹ C)	¹⁴ C (Bq.kg ⁻¹ frais)	C _{TOT} (g.kg ⁻¹ frais)	δ ¹³ C/ ¹² C (‰)	pMC (%)
Flamanville - champ proche	Siouville-Hague	21/01/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	4,22	12/07/2019	458,7±3,7	34,64±0,28	76	-20,49±0,30	193,6±1,6
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	22/01/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	4,50	12/07/2019	281,1±2,4	20,33±0,17	72	-17,16±0,30	118,6±1,0
Flamanville - champ proche	Flamanville, au large	03/07/2019	Crustacés aquatiques	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Chair	5,02	21/11/2019	377±18	32,5±1,6	86	-19,62±0,30	159,0±7,6
Flamanville - champ proche	Tréauville	21/01/2019	Mollusques aquatiques	Patelle <i>Patella vulgata</i>	Chair	5,53	17/09/2019	491±24	34,0±1,7	69	-18,51±0,30	207±10
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	22/01/2019	Mollusques aquatiques	Patelle <i>Patella vulgata</i>	Chair	5,75	17/09/2019	293±14	19,17±0,92	65	-14,29±0,30	124,0±5,9
Flamanville - champ proche	Flamanville, au large	21/06/2019	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	4,72	21/11/2019	590±29	56,1±2,8	95	-18,30±0,30	249±12

Tableau 27 - Activités en ⁶³Ni mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/sec	Date de mesure	⁶³ Ni (Bq.kg ⁻¹ sec)	Ni (g.kg ⁻¹ sec)
Flamanville - champ proche	Siouville-Hague	21/01/2019	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	cendres	4,36	12/07/2019	1,58±0,21	0,0094±0,0011
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	22/01/2019	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	cendres	4,49	31/07/2019	0,55±0,10	0,0095±0,0011

Tableau 28 - Activités en ⁵⁵Fe mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/sec	Date de mesure	⁵⁵ Fe (Bq.kg ⁻¹ sec)
Flamanville - champ proche	Siouville-Hague	21/01/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	cendres	4,36	19/02/2020	≤ 6,2
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	22/01/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	cendres	4,49	19/02/2020	≤ 13

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 13 page 79). 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 24). 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).

Les modalités d'exploitation et les limites des rejets d'effluents du CNPE de Paluel, 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'événements intéressant l'environnement pour l'année 2019 ayant pu avoir une conséquence mesurable sur les niveaux d'activité des échantillons analysés dans le cadre du suivi.

La dispersion des effluents dans l'environnement est contrainte par les conditions météorologiques et hydrodynamiques propres au site. Le régime éolien est généralement dominé par les vents de secteur ouest à sud-ouest. La circulation générale des masses d'eaux le long du littoral Cauchois assure, quant à elle, la dispersion des effluents liquides vers le nord-est de la Manche.

La chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Paluel est présentée sur la Figure 12 page 76. Les références bibliographiques sont présentées à la fin du rapport.

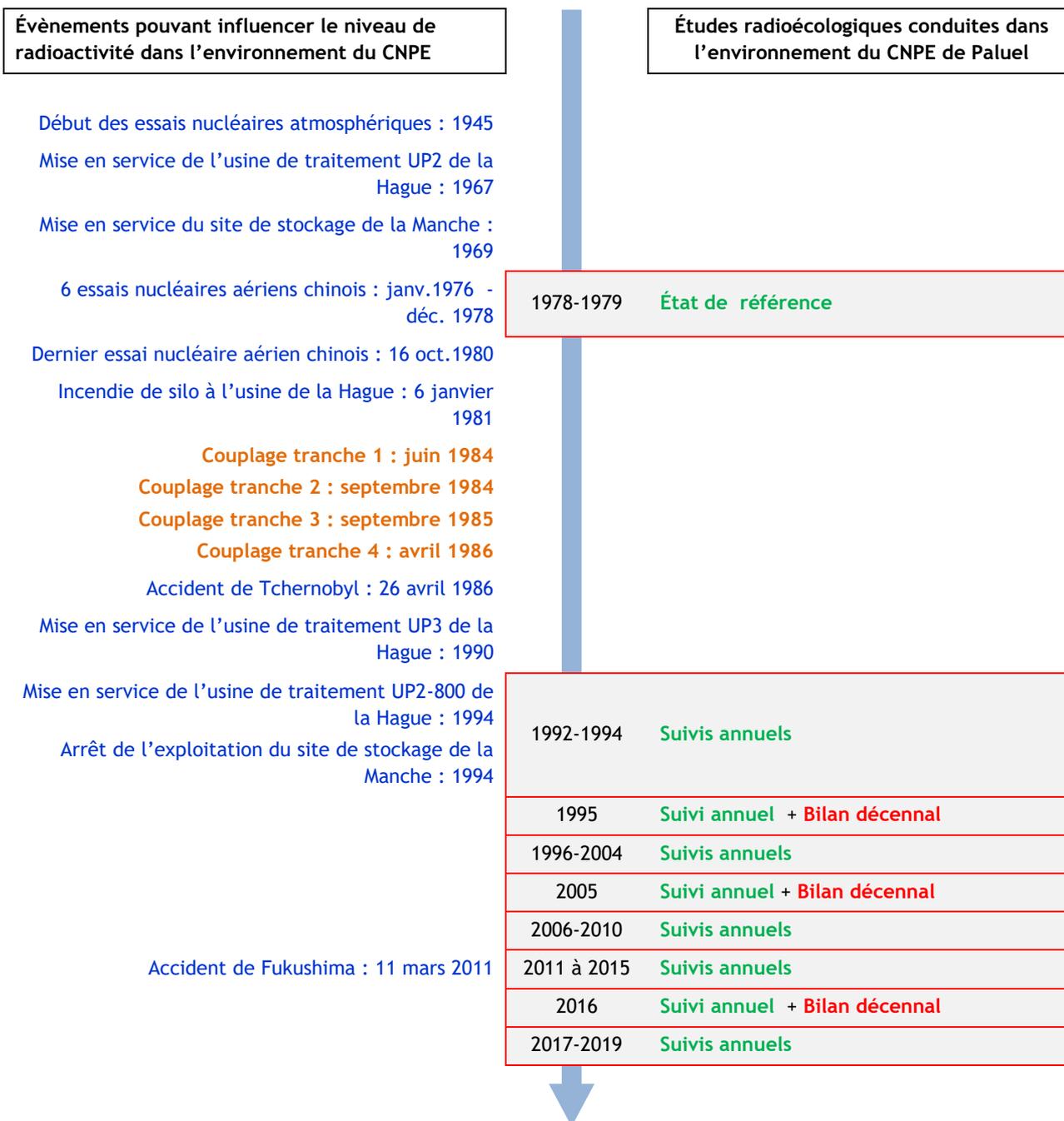


Figure 12 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Paluel.

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 13 page 79. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées

dans le Tableau 29 page 78 et suivante. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique du sol de pâturage échantillonné sont présentées dans le Tableau 42 page 104. 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-lès-Grès, située en secteur est-sud-est et auparavant considérée comme en ZI, est recatégorisée en ZNI à la demande d'EDF.

L'eau prélevée au Tôt provient d'un réseau d'eau potable distribuée par Eaux de Normandie Maromme, et dont le site de production est situé à Paluel. Ce site alimente les communes de Paluel, Saint-Riquier-ès-Plains, Ingouville, Vittefleury et Saint Sylvain. La distribution d'eau potable au Tôt exploite le captage de Paluel, d'une profondeur de 30 m. La nappe phréatique qui l'alimente est située au sud-est du CNPE, dans une zone hors de l'influence potentielle du CNPE. Il n'a pas été possible de trouver une nappe exploitée pour produire de l'eau potable ou d'irrigation qui soit sous l'influence de la nappe située sous le CNPE.

En 2019, l'IRSN n'a rencontré aucune difficulté de prélèvement dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel.

Par rapport à l'année 2018, la stratégie d'échantillonnage est restée identique.

Tableau 29 - Identification des échantillons analysés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique de 2019 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Station	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/ Sec	Sec/ Cendres
0,7 km NE	Paluel - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Paluel, lieu-dit Le Tôt	0,64166	49,86390	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	19/03/2019	Spectrométrie gamma (sec)	1,61	-
0,7 km NE	Paluel - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Paluel, lieu-dit Le Tôt	0,64166	49,86390	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	19/03/2019	Granulométrie + MO (sec)	1,61	-
0,7 km NE	Paluel - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Paluel, lieu-dit Le Tôt	0,64146	49,86390	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	19/03/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	1,68	8,28
0,7 km NE	Paluel - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Paluel, lieu-dit Le Tôt	0,64146	49,86390	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	19/03/2019	Tritium lié + %H (sec)	1,78	-
0,7 km NE	Paluel - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Paluel, lieu-dit Le Tôt	0,64146	49,86390	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	19/03/2019	Tritium libre (liquide)	1,78	-
1,6 km E	Paluel - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Ingouville	0,65740	49,86070	Légumes	Salades	Feuilles	05/08/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	17,76	4,91
1,6 km E	Paluel - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Ingouville	0,65740	49,86070	Légumes	Salades	Feuilles	05/08/2019	Tritium lié + %H (sec)	14,13	-
1,6 km E	Paluel - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Ingouville	0,65740	49,86070	Légumes	Salades	Feuilles	05/08/2019	Tritium libre (liquide)	14,13	-
1,6 km E	Paluel - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Ingouville	0,65740	49,86070	Légumes	Salades	Feuilles	05/08/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	14,13	-
1,6 km E	-	Ingouville	0,65740	49,86070	Eau douce	Eau de boisson	Filtrat à 0,20 µm	05/08/2019	Tritium libre (liquide)	-	-
5,1 km E	Paluel - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Saint-Valéry-en-Caux	0,70609	49,85640	Mousses terricoles	Polytric <i>Polytrichum species</i>	Entier	19/03/2019	Spectrométrie gamma (frais) + I-131	1,14	-
9,6 km ESE	Paluel - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Gueutteville -lès-Grès	0,76754	49,84442	Aliments liquides non transformés	Lait de vache	Entier	06/08/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	8,07	16,29
9,6 km ESE	Paluel - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Gueutteville -lès-Grès	0,76754	49,84442	Aliments liquides non transformés	Lait de vache	Entier	06/08/2019	Tritium lié + %H (sec)	7,37	-
9,6 km ESE	Paluel - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Gueutteville -lès-Grès	0,76754	49,84442	Aliments liquides non transformés	Lait de vache	Entier	06/08/2019	Tritium libre (liquide)	7,37	-
9,6 km ESE	Paluel - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Gueutteville -lès-Grès	0,76754	49,84442	Aliments liquides non transformés	Lait de vache	Entier	06/08/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	7,54	-

- : absence de traitement.

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

	Prélèvements hors vents dominants de l'installation
	Prélèvements sous les vents dominants de l'installation
	Prélèvements dans une nappe phréatique



Figure 13 - Localisation du CNPE de Paluel et des stations terrestres⁷ échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2019.

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*

5.2.2.1.1 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 au sein du Tableau 43 page 105.

En 2019, 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 [3]. Elles ont pour principale origine le ^{40}K et, dans une moindre mesure, les familles du ^{232}Th et de ^{238}U . Dans le sol, l'activité massique en ^{40}K , en fils du ^{232}Th et du ^{238}U est en accord avec les valeurs observées en France métropolitaine [3, 26, 27]. 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 ^{40}K 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.

5.2.2.1.2 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 au sein du Tableau 44 page 106.

Dans le sol échantillonné, le seul radionucléide d'origine artificielle quantifié est le ^{137}Cs . Ce radionucléide est également quantifié dans les mousses, l'herbe et le lait, mais il ne l'est pas dans les salades. Les analyses d' ^{131}I 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 2019 sont en accord avec les niveaux observés au cours des dix dernières années (Figure 14 page 81, et Tableau 31 à Tableau 36, pages 93 et suivantes) 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 (Figure 14 page 81). Les activités γ détectées dans le cadre de cette étude ne mettent pas en évidence de marquage de l'environnement par les rejets d'effluents atmosphériques du CNPE.

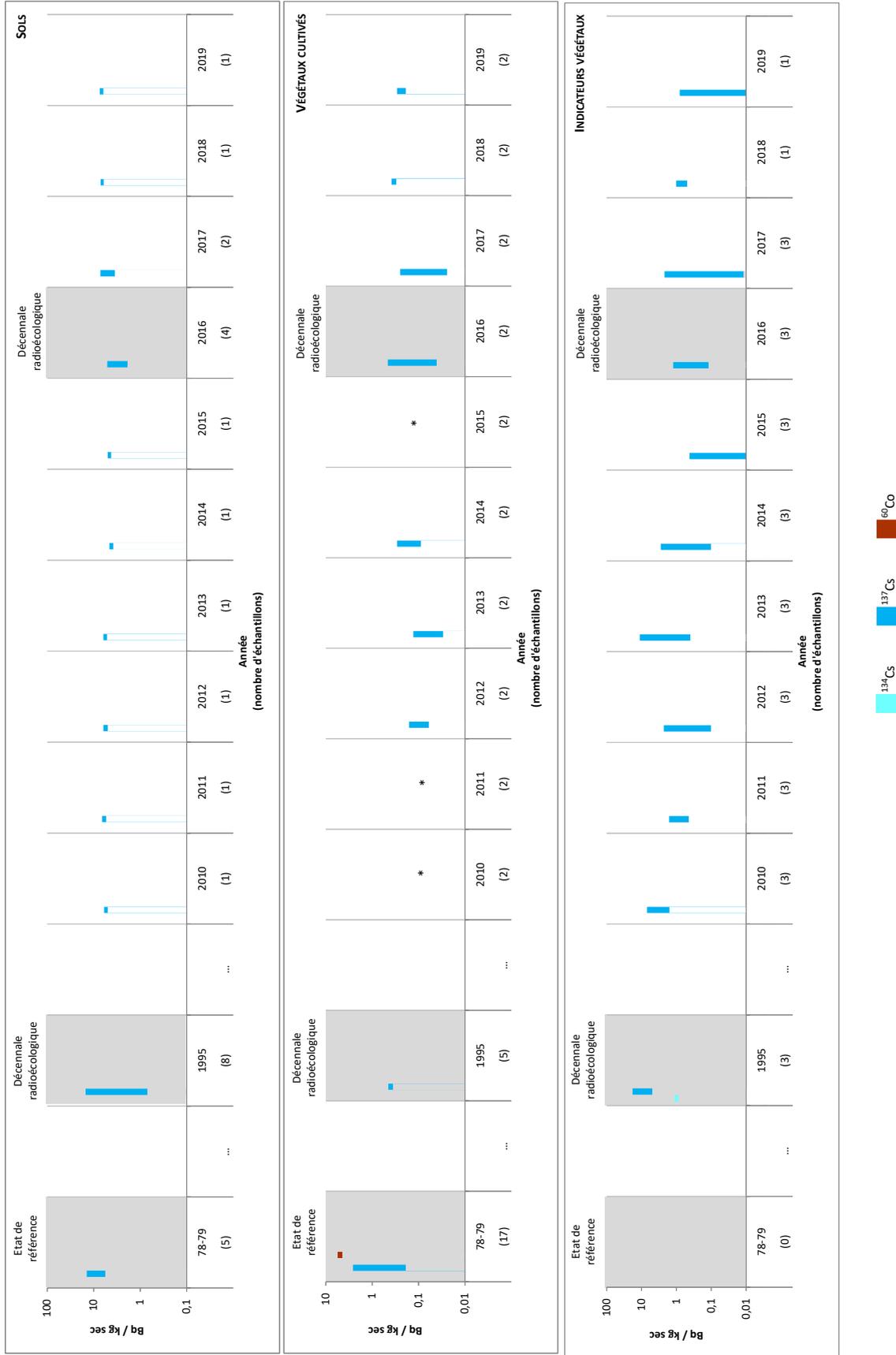


Figure 14- Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des sols (cultivés et non cultivés), végétaux cultivés (herbe et légumes) et indicateurs végétaux (mousses et lichens) échantillonnés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel. * : activités inférieures au seuil de décision.

5.2.2.2 Radionucléides émetteurs bêta

5.2.2.2.1 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 107, respectivement.

Les activités en tritium sont proches du bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence d'un apport industriel local (1 à 3 Bq.L⁻¹, avec une valeur moyenne de 1,3 Bq.L⁻¹ d'après [3]) pour la salade et le lait (tritium libre et lié), l'herbe (tritium lié) et l'eau de boisson (tritium libre). L'activité en tritium libre dans l'herbe en champ proche du CNPE est en revanche plus élevée que le bruit de fond (4,1±0,7 Bq.L⁻¹ ED) et témoigne d'un apport local en champ proche du CNPE de Paluel.

5.2.2.2.2 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 108.

L'activité en ¹⁴C dans le lait échantillonné (229±11 Bq.kg⁻¹ C) est proche du bruit de fond sur le territoire métropolitain français hors influence industrielle locale (proche de 230 Bq.kg⁻¹ C d'après [3]), tandis qu'elle est supérieure à ce bruit de fond dans les salades échantillonnées en champ proche (239,1±1,6 Bq.kg⁻¹ C) du CNPE de Paluel. Ainsi, en se basant sur les résultats des années précédentes et de cette année, un apport local est mis en évidence pour les salades dans l'environnement du CNPE de Paluel, sans que la contribution du CNPE ne soit démontrée.

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 15 page 86. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 30 pages 83 et suivantes. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique des sédiments échantillonnés sont présentées dans le Tableau 48 page 109. 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 Veulettes-sur-Mer et de Saint-Pierre-en-Port, 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 quotidiennement 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 2019, comme habituellement, 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 en 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 au large de Saint-Pierre-en-Port (mollusques : patelles remplacées par des bulots). Enfin, il n'a pas été possible de pêcher deux espèces de poissons identiques en champ proche (bars) et en champ lointain (vieilles) en 2019.

Par rapport à l'année 2018, la stratégie d'échantillonnage est restée identique.

Tableau 30 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel en 2019 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Station	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
1,6 km O	Paluel - Champ proche	Paluel	0,61217	49,85897	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	18/03/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	5,12	4,00
2,0 km O	Paluel - Champ proche	Veulettes-sur-Mer, commune limitrophe de Paluel	0,60567	49,85603	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	18/03/2019	Spectrométrie gamma (sec)	1,28	-
2,0 km O	Paluel - Champ proche	Paluel	0,60567	49,85603	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	18/03/2019	Granulométrie + MO (sec)	1,28	-
2 km N	Paluel - Champ proche	Paluel, au large	0,63110	49,86750	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	16/07/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	3,72	10,59
2 km N	Paluel - Champ proche	Paluel, au large	0,63110	49,86750	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	16/07/2019	Tritium lié + %H (sec)	3,65	-
2 km N	Paluel - Champ proche	Paluel, au large	0,63110	49,86750	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	16/07/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	3,65	-
2 km N	Paluel - Champ proche	Paluel, au large	0,63110	49,86750	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	16/07/2019	Nickel-63 + stable (cendres)	3,72	10,59
2 km N	Paluel - Champ proche	Paluel, au large	0,63110	49,86750	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja</i>	Entier	01/04/2019	Spectrométrie gamma	2,35	1,69

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Station	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/ Sec	Sec/ Cendres
2 km N	Paluel - Champ proche	Paluel, au large	0,63110	49,86750	Crustacés	<i>brachydactyla</i> Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Chair	01/04/2019	Tritium lié + %H (sec)	4,26	-
2 km N	Paluel - Champ proche	Paluel, au large	0,63110	49,86750	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	15/07/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	4,01	20,12
2 km N	Paluel - Champ proche	Paluel, au large	0,63110	49,86750	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	15/07/2019	Tritium lié + %H (sec)	4,31	-
2 km N	Paluel - Champ proche	Paluel, au large	0,63110	49,86750	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	15/07/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	4,31	-
5,7 km ENE	Paluel - Champ proche	Saint-Valery-en-Caux	0,71236	49,87061	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	18/03/2019	Spectrométrie gamma (sec)	3,61	-
5,7 km ENE	Paluel - Champ proche	Saint-Valery-en-Caux	0,71236	49,87061	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	18/03/2019	Granulométrie + MO (sec)	3,61	-
6,3 km ENE	Paluel - Champ proche	Saint-Valery-en-Caux	0,72112	49,87088	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	18/03/2019	Spectrométrie gamma (frais) + I-131	4,98	-
6,3 km ENE	Paluel - Champ proche	Saint-Valery-en-Caux	0,72112	49,87088	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	18/03/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	4,98	3,52
6,3 km ENE	Paluel - Champ proche	Saint-Valery-en-Caux	0,72112	49,87088	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	18/03/2019	Tritium lié + %H (sec)	4,65	-
6,3 km ENE	Paluel - Champ proche	Saint-Valery-en-Caux	0,72112	49,87088	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	18/03/2019	Tritium libre (liquide)	4,65	-
6,3 km ENE	Paluel - Champ proche	Saint-Valery-en-Caux	0,72112	49,87088	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	18/03/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	4,65	-
6,3 km ENE	Paluel - Champ proche	Saint-Valery-en-Caux	0,72112	49,87088	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	18/03/2019	Fer-55 (cendres)	4,98	3,52
6,3 km ENE	Paluel - Champ proche	Saint-Valery-en-Caux	0,72112	49,87088	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	18/03/2019	Nickel-63 + stable (cendres)	4,98	3,52
8,8 km OSO	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port, en amont de la commune de Veulettes	0,51216	49,81981	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	19/03/2019	Spectrométrie gamma (sec)	1,36	-
8,8 km OSO	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port, en amont de la commune de Veulettes	0,51216	49,81981	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	19/03/2019	Granulométrie + MO (sec)	1,36	-
8,8 km OSO	Paluel - Champ lointain		0,51265	49,81989	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	19/03/2019	Spectrométrie gamma (frais) + I-131	5,73	-
8,8 km OSO	Paluel - Champ lointain		0,51265	49,81989	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	19/03/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	5,73	3,77
8,8 km OSO	Paluel - Champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit, commune limitrophe de Saint-Pierre-en-Port	0,51265	49,81989	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	19/03/2019	Tritium lié + %H (sec)	5,64	-
8,8 km OSO	Paluel - Champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	0,51265	49,81989	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	19/03/2019	Tritium libre (liquide)	5,64	-
8,8 km OSO	Paluel - Champ lointain		0,51265	49,81989	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	19/03/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	5,64	-
8,8 km OSO	Paluel - Champ lointain		0,51265	49,81989	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	19/03/2019	Fer-55 (cendres)	5,73	3,77
8,8 km OSO	Paluel - Champ lointain		0,51265	49,81989	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	19/03/2019	Nickel-63 + stable (cendres)	5,73	3,77
12 km OSO	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port, au large	0,47330	49,82000	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	24/07/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	3,65	10,25

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Station	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
12 km OSO	Paluel - Champ lointain		0,47330	49,82000	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	24/07/2019	Tritium lié + %H (sec)	3,60	-
12 km OSO	Paluel - Champ lointain		0,47330	49,82000	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	24/07/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	3,60	-
12 km OSO	Paluel - Champ lointain		0,47330	49,82000	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	24/07/2019	Nickel-63 + stable (cendres)	3,65	10,25
12 km OSO	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port, au large	0,47330	49,82000	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Entier	05/04/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	2,54	1,76
12 km OSO	Paluel - Champ lointain		0,47330	49,82000	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Chair	05/04/2019	Tritium lié + %H (sec)	3,91	-
12 km OSO	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port, au large	0,47330	49,82000	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	25/05/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	4,71	15,14
12 km OSO	Paluel - Champ lointain		0,47330	49,82000	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	25/05/2019	Tritium lié + %H (sec)	4,26	-
12 km OSO	Paluel - Champ lointain		0,47330	49,82000	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	25/05/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	4,26	-

- : 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

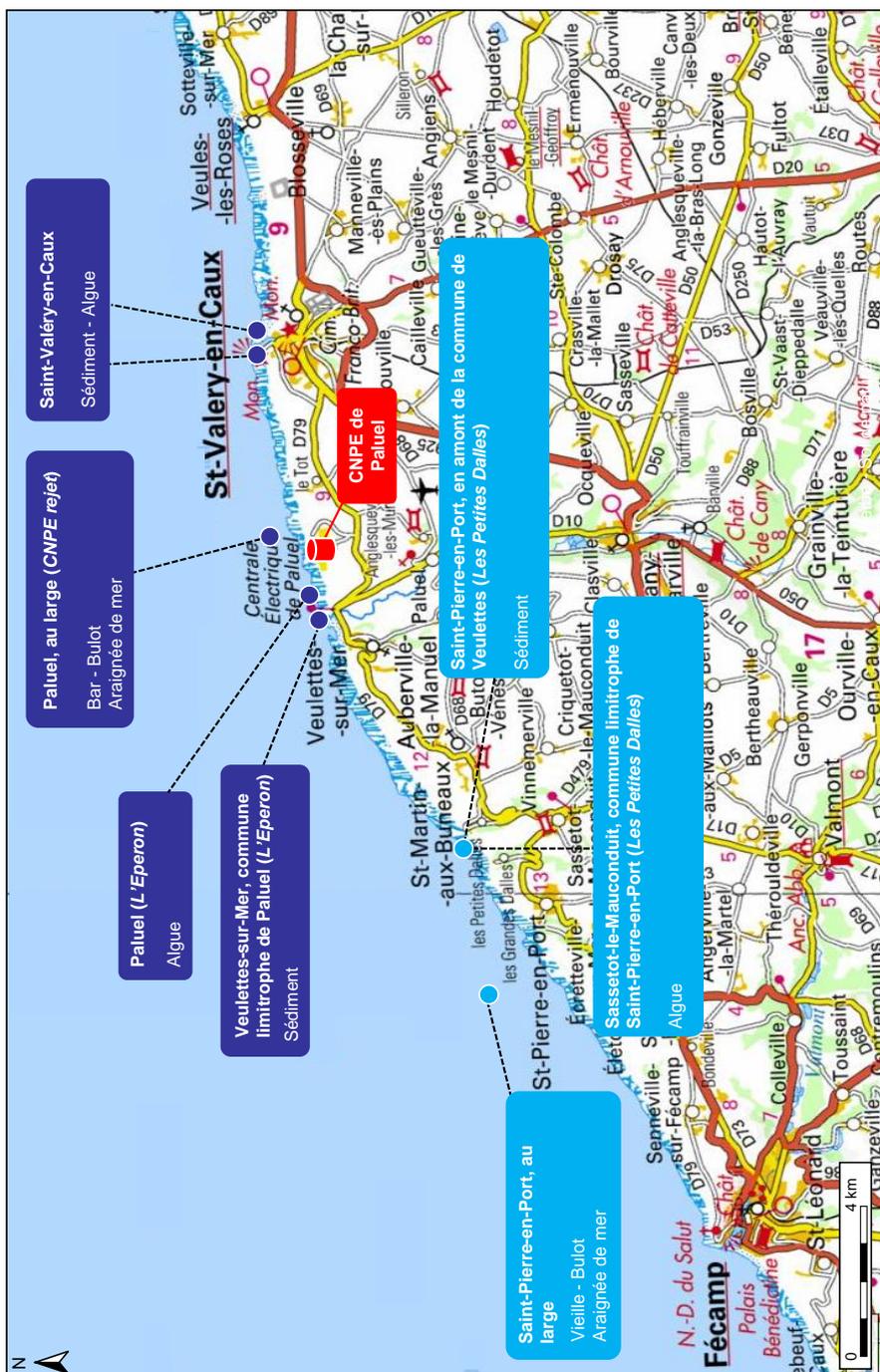


Figure 15 - Localisation du CNPE de Paluel et des stations marines⁸ échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2019.

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*

5.3.2.1.1 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 110.

En 2019, 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 ^{40}K est le radionucléide prépondérant en termes d'activité. Les activités en ^{40}K 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. 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.

5.3.2.1.2 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 111.

La radioactivité d'origine artificielle au sein des sédiments et des organismes marins végétaux et animaux est essentiellement imputable au ^{137}Cs , et dans une moindre mesure, au ^{60}Co et à l' $^{108\text{m}}\text{Ag}$. Le ^{137}Cs est le plus fréquemment quantifié (8 fois sur 12 échantillons analysés). Comme il le fut régulièrement au cours de la dernière décennie, l' $^{108\text{m}}\text{Ag}$ est détecté dans les bulots champ proche comme en champ lointain du CNPE de Paluel à un niveau proche du seuil de décision. Le ^{60}Co est quant à lui détecté en champ proche du CNPE, dans les sédiments et les algues. L' ^{131}I recherché dans les algues ne présente pas d'activité supérieure au seuil de décision. Les résultats de mesure par spectrométrie gamma obtenus en 2019 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 (Figure 16 page 88 et Figure 17 page 89, et Tableau 37 à Tableau 41, pages 99 et suivantes).

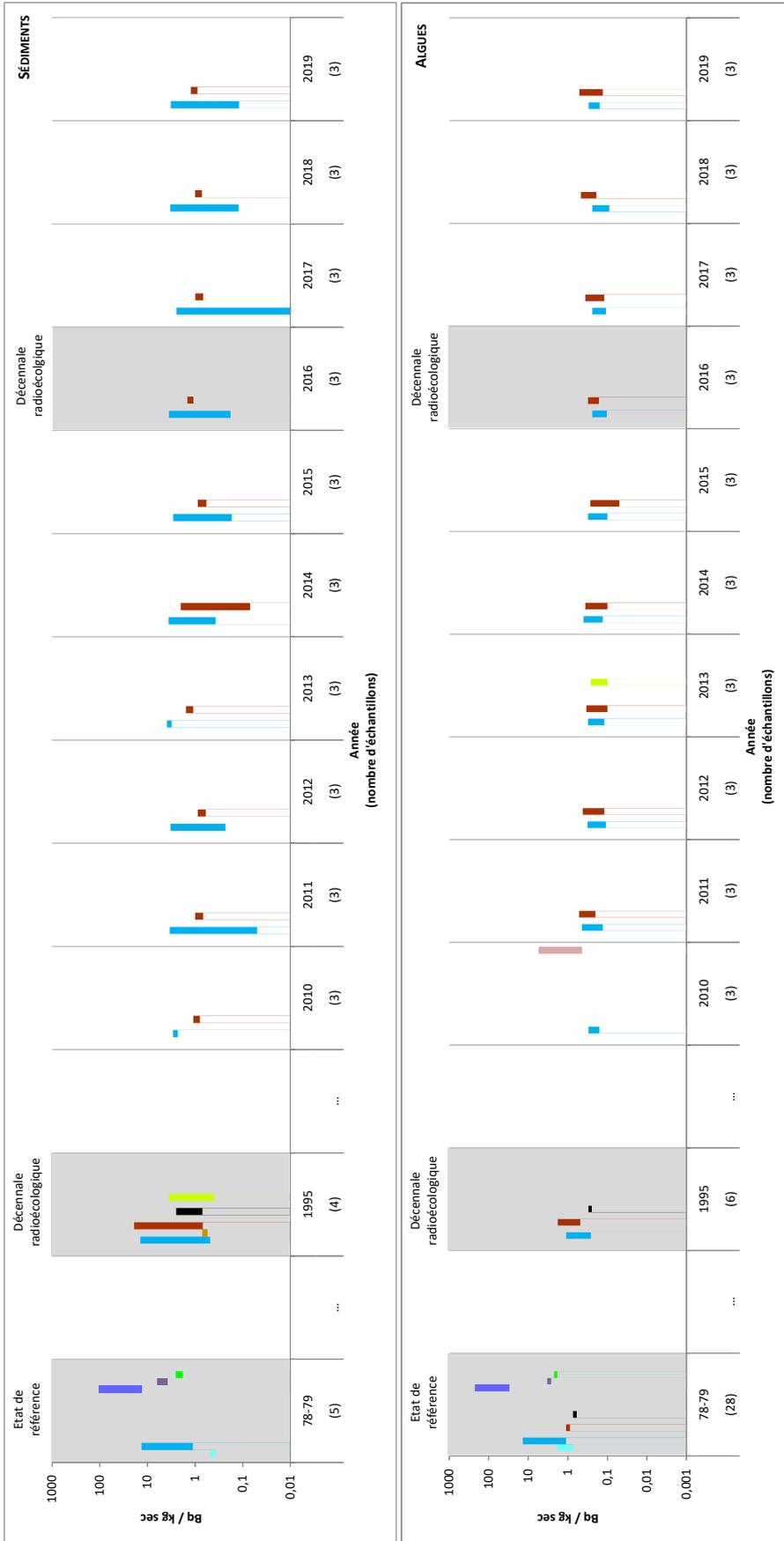


Figure 16 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des sédiments et des algues échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel.

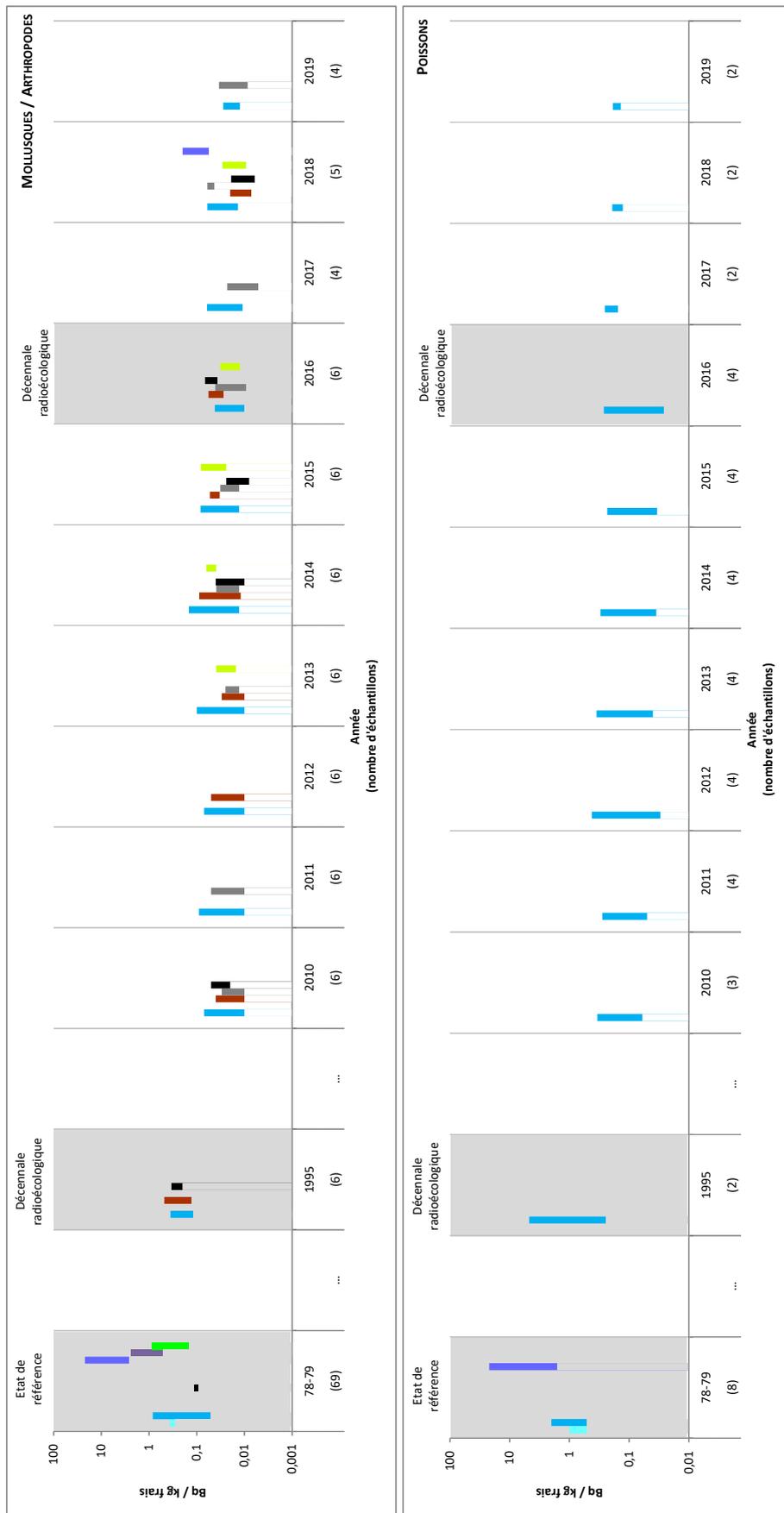


Figure 17 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des mollusques et crustacés et des poissons échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel.

5.3.2.2 Radionucléides émetteurs bêta

5.3.2.2.1 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 112, respectivement.

Les activités en tritium libre et lié dans les échantillons prélevés en champ lointain ($4,3 \pm 1,3$ à $11,3 \pm 1,2$ Bq.L⁻¹, toutes matrices confondues) correspondent aux valeurs attendues du fait des niveaux d'activités mesurables dans l'eau de mer en Manche (qui varient généralement de 0,3 à 10 Bq.L⁻¹) et majoritairement imputables à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague. Les activités en tritium libre et lié sont comparables en champ proche et en champ lointain, hormis pour les algues et les poissons, pour lesquels les activités en tritium libre ou organiquement lié (respectivement) sont plus élevées en champ lointain ($9,5 \pm 0,8$ et $11,3 \pm 1,2$ Bq.L⁻¹) qu'en champ proche ($4,6 \pm 0,7$ et $4,7 \pm 0,8$ Bq.L⁻¹). 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.

5.3.2.2.2 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 113.

Les activités en ¹⁴C quantifiées au sein des algues, des mollusques et des poissons échantillonnés en champ proche et 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 (240 ± 2 Bq.kg⁻¹ C d'après [29]). Elles sont supérieures en champ proche pour les poissons par rapport au champ lointain et sont comparables en champ proche et lointain dans les algues et dans les mollusques. Ces activités sont cependant cohérentes avec les valeurs moyennes enregistrées par le passé du fait du marquage global par les INB de la Manche [29], et notamment de la proximité de l'usine ORANO La Hague.

5.3.2.2.3 Nickel 63 et Fer 55

Les résultats d'analyse des activités en ⁶³Ni et en ⁵⁵Fe dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel sont présentés au sein du Tableau 54 et du Tableau 55 page 114, respectivement.

Le ⁶³Ni est détectable dans les algues et les mollusques en champ proche et lointain des rejets d'effluents liquides du CNPE de Paluel, avec des activités comparables en champ proche et 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.

Le ⁵⁵Fe, recherché dans les algues, n'y est pas décelable en 2019. 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.

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

Les niveaux d'activités des radionucléides naturels détectés en 2019 dans l'environnement du CNPE de Paluel sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés depuis l'instauration des suivis radioécologiques. Le ^{40}K est le radionucléide d'origine naturelle prépondérant dans tous les échantillons.

La radioactivité gamma d'origine artificielle du milieu terrestre est exclusivement imputable au ^{137}Cs , présent dans le sol, les mousses terrestres, l'herbe et le lait échantillonnés. 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 ^{137}Cs depuis le milieu marin vers l'environnement terrestre *via* les aérosols marins 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. Le ^{137}Cs est détecté à l'état de traces dans les végétaux cultivés (herbe) sous les vents dominants, à proximité immédiate du CNPE de Paluel, sans que la contribution des rejets du site ne soit démontrée. Les activités en tritium libre et organiquement lié ne mettent pas en évidence de marquage lié aux rejets d'effluents à l'atmosphère ; hormis pour l'herbe prélevée à proximité immédiate du site, pour laquelle un léger apport local est mis en évidence (tritium libre). L'activité en ^{14}C dans les salades en champ proche est significativement supérieure au bruit de fond sur le territoire français hors influence industrielle (proche de $230 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ d'après [3]), tandis qu'elle est proche du bruit de fond dans le lait. Au vu des résultats obtenus dans le cadre du suivi radioécologique 2019, 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 tritium dans l'herbe, à 0,7 km du CNPE.

En 2019, les diverses matrices sédimentaires et biologiques collectées dans l'environnement marin du CNPE de Paluel sont essentiellement marquées par le ^{137}Cs . À une fréquence moindre, d'autres radionucléides artificiels tels le ^{60}Co (dans les sédiments et les algues) et $^{108\text{m}}\text{Ag}$ (dans les mollusques) sont également quantifiés. Outre la rémanence des retombées atmosphériques globales dans le cas du ^{137}Cs , 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. L' $^{108\text{m}}\text{Ag}$ qui peut se trouver ponctuellement dans les rejets liquides des CNPE, en particulier les paliers 900 MW comme ceux de Gravelines, est uniquement quantifié dans les bulots, à des niveaux plus élevés en champ lointain qu'en champ proche, sans que son origine ne soit clairement établie. En 2019, le ^{60}Co est quantifié dans les sédiments et les algues prélevés en champ proche uniquement. L' ^{131}I ne présente pas d'activité supérieure au seuil de décision dans les algues mesurées à l'état frais. 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 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 ^{14}C témoignent de l'influence globale des INB de la Manche [29], sans que l'influence des rejets d'effluents liquides du CNPE de Paluel ne puisse être mise en évidence dans les algues et les mollusques, tandis qu'un marquage est mis en évidence dans les poissons.

5.5 Tableaux de résultats

Tableau 31 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	1,6 km	10 km	10 km	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
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	5,6 (1/1)	5,5 (1/1)	6,0 (1/1)	5,6 (1/1)	5,7 (1/1)	4,2 (1/1)	4,6 (1/1)	2,1-4,7 (4/4)	3,87-6,60 (2/2)	6,6 (1/1)	6,8 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.							

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

Tableau 32 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	5,0 et 6,5 km	5,0 et 6,5 km	5,0 et 6,5 km	5,0 et 6,5 km	5,1 km	5,1 km					
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	2,8-7,5 (2/2)	2,6-4,6 (2/2)	1,0-1,3 (2/2)	1,8-4,8 (2/2)	1,4-9,7 (2/2)	1,1-1,9 (2/2)	-	0,4-0,8 (2/2)	0,45-1,72 (2/2)	0,75 (1/1)	0,40 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	10 km	10 km	10 km	10 km	10 km	10 km	10 km	0,8 et 10,3 km	10 km	0,7 km	0,7 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	-	-	-	0,11 (1/1)	0,08 (1/1)	0,15 (1/1)	-	0,06 (1/3)	0,04 (1/1)	0,34 (1/1)	0,24 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	10 km	10 km	10 km	10 km	10 km	10 km	10 km	0,8 et 10,3 km	0,8 km	0,7 km	0,7 km
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3,0 (1/1)	1,8-5,8 (2/2)	2,4 (1/1)	2,5 (1/1)	4,1 (1/1)
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,4-3,6 (2/2)	3,1 (1/1)	2,5 (1/1)	3,5 (1/1)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	233 (1/1)	232 (1/1)	229-244 (2/2)	230-252 (4/4)	231-278 (6/6)	232-272 (5/5)	226-242 (4/4)	244-259 (4/4)

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	1,6 km	1,6 km	1,6 et 5,7 km	1,6 km	1,6 km	1,6 km					
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	-	-	-	-	-	0,20 (1/1)	-	0,40 (1/2)	0,18 (1/1)	-	-
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	1,6 km	1,6 km	1,6 et 5,7 km	1,6 km	1,6 km	1,6 km					
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,6 (1/1)	1,2-1,6 (2/2)	1,6 (1/1)	2,2 (1/1)	1,7 (1/1)
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	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)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	236-257 (2/2)	n.a.	235 (1/1)	239 (1/1)

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	10 km	10 km	10 km	9,5 km	9,6 km						
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.L ⁻¹)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	-	-	-	-	-	-	-	0,009 (1/1)	-	0,006 (1/1)	0,004 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	10 km	10 km	10 km	9,5 km	9,6 km						
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C)											
³ H libre	2,5 (1/1)	1,2 (1/1)	1,0 (1/1)	0,9 (1/1)	-	0,8 (1/1)	0,7 (1/1)	0,9 (1/1)	-	-	-
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	-	1,2 (1/1)	1,7 (1/1)	1,8 (1/1)	0,9 (1/1)	0,9 (1/1)	1,4 (1/1)	0,6 (1/1)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	230-233 (4/4)	227-235 (5/5)	234 (1/1)	243 (1/1)	229 (1/1)

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	1,6 km	10 km	1,6 km	1,6 km	1,6 km	1,6 km	1,6 km				
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.L⁻¹)											
¹³⁴ Cs	n.a.	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.	n.a.
⁵⁷ Co	n.a.	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.	n.a.
⁶⁰ Co	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.
^{110m} Ag	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.
¹⁰⁶ Ru/Rh	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.	n.a.	n.a.
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹)											
³ H libre	-	-	-	-	1,1 (1/1)	-	-	-	-	0,7 (1/1)	-

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
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	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	2,0 à 8,8 km	2,0 à 8,8 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,4-2,7 (2/3)	2,6 (1/3)	0,1-3,1 (2/3)	0,3-3,0 (3/3)	3,5 (1/3)	0,5-3,3 (3/3)	0,2-2,6 (2/3)	0,2-3,3 (3/3)	0,03-2,23 (2/3)	0,17-3,04 (3/3)	0,17-2,97 (3/3)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	1,0 (1/3)	0,9 (1/3)	0,8 (1/3)	0,8 (1/3)	1,3 (1/3)	0,1-1,8 (3/3)	0,7 (1/3)	1,3 (1/3)	0,8 (1/3)	0,9 (1/3)	1,1 (1/3)
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-
<hr/>											
Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
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	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	2,0 à 8,8 km	2,0 à 8,8 km
Émetteurs β (³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)											
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	34-44 (3/3)	n.a.	n.a.
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	96-207 (3/3)	n.a.	n.a.

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
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	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
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,21-0,24 (3/3)	0,23 (3/3)	0,23-0,34 (3/3)	0,21-0,24 (3/3)	0,18-0,24 (3/3)	0,19-0,32 (3/3)	0,17-0,24 (3/3)	0,15-0,19 (4/4)	0,14-0,19 (3/3)	0,15-0,18 (3/3)	0,23 (1/3)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	0,4-0,5 (2/3)	-	0,36 (1/3)	0,24-0,30 (2/3)	0,22 (1/3)	0,21-0,26 (3/3)	0,16 (1/3)	0,22-0,24 (2/4)	0,18-0,30 (3/3)	0,30-0,36 (3/3)	0,24-0,39 (2/3)
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	0,18 (1/3)	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	-	1,0-4,1 (3/3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
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	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	6,2 et 8,8 km	6,3 et 8,8 km
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	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)
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	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)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	288-302 (3/3)	n.a.	286-290 (2/2)	269-278 (2/2)

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	0,8 à 12 km	2 à 12 km	2 à 12 km	2 à 12 km	2 à 12 km	2 à 12 km	2 à 12 km	2 à 12 km	5,7 et 12 km	2 à 12 km	2 et 12 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ frais)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,02-0,10 (4/4)	0,02-0,06 (4/4)	0,02-0,07 (4/4)	0,02-0,03 (4/4)	0,02-0,08 (4/4)	0,02-0,13 (3/4)	0,02-0,07 (4/4)	0,02 (4/4)	0,02-0,04 (2/2)	0,02-0,05 (3/3)	0,02 (2/2)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	0,022-0,030 (3/4)	0,02-0,03 (2/4)	-	0,03 (1/4)	0,02 (1/4)	0,02-0,07 (3/4)	0,04 (1/4)	-	-	0,01 (2/3)	-
^{110m} Ag	0,02-0,06 (3/4)	0,03-0,04 (2/4)	-	-	-	0,03 (1/4)	0,01-0,02 (2/4)	0,03-0,05 (2/4)	-	0,01 (2/3)	-
^{108m} Ag	0,012 (1/4)	0,011-0,020 (2/4)	0,03 (2/4)	-	0,02 (2/4)	0,03 (1/4)	0,02 (3/4)	0,02-0,03 (3/4)	0,01 (1/2)	0,05 (2/3)	0,01-0,03 (2/2)
¹⁰⁶ Ru/Rh	0,12 (1/4)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,10-0,16 (2/3)	-
²⁴¹ Am	0,03 (1/4)	-	-	-	0,03 (1/4)	0,05 (1/4)	0,03 (1/4)	-	-	0,02 (1/3)	-
Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	0,8 à 12 km	2 à 12 km	5,7 et 12 km	5,7 et 12 km	5,7 et 12 km	5,7 et 12 km	5,7 et 12 km	5,7 et 12 km	5,7 et 12 km	5,6 et 12 km	2 et 12 km
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	3,6-4,3 (2/2)	4,1 (2/2)	5,8-7,4 (2/2)	4,8-5,0 (2/2)	5,3-7,6 (2/2)	7,0-7,8 (2/2)	5,5-5,9 (2/2)	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	3,5-3,6 (2/2)	4,6-5,1 (2/2)	4,1-5,2 (2/2)	5,1-5,8 (2/2)	6,3-7,5 (2/2)	5,4 (2/2)	5,2-6,2 (2/2)	4,6-5,3 (2/2)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	294-295 (2/2)	267-301 (2/2)	270-278 (2/2)	266-274 (2/2)	281-287 (2/2)	280-296 (2/2)	287-368 (2/2)	331-333 (2/2)

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ frais)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,04 (1/1)	-	0,05 (1/2)	0,05 (1/2)	-	0,03 (1/2)	0,03 (1/2)	0,03 (1/2)	0,04 (1/2)	-	-
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	0,06 (1/1)	-	-	-	-	-	-	0,04 (1/2)	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{108m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	0,05 (1/2)	0,02 (1/2)	-	-	-
<hr/>											
Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	4,9-5,7 (2/2)	4,9-6,6 (4/4)	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	5,0-6,0 (4/4)	4,4-4,8 (2/2)	4,8-6,6 (2/2)	4,1-4,3 (2/2)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	338-393 (4/4)	n.a.	n.a.	n.a.

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ frais)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,16- 0,30 (2/2)	0,08-0,31 (3/3)	0,05-0,26 (4/4)	0,04-0,36 (4/4)	0,05-0,32 (4/4)	0,04-0,27 (4/4)	0,04-0,21 (4/4)	0,03-0,24 (4/4)	0,17-0,24 (2/2)	0,14-0,17 (2/2)	0,15-0,17 (2/2)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{108m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<hr/>											
Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)											
³ H libre	5,4 (1/1)	3,3-3,5 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3,9-7,1 (3/3)	5,5-9,5 (4/4)	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	4,1-4,4 (3/3)	4,9-7,5 (4/4)	3,8-6,0 (2/2)	7,9-9,0 (2/2)	4,7-11,3 (2/2)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	290-370 (3/3)	314-448 (4/4)	319-343 (2/2)	338-346 (2/2)	346-371 (2/2)

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

**Tableau 42 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques de l'échantillon de sol collecté dans l'environnement terrestre du
CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2019.**

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Frais/sec	Fractions	%
Paluel - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Paluel, lieu-dit Le Tôt	19/03/2019	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie <i>0 - 5 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	08/07/2019	sec	1,61	Matière organique	7,6±0,1
									Argile (< 2µm)	0,4±0,2
									Limons fins	8,2±0,4
									Limons grossiers	21,7±0,6
									Sables fins	28,4±0,4
									Sables grossiers	16,5±0,3

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

	Prélèvements hors vents dominants de l'installation
	Prélèvements sous les vents dominants de l'installation
	Prélèvements dans une nappe phréatique

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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sols et les végétaux, $Bq.L^{-1}$ pour le lait).

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{40}K	Famille du ^{232}Th	Famille de l' ^{238}U			7Be
										^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Paluel - zi proche, à moins de 5 km du site	Paluel, lieu-dit Le Tôt	19/03/2019	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,61	12/06/2019	214±19	22,2±2,7	n.a.	≤ 14	n.a.	≤ 2,6
Paluel - zi proche, à moins de 5 km du site	Ingouville	05/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	cendre	17,76	20/11/2019	1 970±200	0,94±0,26	≤ 1,2	≤ 14	8,3±1,0	70,6±6,9
Paluel - zi proche, à moins de 5 km du site	Paluel, lieu-dit Le Tôt	19/03/2019	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	cendre	1,68	12/06/2019	152±16	2,79±0,46	1,96±0,45	≤ 7,2	72,5±7,2	576±53
Paluel - zi proche, à moins de 5 km du site	Saint-Valery-en-Caux	19/03/2019	Mousses terrestres	Polytric	Entier	frais	1,14	22/03/2019	179±11	1,48±1,71	n.a.	≤ 34	n.a.	280±16
Paluel - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Gueutteville-les-Grès	06/08/2019	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	cendre	8,07	16/12/2019	44,1±4,6	≤ 0,013	≤ 0,032	≤ 0,46	≤ 0,035	≤ 0,084

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 2019 ($Bq.kg^{-1}$ sec pour les sols et les végétaux, $Bq.L^{-1}$ pour le lait).

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{124}Sb	^{125}Sb	$^{131}I^*$
Paluel - zi proche, à moins de 5 km du site	Paluel, lieu-dit Le Tôt	19/03/2019	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,61	12/06/2019	$\leq 0,12$	$6,80 \pm 0,60$	$\leq 0,24$	$\leq 0,13$	$\leq 0,17$	$\leq 0,15$	$\leq 0,29$	$\leq 0,36$	n.a.
Paluel - zi proche, à moins de 5 km du site	Ingouville	05/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	cenbre	17,76	20/11/2019	$\leq 0,094$	$\leq 0,092$	$\leq 0,28$	$\leq 0,14$	$\leq 0,14$	$\leq 0,12$	$\leq 0,26$	$\leq 0,22$	n.a.
Paluel - zi proche, à moins de 5 km du site	Paluel, lieu-dit Le Tôt	19/03/2019	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	cenbre	1,68	12/06/2019	$\leq 0,058$	$0,238 \pm 0,052$	$\leq 0,12$	$\leq 0,072$	$\leq 0,085$	$\leq 0,072$	$\leq 0,13$	$\leq 0,17$	n.a.
Paluel - zi proche, à moins de 5 km du site	Saint-Valery-en-Caux	19/03/2019	Mousses terrestres	Polytric	Entier	frais	1,14	22/03/2019	$\leq 0,24$	$0,40 \pm 0,40$	$\leq 0,30$	$\leq 0,34$	$\leq 0,25$	$\leq 0,29$	$\leq 0,25$	$\leq 0,57$	$\leq 0,29$
Paluel - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Gueutteville-les-Grès	06/08/2019	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	cenbre	8,07	16/12/2019	$\leq 0,0028$	$0,0042 \pm 0,0016$	$\leq 0,011$	$\leq 0,0046$	$\leq 0,0046$	$\leq 0,0038$	$\leq 0,011$	$\leq 0,0061$	n.a.

n.a. : non analysé. * Du fait de sa courte période radioactive, l' ^{131}I 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 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	³ H libre (Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation)	³ H libre (Bq.kg ⁻¹ frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Paluel - zi proche, à moins de 5 km du site	Ingouville	05/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	14,13	17/10/2019	1,70±0,70	1,58±0,65	Bq.kg ⁻¹ frais
Paluel - zi proche, à moins de 5 km du site	Paluel, lieu-dit Le Tôt	19/03/2019	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	1,78	27/05/2019	4,10±0,70	1,79±0,31	Bq.kg ⁻¹ frais
Paluel - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Gueutteville-les-Grès	06/08/2019	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,37	17/10/2019	≤ 0,66	≤ 0,57	Bq.L ⁻¹ d'ECH.
-	Ingouville	05/08/2019	Eaux de boisson	Eau de boisson	Filtrat à 0,20 µm	-	22/10/2019	≤ 0,60	≤ 0,60	Bq.L ⁻¹ d'ECH.

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 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Paluel - zi proche, à moins de 5 km du site	Ingouville	05/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	14,13	05/11/2019	2,20±0,70	0,076±0,025	Bq.kg ⁻¹ frais
Paluel - zi proche, à moins de 5 km du site	Paluel, lieu-dit Le Tôt	19/03/2019	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	1,78	02/06/2019	3,50±0,70	1,10±0,23	Bq.kg ⁻¹ frais
Paluel - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Gueutteville-les-Grès	06/08/2019	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,37	14/11/2019	0,60±0,60	0,059±0,059	Bq.L ⁻¹ d'ECH.

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 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure du ^{14}C	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ C)	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ frais ou Bq.L ⁻¹ d'ECH.)	C _{TOT} (g.kg ⁻¹ frais ou g.L ⁻¹ d'ECH)	$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (‰)	pMC (%)	Unité
Paluel - zi proche, à moins de 5 km du site	Ingouville	05/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	14,13	31/01/2020	239,1±1,6	6,633±0,044	28	-28,72±0,30	101,10±0,68	Frais
Paluel - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Gueutteville-les-Grès	06/08/2019	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,37	04/01/2020	229±11	16,60±0,80	72	-26,94±0,30	97,0±4,7	Liquide

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 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Frais/sec	Fractions	%
Paluel - Champ proche	Veulettes-sur-Mer, commune limitrophe de Paluel	18/03/2019	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	08/07/2019	sec	1,28	Matière organique	0,1±0,1
									Argiles (<2µm)	0,1±0,1
									Limons Fins	0,3±0,1
									Limons Grossiers	0,3±0,3
									Sables Fins	47,0±0,7
Sables Grossiers	50,2±0,2									
Paluel - Champ proche	Saint-Valery-en-Caux	18/03/2019	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	08/07/2019	sec	3,61	Matière organique	2,0±0,1
									Argiles (<2µm)	0,1±0,1
									Limons Fins	41,1±0,4
									Limons Grossiers	19,6±0,2
									Sables Fins	4,5±0,2
Sables Grossiers	0,6±0,2									
Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port, en amont de la commune de Veulettes	19/03/2019	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	08/07/2019	sec	1,36	Matière organique	0,2±0,1
									Argiles (<2µm)	4,4±0,1
									Limons Fins	0,3±0,1
									Limons Grossiers	0,6±0,6
									Sables Fins	50,2±0,6
Sables Grossiers	46,0±0,2									

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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sédiments et les algues, $Bq.kg^{-1} frais$ pour les mollusques, les crustacés et les poissons).

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{40}K	Famille du ^{232}Th	Famille de l' ^{238}U			7Be
										^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	18/03/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	3,61	12/06/2019	247±22	11,1±1,4	n.a.	21,0±8,0	n.a.	≤ 2,4
Paluel - champ proche	Veulettes-sur-Mer	18/03/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,28	13/06/2019	106±10	4,30±0,60	n.a.	≤ 5,0	n.a.	≤ 1,7
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port	19/03/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,36	12/06/2019	92,0±8,0	3,20±0,50	n.a.	≤ 13	n.a.	≤ 1,6
Paluel - champ proche	Paluel	18/03/2019	Algues	<i>Fucus serratus</i>	Entier	cendre	5,12	13/06/2019	1 330±130	5,33±0,80	4,45±0,90	≤ 18	2,38±0,88	11,3±1,8
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	18/03/2019	Algues	<i>Fucus serratus</i>	Entier	frais	4,98	21/03/2019	1 559±90	10,4±5,0	n.a.	≤ 125	n.a.	14,4±8,5
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	18/03/2019	Algues	<i>Fucus serratus</i>	Entier	cendre	4,98	22/08/2019	1 410±140	6,14±0,88	4,86±0,97	≤ 20	2,44±0,97	≤ 6,3
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	19/03/2019	Algues	<i>Fucus serratus</i>	Entier	frais	5,73	21/03/2019	1 398±63	4,6±4,6	n.a.	≤ 115	n.a.	10,3±9,2
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	19/03/2019	Algues	<i>Fucus serratus</i>	Entier	cendre	5,73	12/12/2019	1 380±130	5,07±0,80	4,6±1,0	≤ 21	≤ 1,6	≤ 27
Paluel - champ proche	Paluel, au large	01/04/2019	Crustacés aquatiques	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Entier	cendre	2,35	22/08/2019	47,5±5,0	1,13±0,23	≤ 0,38	≤ 4,5	0,68±0,30	≤ 1,3
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port, au large	05/04/2019	Crustacés aquatiques	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Entier	cendre	2,54	22/08/2019	43,9±4,7	0,87±0,22	≤ 0,49	≤ 8,1	0,56±0,31	≤ 2,0
Paluel - champ proche	Paluel, au large	16/07/2019	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	cendre	3,72	06/12/2019	132±13	≤ 0,028	0,145±0,041	≤ 0,94	0,439±0,069	≤ 0,25
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port, au large	24/07/2019	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	cendre	3,65	06/12/2019	126±12	≤ 0,035	0,144±0,048	≤ 1,2	0,412±0,067	0,27±0,13
Paluel - champ proche	Paluel, au large	15/07/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	cendre	4,01	06/12/2019	109±11	≤ 0,020	≤ 0,053	≤ 0,74	≤ 0,061	≤ 0,16
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port, au large	25/05/2019	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	cendre	4,71	13/12/2019	121±11	≤ 0,020	≤ 0,053	≤ 0,69	≤ 0,059	≤ 0,35

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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sédiments et les algues, $Bq.kg^{-1}$ frais pour les mollusques, les crustacés et les poissons).

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{124}Sb	^{125}Sb	^{108m}Ag	^{106}Rh	^{241}Am	$^{131}I^*$
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	18/03/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	3,61	12/06/2019	$\leq 0,11$	$2,97 \pm 0,27$	$\leq 0,23$	$1,06 \pm 0,17$	$\leq 0,15$	$\leq 0,14$	$\leq 0,25$	$\leq 0,31$	$\leq 0,12$	$\leq 1,1$	n.a.	n.a.
Paluel - champ proche	Veulettes-sur-Mer	18/03/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,28	13/06/2019	$\leq 0,080$	$0,250 \pm 0,060$	$\leq 0,15$	$\leq 0,080$	$\leq 0,100$	$\leq 0,090$	$\leq 0,18$	$\leq 0,21$	$\leq 0,090$	$\leq 0,80$	n.a.	n.a.
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port	19/03/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,36	12/06/2019	$\leq 0,080$	$0,170 \pm 0,050$	$\leq 0,16$	$\leq 0,090$	$\leq 0,11$	$\leq 0,080$	$\leq 0,18$	$\leq 0,21$	$\leq 0,090$	$\leq 0,80$	n.a.	n.a.
Paluel - champ proche	Paluel	18/03/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	cendre	5,12	13/06/2019	$\leq 0,12$	$\leq 0,12$	$\leq 0,28$	$0,24 \pm 0,11$	$\leq 0,18$	$\leq 0,15$	$\leq 0,28$	$\leq 0,28$	$\leq 0,15$	$\leq 1,3$	$\leq 0,15$	n.a.
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	18/03/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	frais	4,98	21/03/2019	$\leq 0,80$	$\leq 1,00$	$\leq 0,90$	$\leq 1,25$	$\leq 0,80$	$\leq 1,00$	$\leq 0,85$	$\leq 2,49$	n.a.	$\leq 8,0$	n.a.	$\leq 1,25$
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	18/03/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	cendre	4,98	22/08/2019	$\leq 0,14$	$0,227 \pm 0,071$	$\leq 0,60$	$0,39 \pm 0,12$	$\leq 0,23$	$\leq 0,20$	$\leq 0,65$	$\leq 0,34$	$\leq 0,17$	$\leq 1,7$	$\leq 0,17$	n.a.
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	19/03/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	frais	5,73	21/03/2019	$\leq 0,74$	$\leq 1,15$	$\leq 0,92$	$\leq 1,15$	$\leq 0,80$	$\leq 1,15$	$\leq 0,80$	$\leq 2,29$	n.a.	$\leq 6,9$	n.a.	$\leq 0,74$
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	19/03/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	cendre	5,73	12/12/2019	$\leq 0,16$	$\leq 0,19$	$\leq 1,9$	$\leq 0,24$	$\leq 0,34$	$\leq 0,27$	$\leq 2,4$	$\leq 0,40$	$\leq 0,19$	$\leq 2,1$	$\leq 0,16$	n.a.
Paluel - champ proche	Paluel, au large	01/04/2019	Crustacés aquatiques	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Entier	cendre	2,35	22/08/2019	$\leq 0,035$	$\leq 0,033$	$\leq 0,12$	$\leq 0,050$	$\leq 0,050$	$\leq 0,040$	$\leq 0,15$	$\leq 0,098$	$\leq 0,048$	$\leq 0,35$	$\leq 0,040$	n.a.
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port, au large	05/04/2019	Crustacés aquatiques	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Entier	cendre	2,54	22/08/2019	$\leq 0,054$	$\leq 0,047$	$\leq 0,18$	$\leq 0,060$	$\leq 0,081$	$\leq 0,058$	$\leq 0,20$	$\leq 0,13$	$\leq 0,067$	$\leq 0,58$	$\leq 0,045$	n.a.
Paluel - champ proche	Paluel, au large	16/07/2019	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	cendre	3,72	06/12/2019	$\leq 0,0066$	$0,0163 \pm 0,0038$	$\leq 0,025$	$\leq 0,010$	$\leq 0,011$	$\leq 0,0089$	$\leq 0,028$	$\leq 0,015$	$0,0137 \pm 0,0051$	$\leq 0,076$	$\leq 0,0081$	n.a.
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port, au large	24/07/2019	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	cendre	3,65	06/12/2019	$\leq 0,0078$	$0,0235 \pm 0,0045$	$\leq 0,029$	$\leq 0,012$	$\leq 0,013$	$\leq 0,010$	$\leq 0,029$	$\leq 0,019$	$0,0276 \pm 0,0067$	$\leq 0,088$	$\leq 0,0080$	n.a.
Paluel - champ proche	Paluel, au large	15/07/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	cendre	4,01	06/12/2019	$\leq 0,0046$	$0,171 \pm 0,016$	$\leq 0,020$	$\leq 0,0074$	$\leq 0,0074$	$\leq 0,0062$	$\leq 0,019$	$\leq 0,011$	$\leq 0,0059$	$\leq 0,052$	$\leq 0,0056$	n.a.
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port, au large	25/05/2019	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	cendre	4,71	13/12/2019	$\leq 0,0048$	$0,152 \pm 0,014$	$\leq 0,034$	$\leq 0,0070$	$\leq 0,0084$	$\leq 0,0070$	$\leq 0,038$	$\leq 0,011$	$\leq 0,0059$	$\leq 0,058$	$\leq 0,0058$	n.a.

n.a. : non analysé. * Du fait de sa courte période radioactive, l' ^{131}I 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 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	³ H libre (Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation)	³ H libre (Bq.kg ⁻¹ frais)
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	18/03/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	4,65	27/05/2019	4,60±0,70	3,61±0,55
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	19/03/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	5,64	27/05/2019	9,50±0,80	7,81±0,66

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 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ frais)
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	18/03/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	4,65	02/06/2019	7,30±0,90	0,77±0,10
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	19/03/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	5,64	02/06/2019	6,50±0,80	0,509±0,070
Paluel - champ proche	Paluel, au large	01/04/2019	Crustacés aquatiques	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Chair	4,26	07/08/2019	4,10±0,70	0,68±0,12
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port, au large	05/04/2019	Crustacés aquatiques	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Chair	3,91	07/08/2019	4,30±1,30	0,77±0,23
Paluel - champ proche	Paluel, au large	16/07/2019	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	3,65	12/12/2019	4,60±0,70	0,78±0,12
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port, au large	24/07/2019	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	3,60	12/12/2019	5,30±0,80	0,90±0,14
Paluel - champ proche	Paluel, au large	15/07/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	4,31	18/12/2019	4,70±0,80	0,72±0,13
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port, au large	25/05/2019	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	4,26	20/01/2020	11,3±1,2	1,74±0,20

Tableau 53 - Activités en ¹⁴C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/sec	Date de mesure du ¹⁴ C	¹⁴ C (Bq.kg ⁻¹ C)	¹⁴ C (Bq.kg ⁻¹ frais)	C _{TOT} (g.kg ⁻¹ frais)	δ ¹³ C/ ¹² C (‰)	pMC (%)
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	18/03/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	4,65	12/07/2019	269,4±2,3	18,33±0,16	68	-19,98±0,30	113,70±0,97
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	19/03/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	5,64	12/07/2019	277,6±2,4	15,32±0,13	55	-19,09±0,30	117,20±1,00
Paluel - champ proche	Paluel, au large	16/07/2019	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	3,65	31/01/2020	333,2±1,3	40,00±0,16	120	-16,79±0,30	140,60±0,55
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port, au large	24/07/2019	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	3,60	31/01/2020	330,6±1,4	38,69±0,16	120	-16,86±0,30	139,50±0,59
Paluel - champ proche	Paluel, au large	15/07/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	4,31	22/11/2019	371±18	43,0±2,1	120	-17,45±0,30	157,0±7,6
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port, au large	25/05/2019	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	4,26	29/01/2020	346±17	38,4±1,9	110	-17,83±0,30	146,0±7,2

Tableau 54 - Activités en ⁶³Ni mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/sec	Date de mesure	⁶³ Ni (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais)	Ni (g.kg ⁻¹ sec ou frais)	Unité
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	18/03/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	cendres	5,12	06/02/2020	1,10±0,17	0,0131±0,0014	sec
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	19/03/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	cendres	5,73	06/02/2020	1,16±0,18	0,0118±0,0013	sec
Paluel - champ proche	Paluel, au large	16/07/2019	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	cendres	3,72	11/02/2020	0,0124±0,0070	0,0005±0,0001	frais
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port, au large	24/07/2019	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	cendres	3,65	12/02/2020	0,0227±0,0090	0,0008±0,0001	frais

Tableau 55 - Activités en ⁵⁵Fe mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/sec	Date de mesure	⁵⁵ Fe (Bq.kg ⁻¹ sec)
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	18/03/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	cendre	4,98	07/03/2020	≤ 4,8
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	19/03/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	cendre	5,73	08/03/2020	≤ 8,0

6 ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE PENLY

6.1 Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures

Le CNPE de Penly est situé sur le littoral de la Manche à 10 km de Dieppe et 14 km du Tréport (Figure 19 page 119). Au regard de la circulation résiduelle générale des masses d'eau en Manche, dont la résultante est orientée vers l'est, le CNPE de Penly est situé "en aval" du CNPE de Flamanville (230 km à vol d'oiseau), de l'usine de traitement de combustibles usés ORANO La Hague (230 km) et du CNPE de Paluel (43 km), et "en amont" du CNPE de Gravelines (130 km). Le CNPE de Penly est équipé de deux tranches de la filière des réacteurs à eau pressurisée (REP) de 1300 MWe, respectivement couplées au réseau en mai 1990 (INB n° 136) et février 1992 (INB n° 140).

Les modalités d'exploitation et les limites des rejets d'effluents du CNPE de Penly, 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 intéressant l'environnement pour l'année 2019 ayant pu avoir une conséquence mesurable sur les niveaux d'activité des échantillons analysés dans le cadre du suivi.

La dispersion des rejets d'effluents dans l'environnement est contrainte par les conditions météorologiques et hydrodynamiques propres au site. Le régime éolien est généralement dominé par les vents de secteur ouest à sud-ouest. La circulation générale des masses d'eaux le long du littoral Cauchois assure, quant à elle, la dispersion des effluents liquides vers le nord-est en direction de la mer du Nord. En vives-eaux et en mortes-eaux, la tache thermique, qui peut être assimilée à la zone d'influence des rejets d'effluents liquides du site, est contenue dans un cercle de 5 km de rayon environ. L'échauffement à la station de rejet est évident en vives-eaux et en mortes-eaux (supérieur à +3°C ; [30, 31]).

La chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Penly est présentée sur la Figure 18 page 116. Les références bibliographiques sont présentées à la fin du rapport.

Évènements pouvant influencer le niveau de radioactivité dans l'environnement du CNPE

Études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Penly

- Début des essais nucléaires atmosphériques : 1945
- 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 - déc. 1978
- Dernier essai nucléaire aérien chinois : 16 oct.1980
- Incendie de silo à l'usine de la Hague : 6 janvier 1981
- Couplage des tranches 1 à 4 du CNPE de Paluel juin 1984 à avril 1986
- Accident de Tchernobyl : 26 avril 1986
- Mise en service de l'usine de traitement UP3 de la Hague : 1990
- Couplage tranche 1 : mai 1990
- Couplage tranche 2 : février 1992
- Mise en service de l'usine de traitement UP2-800 de la Hague : 1994
- Arrêt de l'exploitation du site de stockage de la Manche : 1994
- Accident de Fukushima : 11 mars 2011

1985-1986	État de référence
1988	Réactualisation
1991	Étude de la radioactivité des moules
1992	Bilan bibliographique + Suivi annuel
1993-1999	Suivis annuels
2000	Suivi annuel + Bilan décennal
2001-2010	Suivis annuels
2011	Suivi annuel + Bilan décennal
2012 à 2019	Suivis annuels

Figure 18 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Penly.

6.2 État radiologique de l'environnement terrestre

6.2.1 Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvements ainsi que la nature des échantillons collectés sont reportées sur la Figure 19 page 119. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 56 page 118 et suivante. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique du sol de pâturage échantillonné sont présentées dans le Tableau 69 page 144. 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. Une production agricole est prélevée hors 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. La zone terrestre potentiellement la plus influencée par les rejets d'effluents à l'atmosphère du CNPE (ZI) se trouve ainsi dans le secteur est à nord-est ou en champ proche (Penly et Petit-Caux, Guilmécourt). La station hors vents dominants (ZNI) est située dans le secteur sud (Petit-Caux, Glicourt).

L'eau prélevée à Guilmécourt provient d'un réseau d'eau potable distribuée par le Syndicat Mixte d'Eau et d'Assainissement Caux Nord Est, sur le site de production du réservoir du Bucq. Ce site alimente les communes de Bailly en Rivière (hameau de Brétigny), Bellengreville, Gouchaupré, Greny, Guilmécourt, Intraville et Tourville la Chapelle. La distribution d'eau potable à Guilmécourt exploite le captage des Annettes à Envermeu, situé à 13,5 m de profondeur. La nappe phréatique qui l'alimente, nommée Nappe de la Craie, est située au sud-sud-est du CNPE, dans une zone hors de l'influence potentielle du CNPE. Il n'a pas été possible de trouver une nappe, exploitée pour produire de l'eau potable ou d'irrigation qui soit sous l'influence de la nappe située sous le CNPE.

En 2019, comme cela est régulièrement le cas, les prélèvements d'herbe et de salade en ZNI ont été effectués à la station de Glicourt, et non aux stations de Coqueréaumont et de Fresles, du fait de la meilleure localisation et de la pérennité de la station de Glicourt. L'IRSN n'a rencontré aucune autre difficulté de prélèvement dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly.

Par rapport à l'année 2018, la stratégie d'échantillonnage est restée identique.

Tableau 56 - Identification des échantillons analysés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique de 2019 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Station	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
1,0 km ENE	Penly - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Penly	01,22646	49,97921	Mousses terricoles	<i>Eurhynchium species</i>	Entier	22/04/2019	Spectrométrie gamma (frais) + I-131	1,13	-
3,8 km SSE	Penly - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Petit-Caux, Glicourt	01,23700	49,94700	Légumes	Salades	Feuilles	06/08/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	18,93	6,03
3,8 km SSE	Penly - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Petit-Caux, Glicourt	01,23700	49,94700	Légumes	Salades	Feuilles	06/08/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	17,21	-
6,9 km ESE	Penly - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	06/08/2019	Spectrométrie gamma (sec)	1,22	-
6,9 km ESE	Penly - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	06/08/2019	Granulométrie + MO (sec)	1,22	-
6,9 km ESE	Penly - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Légumes	Salades	Feuilles	06/08/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	11,74	6,23
6,9 km ESE	Penly - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Légumes	Salades	Feuilles	06/08/2019	Tritium lié + %H (sec)	10,65	-
6,9 km ESE	Penly - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Légumes	Salades	Feuilles	06/08/2019	Tritium libre (liquide)	10,65	-
6,9 km ESE	Penly - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Légumes	Salades	Feuilles	06/08/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	10,65	-
6,9 km ESE	Penly - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	06/08/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	4,40	10,16
6,9 km ESE	Penly - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	06/08/2019	Tritium lié + %H (sec)	4,01	-
6,9 km ESE	Penly - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	06/08/2019	Tritium libre (liquide)	4,01	-
6,9 km ESE	Penly - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Aliments liquides non transformés	Lait de vache	Entier	06/08/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	8,06	16,06
6,9 km ESE	Penly - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Aliments liquides non transformés	Lait de vache	Entier	06/08/2019	Tritium lié + %H (sec)	7,37	-
6,9 km ESE	Penly - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Aliments liquides non transformés	Lait de vache	Entier	06/08/2019	Tritium libre (liquide)	7,37	-
6,9 km ESE	Penly - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Aliments liquides non transformés	Lait de vache	Entier	06/08/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	7,37	-
6,9 km ESE	-	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Eau douce	Eau de boisson	Filtrat à 0,20 µm	26/08/2019	Tritium libre (liquide)	-	-

- : absence de traitement.

Prélèvements hors vents dominants de l'installation
Prélèvements sous les vents dominants de l'installation
Prélèvements dans une nappe phréatique

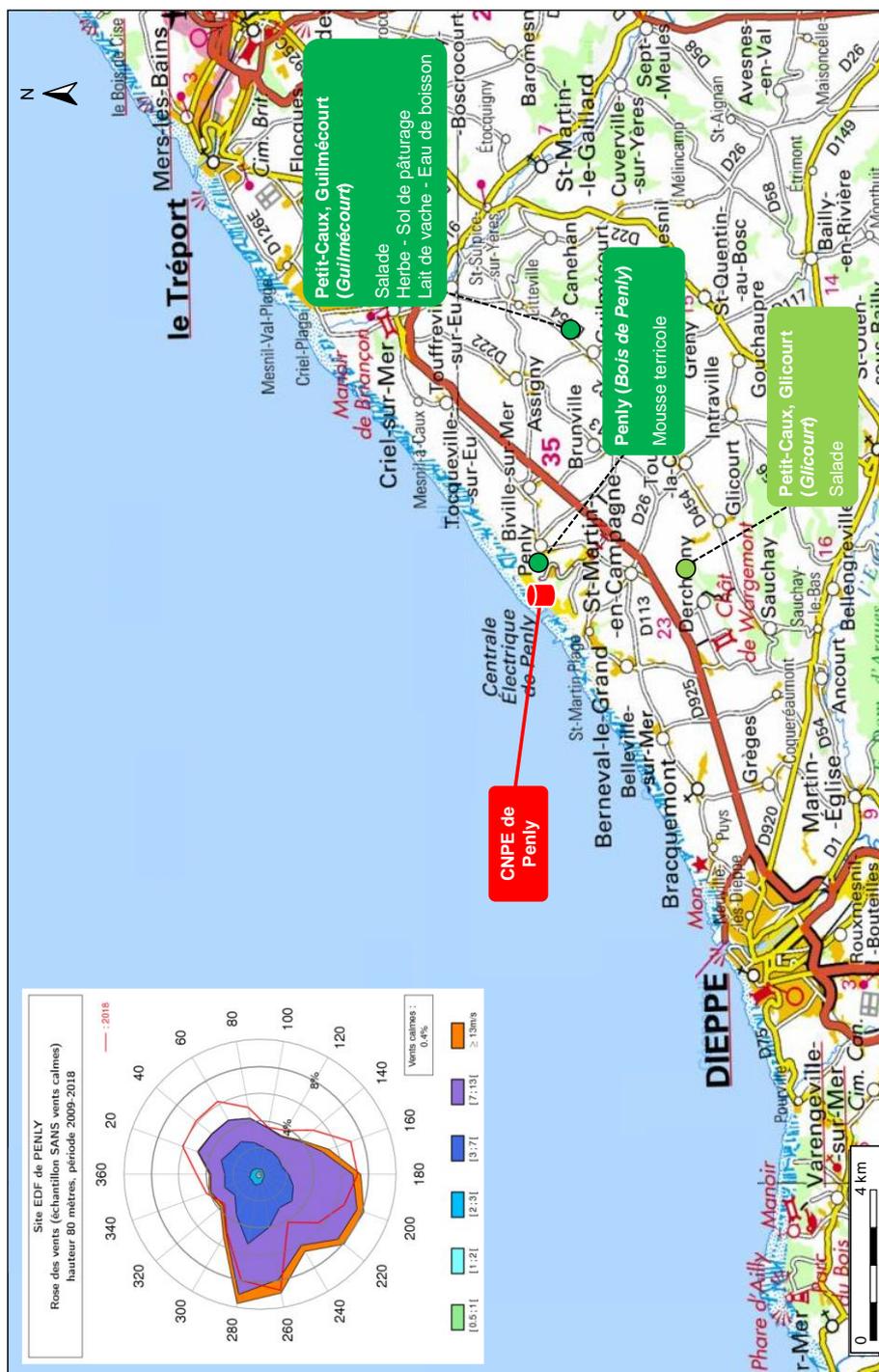


Figure 19 - Localisation du CNPE de Penly et des stations terrestres⁹ échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2019.

⁹ 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.

6.2.2 Résultats et interprétation

6.2.2.1 *Radionucléides émetteurs gamma*

6.2.2.1.1 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 Penly sont présentés au sein du Tableau 70 page 145.

En 2019, la radioactivité d'origine naturelle quantifiée dans les matrices terrestres environnant le CNPE de Penly 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 [3]. La radioactivité d'origine naturelle présente une composante tellurique prépondérante dans les sols et les végétaux, représentée par le ^{40}K et, dans une moindre mesure, par les familles du ^{232}Th et de ^{238}U . Dans le sol, l'activité massique en ^{40}K , en fils du ^{232}Th et du ^{238}U est en accord avec les valeurs observées en France métropolitaine [3, 26, 27]. 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 ^{40}K 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.

6.2.2.1.2 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 Penly sont présentés au sein du tableau 71 page 146.

Le seul radionucléide d'origine artificielle quantifié est le ^{137}Cs , dans le sol, les salades, et les mousses terricoles. En revanche, ce radionucléide n'est pas quantifiable dans l'herbe et le lait. Les activités en ^{137}Cs détectées dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly en 2019 sont en accord avec les niveaux observés au cours des dix dernières années (Figure 20 page 121, et Tableau 58 à Tableau 63, pages 133 et suivantes) 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 (Figure 20 page 121). Les analyses d' ^{131}I 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 γ détectées dans le cadre de cette étude ne mettent pas en évidence de marquage de l'environnement par les rejets d'effluents liquide du CNPE.

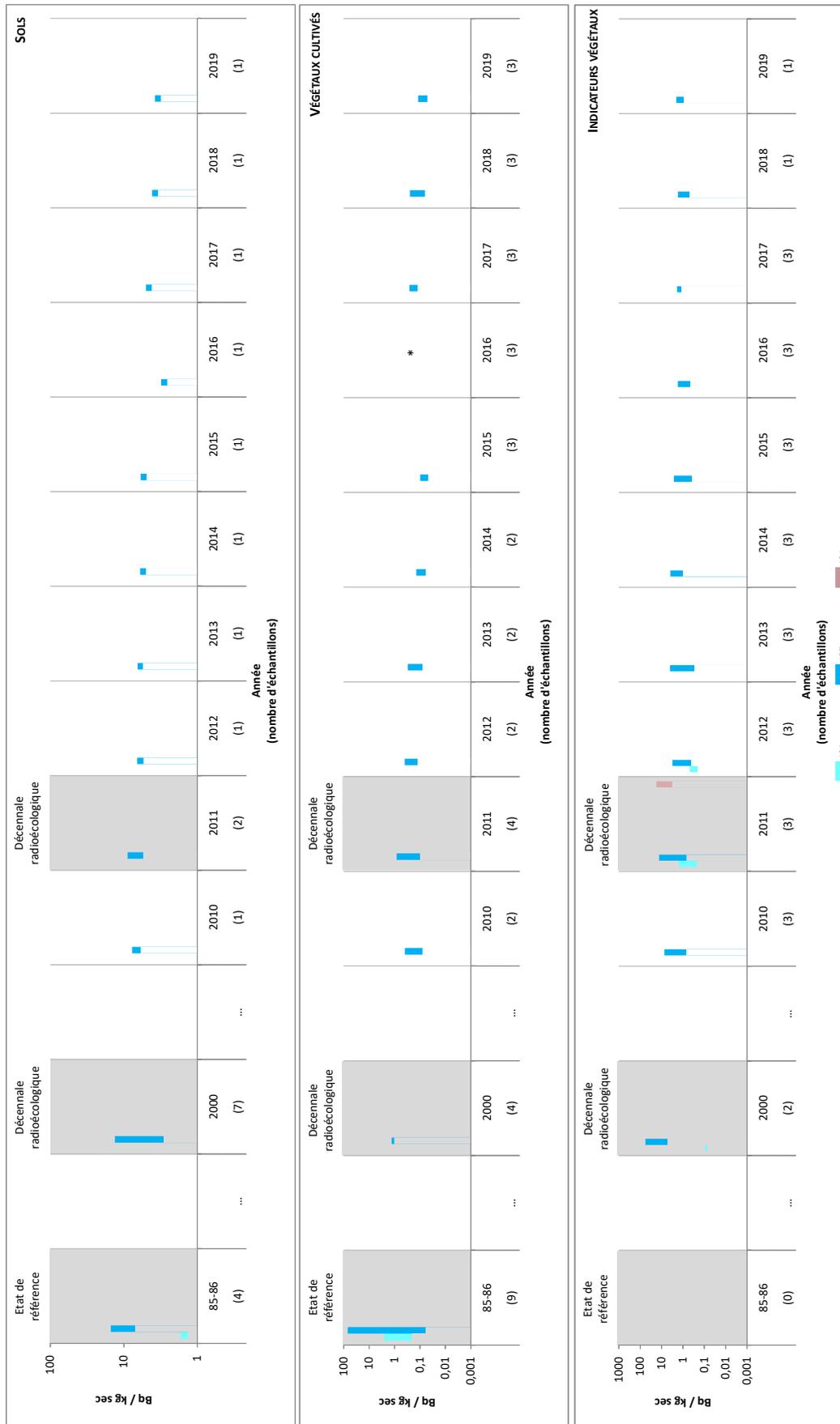


Figure 20 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des sols (cultivés et non cultivés), végétaux cultivés (herbe et légumes) et indicateurs végétaux (mousses et lichens) échantillonnés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly. * : activités inférieures au seuil de décision.

6.2.2.2 Radionucléides émetteurs bêta

6.2.2.2.1 Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly sont présentés au sein du Tableau 72 et du Tableau 73 page 147, respectivement.

Les activités en tritium sont proches du bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence d'un apport industriel local (1 à 3 Bq.L⁻¹, avec une valeur moyenne de 1,3 Bq.L⁻¹ d'après [3]) pour la salade, l'herbe, le lait et l'eau de boisson, et ne mettent pas en évidence d'apport local en champ proche du CNPE de Penly.

6.2.2.2.2 Carbone 14

Les résultats d'analyse des activités en ¹⁴C dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly sont présentés au sein du Tableau 74 page 148.

L'activité en ¹⁴C dans le lait échantillonnées en champ proche (230±11 Bq.kg⁻¹ C) et dans les salades en champ proche (225±11 Bq.kg⁻¹ C) est proche du bruit de fond sur le territoire métropolitain français hors influence industrielle locale (proche de 230 Bq.kg⁻¹ C d'après [3]), tandis qu'elle est supérieure à ce bruit de fond dans les salades échantillonnées en champ lointain (245±12 Bq.kg⁻¹ C) du CNPE de Penly. Ainsi, en se basant sur les résultats des années précédentes et de cette année, aucun apport local en ¹⁴C lié aux rejets d'effluents atmosphériques du CNPE de Penly n'est mis en évidence.

6.3 État radiologique de l'environnement aquatique

6.3.1 Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvements ainsi que la nature des échantillons collectés sont reportées sur la Figure 21 page 126. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 57 pages 123 et suivantes. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique des sédiments échantillonnés sont présentées dans le Tableau 75 page 149. 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 (ports de Dieppe et du Tréport). 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 Penly hormis dans les ports (cas du Tréport et de Dieppe). Ainsi, à la station de Petit-Caux (Penly Digue Nord), 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 quotidiennement par ces rejets. A Penly, le champ proche désigne les stations situées à quelques kilomètres au sud-ouest, au nord-ouest et au nord-est du CNPE, de Berneval au Tréport. 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 Penly, le champ lointain désigne les stations situées au-delà d'une quinzaine de kilomètres en « amont » du CNPE au regard de la circulation résiduelle générale des masses d'eau en Manche [1, 2], à l'ouest de Dieppe (Dieppe et Sainte-Marguerite-sur-Mer).

En 2019, comme habituellement, 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, pour des raisons de sécurité, les prélèvements de sédiment, d'algues et de mollusques (patelles) habituellement effectués à Sainte-Marguerite-sur-Mer en champ lointain, ont dû être annulés. Ils ont été remplacés par des prélèvements effectués à Dieppe (sédiment et algues) et au large de Sainte-Marguerite-sur-Mer (mollusques : patelles remplacées par des bulots).

Par rapport à l'année 2018, la stratégie d'échantillonnage est restée identique.

Tableau 57 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Penly en 2018 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Station	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
1,9 km NE	Penly - Champ proche	Petit-Caux	01,22777	49,98828	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	23/04/2019	Spectrométrie gamma (sec)	1,70	-
1,9 km NE	Penly - Champ proche	Petit-Caux	01,22777	49,98828	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	23/04/2019	Granulométrie + MO (sec)	1,70	-
1,9 km NE	Penly - Champ proche	Petit-Caux	01,22777	49,98828	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	23/04/2019	Spectrométrie gamma (frais) + I-131	4,24	-
1,9 km NE	Penly - Champ proche	Petit-Caux	01,22777	49,98828	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	23/04/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	4,24	4,08
1,9 km NE	Penly - Champ proche	Petit-Caux	01,22777	49,98828	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	23/04/2019	Tritium lié + %H (sec)	4,04	-
1,9 km NE	Penly - Champ proche	Petit-Caux	01,22777	49,98828	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	23/04/2019	Tritium libre (liquide)	4,04	-
1,9 km NE	Penly - Champ proche	Petit-Caux	01,22777	49,98828	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	23/04/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	4,04	-
1,9 km NE	Penly - Champ proche	Petit-Caux	01,22777	49,98828	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	23/04/2019	Nickel-63 + stable (cendres)	4,24	4,08
1,9 km NE	Penly - Champ proche	Petit-Caux	01,22777	49,98828	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	23/04/2019	Fer-55 (cendres)	4,24	4,08

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Station	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/ Sec	Sec/ Cendres
2 km NO	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Chair	20/07/2019	Tritium lié + %H (sec)	4,34	-
2 km NO	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Entier	20/07/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	2,39	1,82
2 km NO	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	30/03/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	4,24	8,10
2 km NO	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	30/03/2019	Tritium lié + %H (sec)	4,34	-
2 km NO	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	30/03/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	4,34	-
2 km NO	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	03/05/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	4,69	16,48
2 km NO	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	03/05/2019	Tritium lié + %H (sec)	4,36	-
2 km NO	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	03/05/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	4,36	-
10,3 km SO	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08594	49,92904	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	23/04/2019	Spectrométrie gamma (sec)	2,04	-
10,3 km SO	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08594	49,92904	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	23/04/2019	Granulométrie + MO (sec)	2,04	-
10,3 km SO	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08594	49,92904	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	23/04/2019	Spectrométrie gamma (frais) + I-131	6,07	-
10,3 km SO	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08594	49,92904	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	23/04/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	6,07	4,09
10,3 km SO	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08594	49,92904	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	23/04/2019	Tritium lié + %H (sec)	5,79	-
10,3 km SO	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08594	49,92904	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	23/04/2019	Tritium libre (liquide)	5,79	-
10,3 km SO	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08594	49,92904	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	23/04/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	5,79	-
10,3 km SO	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08594	49,92904	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	23/04/2019	Nickel-63 + stable (cendres)	6,07	4,09
10,3 km SO	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08594	49,92904	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	23/04/2019	Fer-55 (cendres)	6,07	4,09
15,1 km NE	Penly - Champ proche	Le Treport	01,37169	50,06349	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	23/04/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	6,74	4,07
15,1 km NE	Penly - Champ proche	Le Treport	01,37169	50,06349	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	23/04/2019	Spectrométrie gamma (sec)	1,48	-

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Station	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
15,1 km NE	Penly - Champ proche	Le Treport	01,37169	50,06349	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	23/04/2019	Granulométrie + MO (sec)	1,48	-
19 km OSO	Penly - Champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	0,96420	49,93140	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Chair	22/02/2019	Tritium lié + %H (sec)	3,88	-
19 km OSO	Penly - Champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	0,96420	49,93140	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Entier	22/02/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	2,24	1,77
19 km OSO	Penly - Champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	0,96420	49,93140	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	03/04/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	4,37	5,75
19 km OSO	Penly - Champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	0,96420	49,93140	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	03/04/2019	Tritium lié + %H (sec)	4,23	-
19 km OSO	Penly - Champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	0,96420	49,93140	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	03/04/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	4,23	-
19 km OSO	Penly - Champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	0,96420	49,93140	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	12/01/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	4,02	18,13
19 km OSO	Penly - Champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	0,96420	49,93140	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	12/01/2019	Tritium lié + %H (sec)	3,71	-
19 km OSO	Penly - Champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	0,96420	49,93140	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	12/01/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	3,71	-

- : absence de traitement.

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 21 - Localisation du CNPE de Penly et des stations marines¹⁰ échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2019.

¹⁰ 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.

6.3.2 Résultats et interprétation

6.3.2.1 *Radionucléides émetteurs gamma*

6.3.2.1.1 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 Penly sont présentés au sein du Tableau 76 page 150.

En 2019, la radioactivité d'origine naturelle détectée dans les matrices marines environnant le CNPE de Penly est qualitativement et quantitativement équivalente à 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 ^{40}K est le radionucléide prépondérant en termes d'activité. Les activités en ^{40}K 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, les algues et les sédiments ; à des teneurs élevées dans les algues du fait de leur capacité à capter les aérosols, et dans les sédiments fins, aptes à retenir les radionucléides. 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.

6.3.2.1.2 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 Penly sont présentés au sein du Tableau 77 page 151.

La radioactivité d'origine artificielle au sein des sédiments et des organismes marins végétaux et animaux est essentiellement imputable au ^{137}Cs , et dans une moindre mesure, au ^{60}Co et à l' ^{131}I . Le ^{137}Cs est quantifié dans la majorité des échantillons (10 des 14 échantillons analysés). Le ^{60}Co est détecté dans les sédiments à des niveaux d'activité similaires en champ proche et lointain, et dans les araignées de mer échantillonnées en champ lointain du CNPE de Penly. L' ^{131}I recherché dans les algues est détecté dans les échantillons prélevés en champ lointain. Les résultats de mesure par spectrométrie gamma obtenus en 2019 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 Penly (Figure 22 page 128 et Figure 23 page 129, et Tableau 64 à Tableau 68, pages 139 et suivantes).

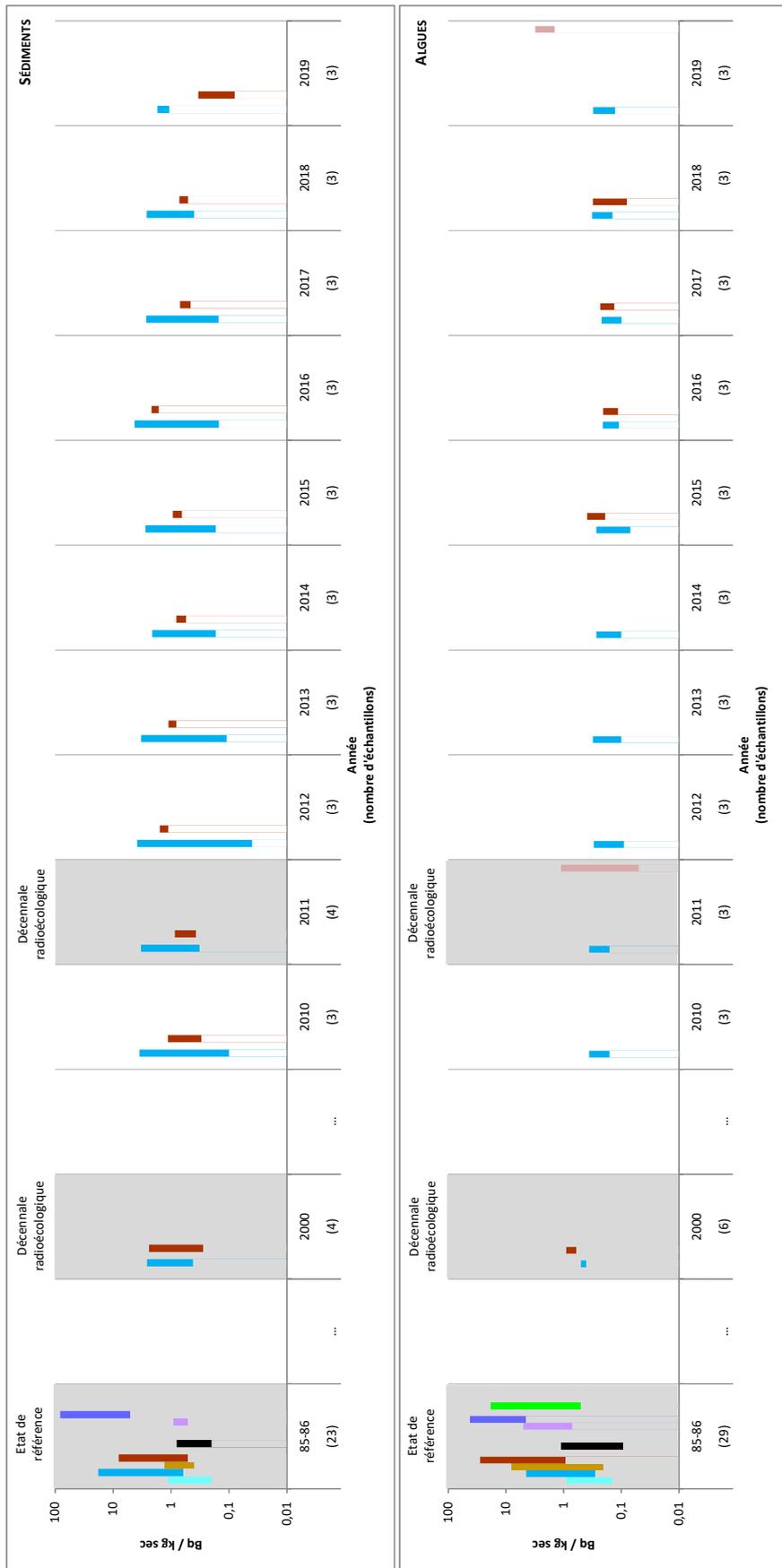


Figure 22 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des sédiments et des algues échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Penly.

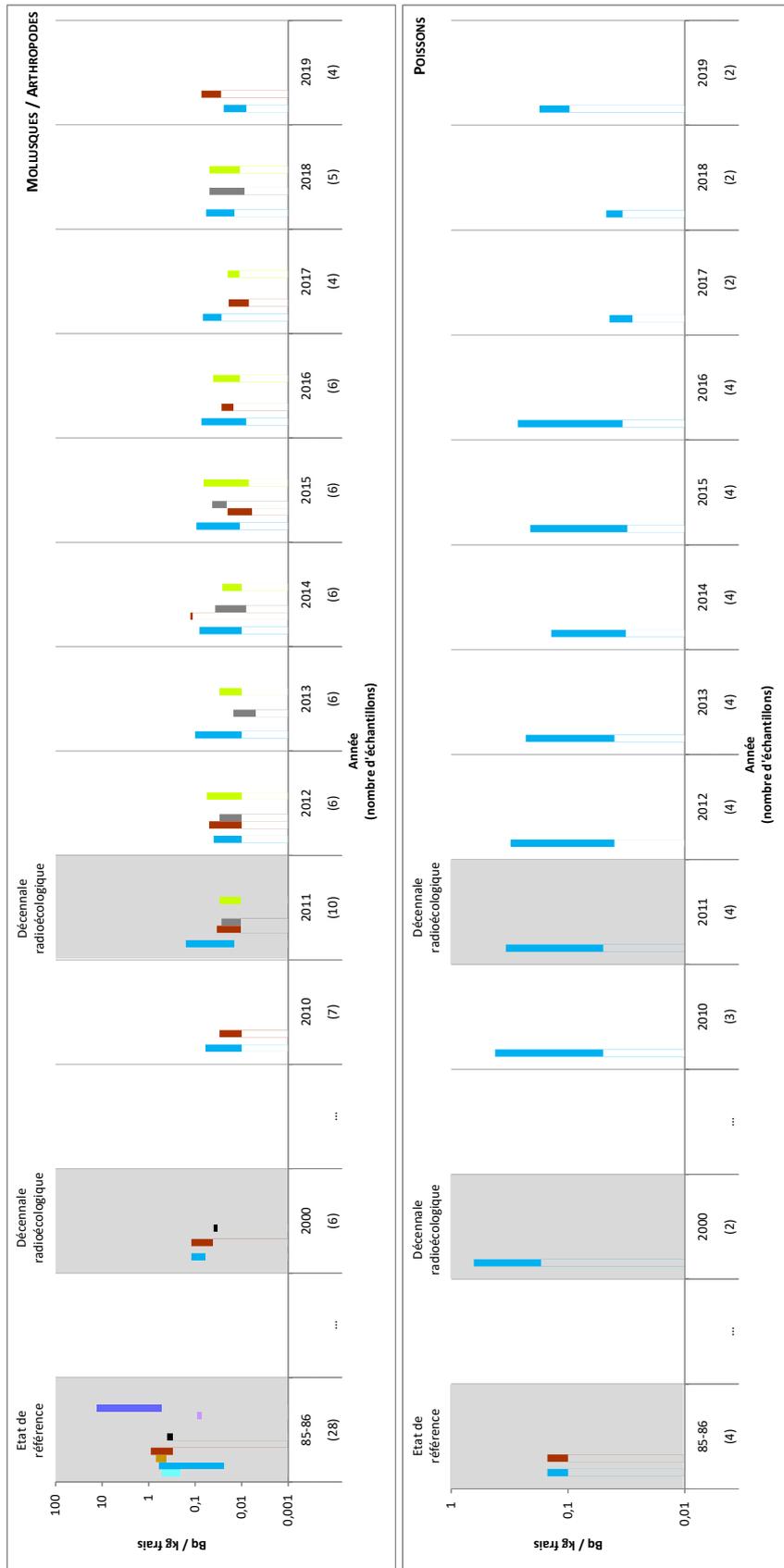


Figure 23 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des mollusques et crustacés et des poissons échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Penly.

6.3.2.2 Radionucléides émetteurs bêta

6.3.2.2.1 Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans l'environnement marin du CNPE de Penly sont présentés au sein du Tableau 78 et du Tableau 79 page 152, respectivement.

Les activités en tritium libre et organiquement lié dans les échantillons prélevés en champ lointain, toutes matrices confondues, 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 [18, 28]) et majoritairement imputables à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague. En champ proche les activités en tritium libre et/ou organiquement lié sont plus élevées (6,2±0,7 à 8,5±1,3 Bq.L⁻¹) qu'en champ lointain (4,2±0,7 à 5,6±0,9 Bq.L⁻¹), hormis pour les araignées de mer, pour lesquelles les activités en tritium organiquement lié sont comparables en champ proche et lointain. Ces observations sont cohérentes avec les valeurs observées au cours de la dernière décennie, et témoignent d'un marquage des algues, mollusques et poissons par le tritium attribuable aux rejets du CNPE.

6.3.2.2.2 Carbone 14

Les résultats d'analyse des activités en ¹⁴C dans l'environnement marin du CNPE de Penly sont présentés au sein du Tableau 80 page 152.

L'activité en ¹⁴C mesurée au sein des algues prélevées en champ lointain du CNPE de Penly est comparable au bruit de fond en ¹⁴C observé hors influence dans les matrices biologiques collectées en entrée de Manche (240±2 Bq.kg⁻¹ C d'après [29]). Les activités en ¹⁴C quantifiées au sein des mollusques et des poissons échantillonnés en champ proche et en champ lointain des rejets d'effluents liquides du CNPE de Penly, ainsi que dans les algues échantillonnées en champ proche, sont supérieures au bruit de fond en ¹⁴C observé hors influence dans les matrices biologiques collectées en entrée de Manche (240±2 Bq.kg⁻¹ C d'après [29]). Elles sont cependant cohérentes avec les valeurs moyennes enregistrées par le passé du fait du marquage global par les INB de la Manche [29], et notamment de la proximité de l'usine ORANO La Hague. Ce marquage en ¹⁴C est plus prononcé au voisinage du point des rejets d'effluents liquides du CNPE de Penly pour les algues et les mollusques échantillonnés en 2019. Les activités observées dans les poissons en champs proche et lointain ne sont pas significativement différentes.

6.3.2.2.3 Nickel 63 et Fer 55

Les résultats d'analyse des activités en ⁶³Ni et en ⁵⁵Fe dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly sont présentés au sein du Tableau 81 et du Tableau 82 page 154, respectivement.

Le ⁶³Ni est quantifié dans les algues, à un niveau d'activité supérieur en champ proche par rapport au champ lointain des rejets d'effluents liquides du CNPE de Penly. Les activités mesurées dans l'environnement du CNPE de Penly sont toutefois dans la même gamme que les valeurs mesurées en 2011 et 2018.

Le ⁵⁵Fe, recherché dans les algues en 2019, y est quantifiable en champ proche (6,1±5,1 Bq.kg⁻¹ sec, à un niveau proche de la limite de détection) mais pas en champ lointain (≤ 5,1 Bq.kg⁻¹ sec). 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, et la valeur positive en champ proche est difficilement exploitable en l'état.

6.4 Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Penly

Les niveaux d'activités des radionucléides naturels détectés en 2019 dans l'environnement du CNPE de Penly sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés depuis l'instauration des suivis radioécologiques. Le ^{40}K est le radionucléide d'origine naturelle prépondérant dans tous les échantillons.

La radioactivité gamma d'origine artificielle du milieu terrestre est exclusivement imputable au ^{137}Cs , présent dans le sol, les mousses terrestres et les salades échantillonnées, sans que la contribution des rejets du site ne soit démontrée. 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 ^{137}Cs depuis le milieu marin vers l'environnement terrestre *via* les aérosols marins 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. Les activités en tritium libre et organiquement lié ne mettent pas en évidence de marquage lié aux rejets d'effluent à l'atmosphère. L'activité en ^{14}C dans les salades en champ lointain est significativement supérieure au bruit de fond sur le territoire français hors influence industrielle (proche de $230 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ C}$ d'après [3]), tandis qu'elle est proche du bruit de fond dans le lait et dans les salades en champ proche.

En 2019, les diverses matrices sédimentaires et biologiques collectées dans l'environnement marin du CNPE de Penly révèlent principalement la présence de ^{137}Cs . À une fréquence moindre, d'autres radionucléides artificiels tels le ^{60}Co (dans les sédiments et les crustacés) et ^{131}I (dans les algues) sont également quantifiés. Le ^{60}Co quantifié dans les matrices marines a une double origine : les rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague et ceux du CNPE de Penly, voire ceux du CNPE de Paluel distant de 43 km. L'origine du marquage en ^{131}I au sein des algues prélevées dans le port de Dieppe est incertaine. L' ^{131}I est présent dans les rejets d'effluents liquides des CNPE de Penly et Paluel, ainsi que dans ceux des centres de médecine nucléaire les plus proches (au Havre). Toutefois, considérant les temps de transit des masses d'eau (plusieurs jours à plusieurs semaines) entre ces installations et le port de Dieppe, le taux de dilution durant le transit, la courte période radioactive de l' ^{131}I (8,02 jours), et considérant de surcroît que les activités en iodes radioactifs au sein des rejets d'effluent liquides au cours des trois semaines précédant l'échantillonnage pour les CNPE de Penly et Paluel est restée inférieure à 0,27 MBq par CNPE (données EDF), il est possible que ce marquage en iode radioactif relève davantage d'un événement local, possiblement par les urines d'un patient traité en médecine nucléaire. Les niveaux d'activité en radionucléides artificiels émetteurs gamma quantifiés dans l'environnement marin proche du CNPE de Penly, notamment dans les produits de consommation (mollusques, arthropode et poissons) restent très faibles. Les activités en tritium libre et organiquement lié dans les différents échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Penly 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. Dans les algues, les mollusques et les poissons, les activités en tritium libre et/ou organiquement lié restent toutefois plus élevées en champ proche qu'en champ lointain en 2019. Les activités en ^{14}C témoignent de l'influence globale des INB de la Manche [29], avec un marquage plus prononcé au voisinage du point des rejets d'effluents liquides du CNPE de Penly dans les algues, les mollusques et les poissons.

6.5 Tableaux de résultats

Tableau 58 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	7 km	7 km	5 et 7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	6,9 km	6,9 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	6,0 (1/1)	6,8 (1/1)	3,7-6,0 (4/4)	6,0 (1/1)	6,0 (1/1)	5,5 (1/1)	5,4 (1/1)	2,8 (1/1)	4,6 (1/1)	3,8 (1/1)	3,5 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	7 km	7 km	5 et 7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	6,9 km	6,9 km
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	0,8 (1/12)	n.a.							
³ H lié	n.a.	n.a.	2,6-2,8 (2/2)	n.a.							
¹⁴ C	n.a.	n.a.	213-236 (2/2)	n.a.							

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

Tableau 59 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	1,25 et 6,5 km	1,25 et 6,5 km	1,25 et 6,5 km	1,25 et 6,5 km	1,25 et 6,5 km	1,25 et 6,5 km	1,2 et 7 km	1,2 et 7 km	1,2 et 7 km	1,0 km	1,0 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	0,6-0,9 (2/2)	1,3 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	2,7-4,0 (2/2)	1,3-6,4 (2/2)	2,7-12,2 (2/2)	4,1-10,5 (2/2)	2,8-3,3 (2/2)	1,5-3,4 (2/2)	0,8-2,2 (2/2)	0,8-1,4 (2/2)	1,5-1,6 (2/2)	1,1 (1/1)	1,47 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	-	-	5,3-5,7 (2/2)	-	-	-	-	-	-	-	-

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	7 km	7 km	5 et 7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	0,8 et 7 km	7 km	6,9 km	6,9 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	-	0,2 (1/1)	0,2 (1/2)	0,2 (1/1)	0,1 (1/1)	0,1 (1/1)	0,07 (1/1)	-	-	0,09 (1/1)	0,04 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	7 km	7 km	5 et 7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	0,8 et 7 km	1,1 et 7, 0 km	6,9 km	6,9 km
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	0,8-2,5 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	3,9 (1/1)	1,7-7,6 (2/2)	3,2 (1/1)	1,2 (1/1)	2,0 (1/1)
³ H lié	n.a.	n.a.	1,4-1,7 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	2,3 (1/1)	1,4 (1/1)	1,5 (1/1)
¹⁴ C	n.a.	237 (1/1)	236-238 (2/2)	236 (1/1)	233 (1/1)	n.a.	212-238 (5/5)	222_247 (5/5)	227-242 (5/5)	224-246 (4/4)	232-239 (4/4)

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	7 km	7 km	5 et 7 km	7 km	7 km	7 km	3,9 et 7 km	3,9 et 7 km	3,9 et 7 km	3,9 et 6,9 km	3,8 et 6,9 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	-	0,3 (1/1)	0,2-0,7 (2/2)	0,3 (1/1)	0,2 (1/1)	-	-	-	0,2 (1/2)	0,1-0,2 (2/2)	0,1 (1/2)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	7 km	7 km	5 et 7 km	7 km	7 km	7 km	3,9 et 7 km	3,9 et 7 km	3,9 et 7 km	3,9 et 6,9 km	3,8 et 6,9 km
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	0,7-2,0 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	1,0 (1/1)	1,3 (1/1)	1,2 (1/1)	1,5 (1/1)	1,5 (1/1)
³ H lié	n.a.	n.a.	1,5-2,3 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	3,0 (1/1)	1,1 (1/1)	1,3 (1/1)	1,1 (1/1)	2,1 (1/1)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	231-233 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	224-228 (2/2)	238-244 (2/2)	228-235 (2/2)	238-241 (2/2)	225-245 (2/2)

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	7 km	7 km	5 et 7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	6,9 km	6,9 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.L⁻¹)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	-	-	-	-	0,01 (1/1)	-	0,005 (1/1)	0,005 (1/1)	-	-	0,003 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	7 km	7 km	5 et 7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	6,9 km	6,9 km
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)											
³ H libre	1,1 (1/1)	1,4 (1/1)	0,9 (2/2)	1,5 (1/1)	0,7 (1/1)	1,0 (1/1)	-	1,0 (1/1)	1,0 (1/1)	0,9 (1/1)	0,9 (1/1)
³ H lié	n.a.	1,3 (1/1)	1,2-1,3 (2/2)	0,8 (1/1)	1,5 (1/1)	1,5 (1/1)	1,7 (1/1)	3,2 (1/1)	1,3 (1/1)	1,1 (1/1)	1,3 (1/1)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	237-246 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	228-231 (4/4)	228-235 (4/4)	238 (1/1)	237 (1/1)	230 (1/1)

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	6,9 km	6,9 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.L⁻¹)											
¹³⁴ Cs	n.a.	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.	n.a.
⁵⁷ Co	n.a.	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.	n.a.
⁶⁰ Co	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{110m} Ag	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
¹⁰⁶ Ru/Rh	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.	n.a.	n.a.
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹)											
³ H libre	1,0 (1/1)	-	1,0 (1/1)	-	-	-	-	-	0,9 (1/1)	-	0,8 (1/1)

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	0 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 15,1 km	1,9 à 15,1 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,3-3,2 (3/3)	0,2-3,2 (3/3)	0,4-3,0 (4/4)	0,1-3,5 (3/3)	0,2-3,0 (3/3)	0,2-1,9 (3/3)	0,2-2,5 (3/3)	0,2-3,9 (2/3)	0,2-2,4 (3/3)	0,5-2,4 (3/3)	1,2-1,6 (3/3=
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	1,4 (1/3)	0,4-1,0 (2/3)	0,5-0,7 (2/4)	1,3 (1/3)	1,0 (1/3)	0,7 (1/3)	0,8 (1/3)	1,9 (1/3)	0,6 (1/3)	0,6 (2/3)	0,1-0,3 (3/3)
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	n.a.										

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	0 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 15,1 km	1,9 à 15,1 km
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	3,8-5,2 (4/4)	n.a.	n.a.						
³ H lié	n.a.	n.a.	4,5-15,4 (4/4)	n.a.	n.a.						
¹⁴ C	n.a.	n.a.	179-444 (4/4)	n.a.	n.a.						

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	1,4 à 19 km	1,4 à 15,0 km	1,9 à 15,1 km								
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,21-0,23 (3/3)	0,24-0,29 (3/3)	0,22-0,30 (3/3)	0,15-0,24 (3/3)	0,15-0,25 (3/3)	0,17-0,21 (3/3)	0,12-0,21 (3/3)	0,14-0,18 (3/3)	0,14-0,19 (3/3)	0,19-0,28 (3/3)	0,19-0,24 (3/3)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	0,2 (1/3)	-	-	-	-	-	0,29 (1/3)	0,16 (1/3)	0,18 (1/3)	0,13-0,24 (2/3)	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	-	-	0,37-0,83 (3/3)	-	-	-	-	-	-	-	2,25 (1/2)

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 et 19 km	1,4 et 19 km	1,4 à 19 km	1,4 et 10,3 km	1,9 et 10,3 km
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	3,6-6,0 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	2,4-2,7 (2/2)	3,8-5,1 (2/2)	n.a.	2,5-6,3 (2/2)	4,2-6,2 (2/2)
³ H lié	n.a.	n.a.	3,7-5,4 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3,2-6,2 (2/2)	4,8-6,9 (2/2)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	244-275 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	288-305 (2/2)	235-285 (2/2)

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	0,5 et 18 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 et 19 km	1,4 à 19 km	2 et 19 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ frais)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,02-0,09 (3/3)	0,02-0,05 (4/5)	0,02-0,13 (8/8)	0,02-0,03 (3/4)	0,02-0,05 (4/4)	0,019-0,056 (4/4)	0,018-0,047 (4/4)	0,013-0,065 (4/4)	0,03-0,04 (2/2)	0,02-0,05 (3/3)	0,01-0,02 (2/2)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	0,02 (2/5)	0,01-0,02 (3/8)	0,03 (1/4)	-	0,012 (1/4)	0,013 (1/4)	0,021 (1/4)	0,01 (1/2)	-	-
^{110m} Ag	-	-	0,03 (1/8)	-	-	-	-	-	-	0,01 (1/3)	-
^{108m} Ag	-	-	0,01-0,02 (2/8)	0,02 (1/4)	0,009-0,011 (2/4)	0,019-0,026 (2/4)	0,032 (1/4)	-	-	0,01-0,04 (2/3)	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	0,02-0,04 (2/8)	0,02 (1/4)	0,02 (1/4)	0,016-0,019 (2/4)	0,012-0,017 (2/4)	0,019-0,024 (2/4)	0,02 (1/2)	0,02 (1/3)	-
Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	0,5 et 18 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 et 19 km	1,4 et 19 km	1,4 et 19 km	1,4 et 19 km	1,4 et 19 km	1,4 et 19 km	1,4 et 19 km	2 et 19 km
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	2,7-6,6 (5/5)	5,0-6,0 (2/2)	5,8-5,9 (2/2)	5,6-8,2 (2/2)	3,9-5,3 (2/2)	7,1-7,2 (2/2)	7,6-9,6 (2/2)	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	n.a.	3,4-4,4 (5/5)	3,7-4,0 (2/2)	4,0-4,6 (2/2)	4,8-5,6 (2/2)	4,1-4,7 (2/2)	6,7-6,8 (2/2)	4,4-6,8 (2/2)	5,2-8,9 (2/2)	5,6-8,5 (2/2)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	285-352 (5/5)	275-302 (2/2)	272-322 (2/2)	270-299 (2/2)	267-298 (2/2)	271-293 (2/2)	265-291 (2/2)	313-382 (2/2)	436-486 (2/2)

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2 et 18 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ frais)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	-	-	0,04-0,05 (3/4)	-	0,07 (1/2)	0,048-0,056 (2/2)	0,066 (1/2)	0,035 (1/2)	0,05 (1/2)	0,04-0,05 (2/2)	-
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	0,11 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,11 (1/2)
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{108m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	0,041 (1/2)	0,026 (1/2)	-	0,02-0,04 (2/2)	-

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2 et 18 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	2,8-3,4 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	5,7-5,8 (2/2)	3,1-5,2 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	n.a.	2,7-2,9 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	5,4-5,6 (2/2)	4,8-4,9 (2/2)	4,2-4,3 (2/2)	4,5-4,6 (2/2)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	351-359 (2/2)	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 68 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de poissons collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2 et 18 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ frais)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,059-0,06 (2/2)	0,06-0,38 (3/3)	0,05-0,30 (4/4)	0,1-0,3 (4/4)	0,05-0,21 (4/4)	0,04-0,17 (4/4)	0,04-0,19 (4/4)	0,04-0,24 (4/4)	0,04 (2/2)	0,04 (2/2)	0,10-0,16 (2/2)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{108m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2 et 18 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C)											
³ H libre	3,4-3,7 (2/2)	2,2-2,7 (2/2)	2,4-5,6 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	5,8-7,0 (2/2)	6,5-8,7 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	n.a.	3,6-4,1 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	4,4-4,8 (2/2)	3,7-5,5 (2/2)	4,8-4,9 (2/2)	3,8-4,1 (2/2)	4,5-7,2 (2/2)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	319-454 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	320-350 (2/2)	342-513 (2/2)	440-489 (2/2)	408-412 (2/2)	334-351 (2/2)

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

Tableau 69 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques de l'échantillon de sol collecté dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Frais/sec	Fractions	%
Penly - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	06/08/2019	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie <i>0 - 5 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	21/10/2019	sec	1,22	Matière organique	5,4±0,1
									Argile (< 2µm)	11,5±0,2
									Limons fins	17,6±0,4
									Limons grossiers	39,5±0,8
									Sables fins	27,1±0,5
									Sables grossiers	4,3±0,3

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

	Prélèvements hors vents dominants de l'installation
	Prélèvements sous les vents dominants de l'installation
	Prélèvements dans une nappe phréatique

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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sols et les végétaux, $Bq.L^{-1}$ pour le lait).

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{40}K	Famille du ^{232}Th	Famille de l' ^{238}U			7Be
										^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	06/08/2019	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,22	18/11/2019	396±36	33,2±4,0	n.a.	34±11	n.a.	≤ 3,7
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	06/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	endre	11,74	13/12/2019	1 760±180	0,47±0,18	≤ 0,77	≤ 9,6	6,42±0,77	71,2±6,7
Penly - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Petit-Caux, Glicourt	06/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	endre	18,93	18/11/2019	1 770±170	≤ 0,76	≤ 1,8	≤ 27	11,9±1,5	114±12
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	06/08/2019	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	endre	4,40	16/12/2019	699±69	0,86±0,16	≤ 0,43	≤ 5,9	18,3±1,7	221±21
Penly - zi proche, à moins de 5 km du site	Penly	22/04/2019	Mousses terrestres	Eurhynchium species Eurhynchium species	Entier	frais	1,13	26/04/2019	263±15	6,33±2,0	n.a.	≤ 45	n.a.	296±17
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	06/08/2019	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	endre	8,06	16/12/2019	43,2±3,9	≤ 0,021	≤ 0,046	≤ 0,70	≤ 0,054	≤ 0,14

n.a. : non analysé.

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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sols et les végétaux, $Bq.L^{-1}$ pour le lait).

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{124}Sb	^{125}Sb	$^{131}I^*$
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	06/08/2019	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,22	18/11/2019	$\leq 0,14$	$3,46 \pm 0,32$	$\leq 0,34$	$\leq 0,14$	$\leq 0,21$	$\leq 0,20$	$\leq 0,40$	$\leq 0,40$	n.a.
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	06/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	cendre	11,74	13/12/2019	$\leq 0,067$	$0,085 \pm 0,034$	$\leq 0,24$	$\leq 0,11$	$\leq 0,11$	$\leq 0,096$	$\leq 0,24$	$\leq 0,16$	n.a.
Penly - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Petit-Caux, Glicourt	06/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	cendre	18,93	18/11/2019	$\leq 0,17$	$\leq 0,12$	$\leq 0,50$	$\leq 0,27$	$\leq 0,27$	$\leq 0,22$	$\leq 0,46$	$\leq 0,38$	n.a.
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	06/08/2019	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	cendre	4,40	16/12/2019	$\leq 0,040$	$0,044 \pm 0,019$	$\leq 0,15$	$\leq 0,059$	$\leq 0,069$	$\leq 0,049$	$\leq 0,15$	$\leq 0,089$	n.a.
Penly - zi proche, à moins de 5 km du site	Penly	22/04/2019	Mousses terrestres	Eurhynchium species Eurhynchium species	Entier	frais	1,13	26/04/2019	$\leq 0,29$	$1,47 \pm 0,57$	$\leq 0,35$	$\leq 0,42$	$\leq 0,29$	$\leq 0,45$	$\leq 0,31$	$\leq 0,68$	$\leq 0,36$
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	06/08/2019	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	cendre	8,06	16/12/2019	$\leq 0,0046$	$0,0032 \pm 0,0015$	$\leq 0,017$	$\leq 0,0070$	$\leq 0,0077$	$\leq 0,0062$	$\leq 0,016$	$\leq 0,010$	n.a.

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

Tableau 72 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	³ H libre (Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation)	³ H libre (Bq.kg ⁻¹ frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	06/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	10,65	15/10/2019	1,50±0,60	1,36±0,54	Bq.kg ⁻¹ frais
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	06/08/2019	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	4,01	15/10/2019	2,00±0,60	1,50±0,45	Bq.kg ⁻¹ frais
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	06/08/2019	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,37	17/10/2019	0,90±0,70	0,78±0,61	Bq.L ⁻¹ d'ECH.
	Petit-Caux, Guilmécourt	26/08/2019	Eaux de boisson	Eau de boisson	Filtrat à 0,20 µm	-	22/10/2019	0,80±0,60	0,80±0,60	Bq.L ⁻¹ d'ECH.

n.a. : non analysé.

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 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	06/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	10,65	05/11/2019	2,10±0,70	0,102±0,034	Bq.kg ⁻¹ frais
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	06/08/2019	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	4,01	05/11/2019	1,50±0,60	0,208±0,084	Bq.kg ⁻¹ frais
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	06/08/2019	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,37	14/11/2019	1,30±0,60	0,130±0,060	Bq.L ⁻¹ d'ECH.

n.a. : non analysé.

Tableau 74 - Activités en ¹⁴C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure du ¹⁴ C	¹⁴ C (Bq.kg ⁻¹ C)	¹⁴ C (Bq.kg ⁻¹ frais ou Bq.L ⁻¹ d'ECH.)	C _{TOT} (g.kg ⁻¹ frais ou g.L ⁻¹ d'ECH)	δ ¹³ C/ ¹² C (‰)	pMC (%)	Unité
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	06/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	sec	10,65	28/01/2020	225±11	8,60±0,42	38	-28,91±0,30	95,0±4,7	frais
Penly - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Petit-Caux, Glicourt	06/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	sec	17,21	22/11/2019	245±12	5,61±0,27	23	-28,46±0,30	104,0±5,1	frais
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	06/08/2019	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	sec	7,37	28/01/2020	230±11	16,40±0,78	71	-23,93±0,30	97,0±4,6	liquide

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 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Frais/sec	Fractions	%
Penly - Champ proche	Petit-Caux	23/04/2019	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	08/07/2019	sec	1,70	Matière organique	1,1±0,1
									Argiles (<2µm)	0,9±0,2
									Limons Fins	13,6±0,4
									Limons Grossiers	22,0±0,9
									Sables Fins	48,0±0,2
Sables Grossiers	0,4±0,2									
Penly - Champ lointain	Le Tréport	23/04/2019	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	08/07/2019	sec	1,48	Matière organique	0,6±0,1
									Argile (< 2µm)	0,6±0,2
									Limons fins	11,1±0,2
									Limons grossiers	9,9±1,2
									Sables fins	63,1±0,2
Sables grossiers	2,8±0,2									
Penly - Champ lointain	Dieppe	23/04/2019	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	08/07/2019	sec	2,04	Matière organique	1,6±0,1
									Argile (< 2µm)	1,0±0,3
									Limons fins	19,4±0,6
									Limons grossiers	31,7±0,6
									Sables fins	26,4±0,2
Sables grossiers	1,0±0,2									

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 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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sédiments et les algues, $Bq.kg^{-1} frais$ pour les mollusques, les crustacés et les poissons).

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{40}K	Famille du ^{232}Th	Famille de ^{238}U			7Be
										^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Penly - champ proche	Le Tréport	23/04/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,48	13/06/2019	173±16	9,5±1,2	n.a.	29,0±7,0	n.a.	15,9±1,7
Penly - champ proche	Petit-Caux	23/04/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,70	22/08/2019	203±18	9,5±1,2	n.a.	≤ 13	n.a.	27,6±3,5
Penly - champ lointain	Dieppe	23/04/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	2,04	13/06/2019	215±19	15,5±1,9	n.a.	16±10	n.a.	18,4±2,0
Penly - champ proche	Petit-Caux	23/04/2019	Algues	<i>Fucus serratus</i>	Entier	frais	4,24	25/04/2019	1 297±81	≤ 3,4	n.a.	≤ 106	n.a.	10,6±5,5
Penly - champ proche	Petit-Caux	23/04/2019	Algues	<i>Fucus serratus</i>	Entier	cencre	4,24	19/06/2019	1 220±120	4,56±0,71	10,0±1,2	≤ 20	2,74±0,91	5,6±1,1
Penly - champ proche	Le Tréport	23/04/2019	Algues	<i>Fucus serratus</i>	Entier	cencre	6,74	19/06/2019	1 350±120	2,70±0,47	5,21±0,88	≤ 17	2,31±0,84	2,73±0,84
Penly - champ lointain	Dieppe	23/04/2019	Algues	<i>Fucus serratus</i>	Entier	frais	6,07	26/04/2019	1 402±85	3,6±3,6	n.a.	≤ 91	n.a.	≤ 5,0
Penly - champ lointain	Dieppe	23/04/2019	Algues	<i>Fucus serratus</i>	Entier	cencre	6,07	12/12/2019	1 320±120	3,15±0,54	2,22±0,76	≤ 17	2,69±0,88	≤ 15
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	20/07/2019	Crustacés aquatiques	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Entier	cencre	2,39	09/12/2019	56,3±5,7	1,08±0,18	0,57±0,18	≤ 3,4	0,55±0,21	≤ 1,0
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	22/02/2019	Crustacés aquatiques	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Entier	cencre	2,24	06/12/2019	55,0±5,5	1,28±0,20	0,58±0,15	≤ 3,3	1,18±0,20	≤ 7,3
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	30/03/2019	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	cencre	4,24	09/12/2019	114±11	≤ 0,047	0,285±0,073	≤ 1,7	0,37±0,11	≤ 1,7
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	03/04/2019	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	cencre	4,37	22/08/2019	127±13	≤ 0,060	0,33±0,10	≤ 2,0	≤ 0,19	≤ 0,52
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	03/05/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	cencre	4,69	09/12/2019	127±13	≤ 0,040	≤ 0,10	≤ 1,4	≤ 0,12	≤ 0,91
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	12/01/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	cencre	4,02	22/08/2019	123±12	≤ 0,038	≤ 0,096	≤ 1,4	≤ 0,096	≤ 0,82

n.a. : non analysé.

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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sédiments et les algues, $Bq.kg^{-1} frais$ pour les mollusques, les crustacés et les poissons).

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{124}Sb	^{125}Sb	^{108m}Ag	^{106}Rh	$^{131}I^*$	^{241}Am
Penly - champ proche	Le Tréport	23/04/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,48	13/06/2019	$\leq 0,080$	$1,20 \pm 0,13$	$\leq 0,13$	$0,140 \pm 0,060$	$\leq 0,11$	$\leq 0,11$	$\leq 0,13$	$\leq 0,25$	$\leq 0,100$	$\leq 0,80$	n.a.	n.a.
Penly - champ proche	Petit-Caux	23/04/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,70	22/08/2019	$\leq 0,100$	$1,26 \pm 0,14$	$\leq 0,27$	$0,260 \pm 0,080$	$\leq 0,14$	$\leq 0,13$	$\leq 0,33$	$\leq 0,28$	$\leq 0,11$	$\leq 1,1$	n.a.	n.a.
Penly - champ lointain	Dieppe	23/04/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	2,04	13/06/2019	$\leq 0,11$	$1,55 \pm 0,17$	$\leq 0,16$	$0,250 \pm 0,090$	$\leq 0,15$	$\leq 0,13$	$\leq 0,17$	$\leq 0,31$	$\leq 0,13$	$\leq 1,1$	n.a.	n.a.
Penly - champ proche	Petit-Caux	23/04/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	frais	4,24	25/04/2019	$\leq 1,23$	$\leq 0,81$	$\leq 0,72$	$\leq 0,81$	$\leq 0,68$	$\leq 0,85$	$\leq 0,68$	$\leq 2,12$	n.a.	$\leq 6,36$	$\leq 0,72$	n.a.
Penly - champ proche	Petit-Caux	23/04/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	cendre	4,24	19/06/2019	$\leq 0,12$	$0,238 \pm 0,071$	$\leq 0,22$	$\leq 0,20$	$\leq 0,17$	$\leq 0,15$	$\leq 0,20$	$\leq 0,29$	$\leq 0,17$	$\leq 1,2$	n.a.	$\leq 0,17$
Penly - champ proche	Le Tréport	23/04/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	cendre	6,74	19/06/2019	$\leq 0,10$	$0,189 \pm 0,061$	$\leq 0,20$	$\leq 0,17$	$\leq 0,15$	$\leq 0,12$	$\leq 0,17$	$\leq 0,27$	$\leq 0,15$	$\leq 1,1$	n.a.	$\leq 0,15$
Penly - champ lointain	Dieppe	23/04/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	frais	6,07	26/04/2019	$\leq 1,03$	$\leq 0,61$	$\leq 0,61$	$\leq 0,61$	$\leq 0,55$	$\leq 0,61$	$\leq 0,55$	$\leq 1,82$	n.a.	$\leq 4,86$	$2,25 \pm 0,85$	n.a.
Penly - champ lointain	Dieppe	23/04/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	cendre	6,07	12/12/2019	$\leq 0,12$	$0,213 \pm 0,068$	$\leq 1,1$	$\leq 0,17$	$\leq 0,27$	$\leq 0,20$	$\leq 1,5$	$\leq 0,29$	$\leq 0,15$	$\leq 1,5$	n.a.	$\leq 0,15$
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	20/07/2019	Crustacés aquatiques	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Entier	cendre	2,39	09/12/2019	$\leq 0,025$	$\leq 0,025$	$\leq 0,094$	$\leq 0,037$	$\leq 0,051$	$\leq 0,034$	$\leq 0,11$	$\leq 0,067$	$\leq 0,037$	$\leq 0,30$	n.a.	$\leq 0,030$
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	22/02/2019	Crustacés aquatiques	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Entier	cendre	2,24	06/12/2019	$\leq 0,033$	$\leq 0,025$	$\leq 0,43$	$0,050 \pm 0,023$	$\leq 0,070$	$\leq 0,043$	$\leq 0,65$	$\leq 0,080$	$\leq 0,035$	$\leq 0,40$	n.a.	$\leq 0,028$
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	30/03/2019	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	cendre	4,24	09/12/2019	$\leq 0,012$	$0,0143 \pm 0,0064$	$\leq 0,13$	$\leq 0,017$	$\leq 0,026$	$\leq 0,020$	$\leq 0,15$	$\leq 0,026$	$\leq 0,014$	$\leq 0,15$	n.a.	$\leq 0,013$
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	03/04/2019	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	cendre	4,37	22/08/2019	$\leq 0,014$	$0,0167 \pm 0,0076$	$\leq 0,056$	$\leq 0,020$	$\leq 0,024$	$\leq 0,018$	$\leq 0,056$	$\leq 0,032$	$\leq 0,019$	$\leq 0,16$	n.a.	$\leq 0,016$
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	03/05/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	cendre	4,69	09/12/2019	$\leq 0,010$	$0,158 \pm 0,017$	$\leq 0,078$	$\leq 0,014$	$\leq 0,019$	$\leq 0,014$	$\leq 0,10$	$\leq 0,025$	$\leq 0,012$	$\leq 0,12$	n.a.	$\leq 0,012$
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	12/01/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	cendre	4,02	22/08/2019	$\leq 0,0096$	$0,108 \pm 0,011$	$\leq 0,069$	$\leq 0,014$	$\leq 0,018$	$\leq 0,014$	$\leq 0,082$	$\leq 0,022$	$\leq 0,011$	$\leq 0,11$	n.a.	$\leq 0,011$

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

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 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	³ H libre (Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation)	³ H libre (Bq.kg ⁻¹ frais)
Penly - champ proche	Petit-Caux	23/04/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	4,04	29/05/2019	6,20±0,70	4,66±0,53
Penly - champ lointain	Dieppe	23/04/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	5,79	29/05/2019	4,20±0,70	3,47±0,58

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 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ frais)
Penly - champ proche	Petit-Caux	23/04/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	4,04	18/06/2019	6,90±0,80	0,89±0,11
Penly - champ lointain	Dieppe	23/04/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	5,79	22/06/2019	4,80±0,70	0,438±0,068
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	20/07/2019	Crustacés aquatiques	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Chair	2,34	18/12/2019	4,50±0,70	1,36±0,22
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	22/02/2019	Crustacés aquatiques	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Chair	3,88	18/12/2019	4,60±0,80	0,81±0,15
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	30/03/2019	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	4,34	12/12/2019	8,50±1,30	1,18±0,19
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	03/04/2019	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	4,23	17/07/2019	5,60±0,90	0,85±0,14
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	03/05/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	4,36	18/12/2019	7,20±0,80	1,07±0,13
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	12/01/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	3,71	26/07/2019	4,50±0,80	0,96±0,17

Tableau 80 - Activités en ¹⁴C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/sec	Date de mesure du ¹⁴ C	¹⁴ C (Bq.kg ⁻¹ C)	¹⁴ C (Bq.kg ⁻¹ frais)	C _{TOT} (g.kg ⁻¹ frais)	δ ¹³ C/ ¹² C (‰)	pMC (%)
Penly - champ proche	Petit-Caux	23/04/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	sec	4,04	18/10/2019	285,2±3,1	23,79±0,26	83	-18,47±0,30	120,4±1,3
Penly - champ lointain	Dieppe	23/04/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	sec	5,79	18/10/2019	235,2±2,6	14,42±0,16	61	-22,51±0,30	99,3±1,1
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	30/03/2019	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	sec	4,34	31/01/2020	485,7±1,2	48,71±0,12	100	-17,17±0,30	204,90±0,51
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	03/04/2019	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	sec	4,23	31/01/2020	436,4±0,8	45,32±0,08	100	-17,15±0,30	184,10±0,34
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	12/01/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	sec	3,71	16/09/2019	351±17	52,1±2,5	150	-17,94±0,30	141,0±6,8
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	03/05/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	sec	4,36	22/11/2019	334±16	35,8±1,7	110	-18,43±0,30	148,0±7,2

Tableau 81 - Activités en ⁶³Ni mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/ sec	Date de mesure ⁶³ Ni	⁶³ Ni (Bq.kg ⁻¹ sec)	Ni (g.kg ⁻¹ sec)
Penly - champ proche	Petit-Caux	23/04/2019	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	condres	4,24	31/07/2019	0,76±0,12	0,0108±0,0013
Penly - champ lointain	Dieppe	23/04/2019	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	condres	6,07	12/02/2020	0,29±0,07	0,0045±0,0005

Tableau 82 - Activités en ⁵⁵Fe mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/ sec	Date de mesure	⁵⁵ Fe (Bq.kg ⁻¹ sec)
Penly - champ proche	Petit-Caux	23/04/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	endre	4,24	07/03/2020	6,1±5,1
Penly - champ lointain	Dieppe	23/04/2019	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	endre	6,07	08/03/2020	≤ 5,1

7 ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE GRAVELINES

7.1 Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures

Le CNPE de Gravelines est situé sur le littoral de la mer du Nord, entre Calais et Dunkerque, à 2 km à l'est de Petit-Fort-Philippe et à 3 km au nord de Gravelines, au voisinage de l'avant-port ouest de Dunkerque (Figure 25 page 160). Au regard de la circulation résiduelle générale des masses d'eau en Manche, dont la résultante est orientée vers l'est, le CNPE de Gravelines est situé "en aval" de l'usine de traitement de combustibles usés ORANO La Hague (320 km à vol d'oiseau) et des CNPE de Flamanville (330 km), Paluel (167 km) et Penly (130 km). Le CNPE de Gravelines se compose de six tranches de la filière des réacteurs à eau pressurisée (REP) de 900 MWe, couplées au réseau en mars et août 1980 (réacteurs 1 et 2 ; INB n° 96), en novembre 1980 et mai 1981 (réacteurs 3 et 4 ; INB n° 97) et en août 1984 et juillet 1985 (réacteurs 5 et 6 ; INB n° 122).

Les modalités d'exploitation et les limites des rejets d'effluents du CNPE de Gravelines, 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 intéressant l'environnement pour l'année 2019 ayant pu avoir une conséquence mesurable sur les niveaux d'activité des échantillons analysés dans le cadre du suivi.

La dispersion des rejets d'effluents dans l'environnement est contrainte par les conditions météorologiques et hydrodynamiques propres au site. Le régime éolien est généralement dominé par les vents de secteur ouest-sud-ouest. Les vents de secteur nord-est, bien que non dominants, n'en demeurent pas moins fréquents. La circulation résiduelle générale des masses d'eaux le long de la côte d'Opale et des dunes de Flandre assure, quant à elle, la dispersion des effluents liquides vers le nord-est. Cependant, le modèle TRANSMER développé par l'IFREMER et l'IRSN a permis de mettre en évidence que sous certaines conditions météorologiques, associées à des vents persistants de nord-est, le régime de dispersion des masses d'eau vers le nord-est peut être freiné, voire inversé et orienté vers le Cap Gris-Nez [1, 32]. En vives-eaux, la tâche thermique, qui peut être assimilée à l'influence des rejets d'effluents liquides du site, est contenue dans un cercle de 6 km de rayon. En mortes-eaux, la tâche thermique est contenue dans un cercle de 7 km de rayon. L'échauffement à la station de rejet est évident en vives-eaux comme en mortes-eaux (supérieur à +3°C ; [33]).

La chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Gravelines est présentée sur la Figure 24 page 156. Les références bibliographiques sont présentées à la fin du rapport.

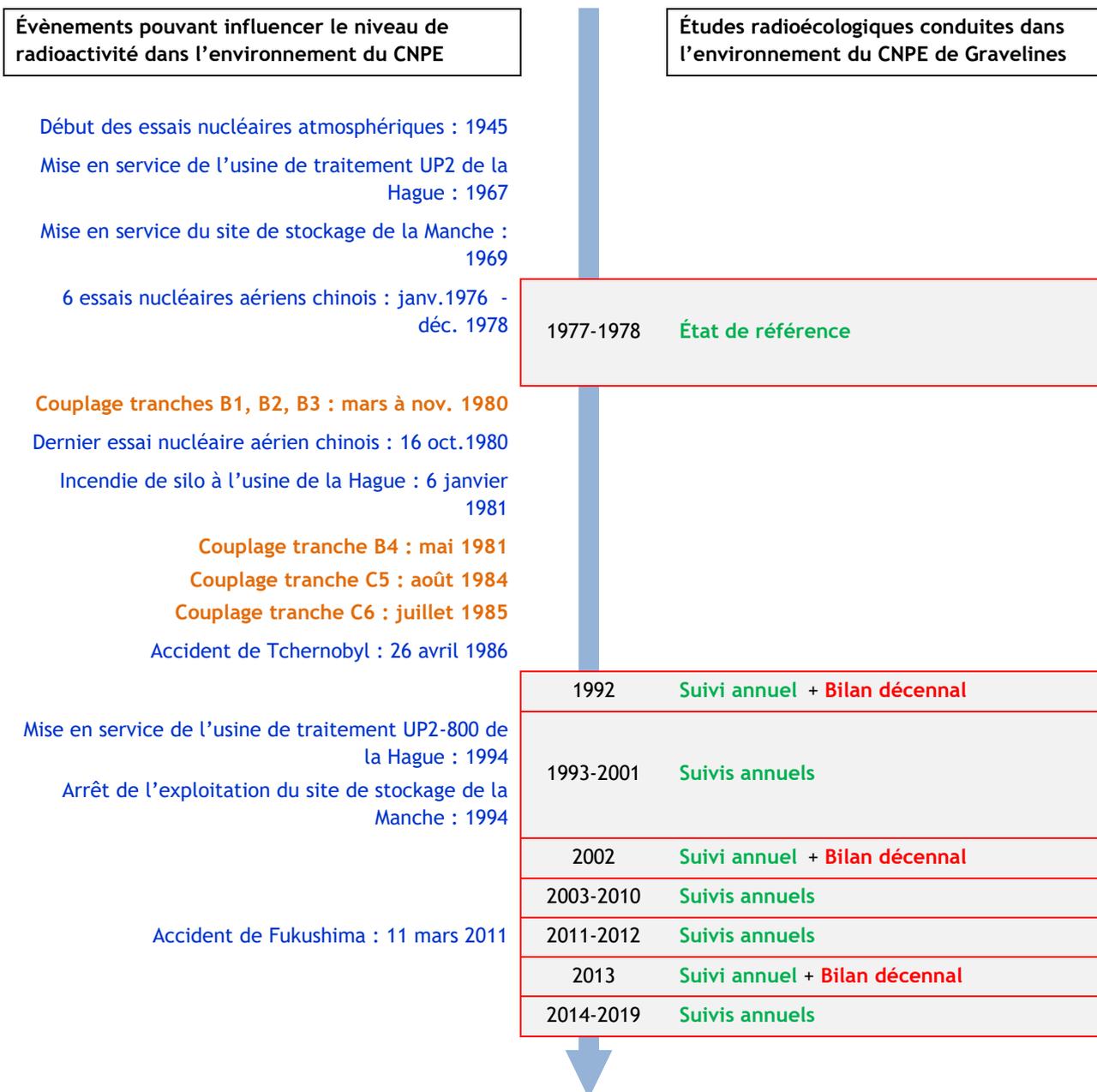


Figure 24 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Gravelines.

7.2 Etat radiologique de l'environnement terrestre

7.2.1 Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvements ainsi que la nature des échantillons collectés sont reportées sur la Figure 25 page 160. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 83 page 158 et suivante. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique des sols de pâturage échantillonnés sont présentées dans le Tableau 97 page 185. 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 et lierre), des vecteurs directs ou indirects de radioactivité vers l'homme. Ils sont caractéristiques des principales activités agricoles de la région. 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. Une production agricole et un sol de pâturage sont prélevés hors vents dominants.

Les stations de prélèvements ont été définies en fonction du régime éolien local, généralement dominé par les vents de secteurs ouest-sud-ouest portant les effluents atmosphériques en majorité vers la mer. La zone terrestre potentiellement la plus influencée par les rejets d'effluents à l'atmosphère du CNPE (ZI) se trouve majoritairement sous les vents à l'est du CNPE (Gravelines, Loon-Plage et Dunkerque). Une zone d'influence secondaire potentielle, associée aux vents de secteur nord-est, se situe à l'ouest-sud-ouest du CNPE (Offekerque). La zone hors vents dominants (ZNI) se situe dans le secteur sud (Saint-Georges-sur-l'Aa et Gravelines).

L'eau de boisson prélevée à Dunkerque provient d'un réseau d'eau potable distribuée par le Syndicat de l'Eau du Dunkerquois, et dont le site de distribution est situé à la station de pompage des Broucks, elle-même alimentée par la station de pompage de Moulle, à 45 km au sud-sud-est du CNPE. Ce site alimente la majorité des communes du secteur sud-est du CNPE. La station de pompage de Moulle exploite une nappe phréatique située encore plus au sud, vers Saint-Omer, à 70 m de profondeur. La nappe phréatique qui l'alimente est donc située dans une zone hors de l'influence du CNPE. Il n'a pas été possible de trouver une nappe, exploitée pour produire de l'eau potable ou d'irrigation qui soit sous l'influence de la nappe située sous le CNPE.

En 2019, comme cela est régulièrement le cas, l'analyse gamma demandée sur les feuilles de lierre échantillonnées en champ proche du CNPE a été reportée sur de l'herbe prélevée à la même station, du fait de la difficulté de récolter suffisamment de matière pour réaliser une analyse gamma en cendres sur le lierre. Le lait a également été prélevé en ZNI, comme c'est le cas depuis 2015 du fait de l'absence de ferme laitière en ZI. L'IRSN n'a rencontré aucune autre difficulté de prélèvement dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines.

Par rapport à l'année 2018, des analyses de tritium libre et organiquement lié ont été rajoutées sur la salade prélevée sous les vents dominants secondaires et sur celle située hors vents dominants, au titre des prescriptions réglementaires.

Tableau 83 - Identification des échantillons analysés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique de 2019 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Station	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
1,1 km NE	Gravelines - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	02,14948	51,02077	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	25/02/2019	Spectrométrie gamma (sec)	1,12	-
1,1 km NE	Gravelines - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	02,14948	51,02077	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	25/02/2019	Granulométrie + MO (sec)	1,12	-
1,1 km NE	Gravelines - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	02,14948	51,02077	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	25/02/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	1,26	20,10
1,2 km NE	Gravelines - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	02,14900	51,02165	Autres végétaux	Lierre <i>Hedera helix</i>	Feuilles annuelles	25/02/2019	Tritium lié + %H (sec)	2,62	-
1,2 km NE	Gravelines - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	02,14900	51,02165	Autres végétaux	Lierre <i>Hedera helix</i>	Feuilles annuelles	25/02/2019	Tritium libre (liquide)	2,62	-
3,7 km S	Gravelines - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	02,13380	50,98140	Légumes	Salades	Feuilles	27/08/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	23,82	4,31
3,7 km S	Gravelines - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	02,13380	50,98140	Légumes	Salades	Feuilles	27/08/2019	Tritium lié + %H (sec)	23,08	-
3,7 km S	Gravelines - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	02,13380	50,98140	Légumes	Salades	Feuilles	27/08/2019	Tritium libre (liquide)	23,08	-
3,7 km S	Gravelines - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	02,13380	50,98140	Légumes	Salades	Feuilles	27/08/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	23,08	-
4,0 km ENE	Gravelines - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Loon-Plage	02,19124	51,02354	Mousses terricoles	<i>Tortula ruralis</i>	Entier	25/02/2019	Spectrométrie gamma (frais) + I-131	1,12	-
6,9 km S	Gravelines - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13844	50,95222	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	27/08/2019	Spectrométrie gamma (sec)	1,11	-
6,9 km S	Gravelines - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13844	50,95222	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	27/08/2019	Granulométrie + MO (sec)	1,11	-
6,9 km S	Gravelines - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13844	50,95222	Aliments liquides non transformés	Lait de vache	Entier	27/08/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	8,81	15,56
6,9 km S	Gravelines - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13844	50,95222	Aliments liquides non transformés	Lait de vache	Entier	27/08/2019	Tritium lié + %H (sec)	7,49	-
6,9 km S	Gravelines - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13844	50,95222	Aliments liquides non transformés	Lait de vache	Entier	27/08/2019	Tritium libre (liquide)	7,49	-
6,9 km S	Gravelines - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13844	50,95222	Aliments liquides non transformés	Lait de vache	Entier	27/08/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	7,49	-

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Station	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
9,5 km ESE	Gravelines - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	02,27090	51,00930	Légumes	Salades	Feuilles	27/08/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	14,45	4,96
9,5 km ESE	Gravelines - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	02,27090	51,00930	Légumes	Salades	Feuilles	27/08/2019	Tritium lié + %H (sec)	14,09	-
9,5 km ESE	Gravelines - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	02,27090	51,00930	Légumes	Salades	Feuilles	27/08/2019	Tritium libre (liquide)	14,09	-
9,5 km ESE	Gravelines - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	02,27090	51,00930	Légumes	Salades	Feuilles	27/08/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	14,09	-
9,5 km ESE	-	Dunkerque	02,27090	51,00930	Eau douce	Eau de boisson	Filtrat à 0,20 µm	27/08/2019	Tritium libre (liquide)	-	-
11,1 km SO	Gravelines - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents secondaires, moins de 20 km	Offekerque	02,01730	50,94740	Légumes	Salades	Feuilles	27/08/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	19,02	4,31
11,1 km SO	Gravelines - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents secondaires, moins de 20 km	Offekerque	02,01730	50,94740	Légumes	Salades	Feuilles	27/08/2019	Tritium lié + %H (sec)	16,08	-
11,1 km SO	Gravelines - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents secondaires, moins de 20 km	Offekerque	02,01730	50,94740	Légumes	Salades	Feuilles	27/08/2019	Tritium libre (liquide)	16,08	-
11,1 km SO	Gravelines - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents secondaires, moins de 20 km	Offekerque	02,01730	50,94740	Légumes	Salades	Feuilles	27/08/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	16,08	-

- : absence de traitement.

Prélèvements hors vents dominants de l'installation
Prélèvements sous les vents dominants secondaires de l'installation
Prélèvements sous les vents dominants principaux de l'installation
Prélèvements dans une nappe phréatique

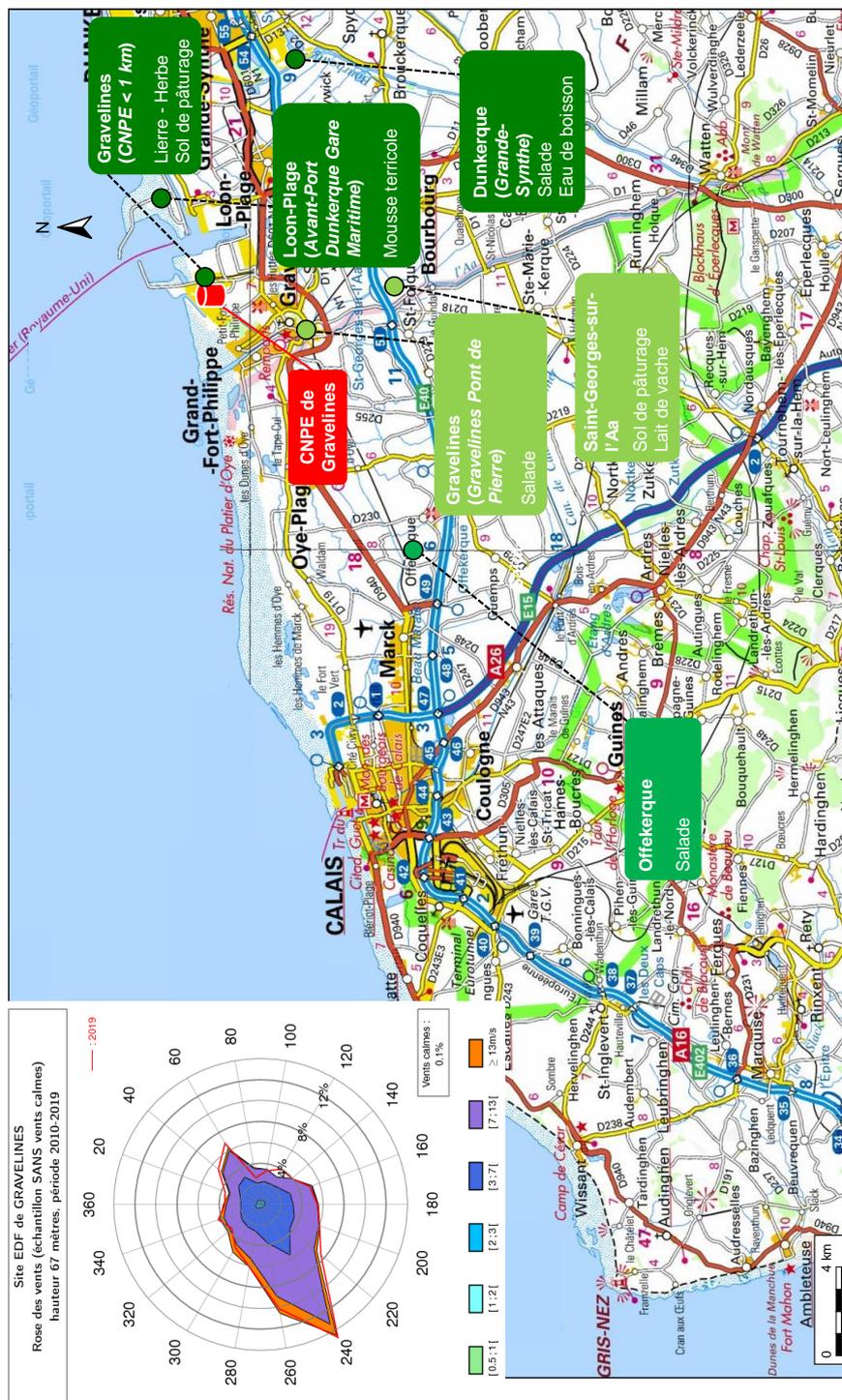


Figure 25 - Localisation de CNPE de Gravelines et des stations terrestres¹¹ échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2019.

¹¹ Vert clair : stations hors vents dominants (ZNI). Vert moyen : stations sous les vents dominants secondaires (ZIS). Vert foncé : stations sous les vents dominants principaux (ZIP). Les anciens noms des stations (jusqu'en 2018) sont indiqués en italique lorsqu'ils diffèrent de la nomenclature actuelle.

7.2.2 Résultats et interprétation

7.2.2.1 *Radionucléides émetteurs gamma*

7.2.2.1.1 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 Gravelines sont présentés au sein du Tableau 98 page 186.

En 2019, la radioactivité d'origine naturelle quantifiée dans les matrices terrestres environnant le CNPE de Gravelines 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 [3]. La radioactivité d'origine naturelle présente une composante tellurique prépondérante dans les sols et les végétaux. Elle est liée principalement à la présence de ^{40}K et, dans une moindre mesure, aux radionucléides des familles du ^{232}Th et de ^{238}U . Dans les sols, les activités massiques en ^{40}K , en descendants du ^{232}Th et du ^{238}U sont en accord avec les valeurs observées en France métropolitaine [3, 26, 27]. La seconde composante, cosmogénique, est due au ^7Be , présent dans les végétaux dont la surface foliaire est propice à la captation des retombées atmosphériques. Dans le lait de vache, le ^{40}K est toujours proche de $50 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$, 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.

7.2.2.1.2 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 Gravelines sont présentés au sein du Tableau 99 page 187.

Dans les sols, le seul radionucléide d'origine artificielle quantifié est le ^{137}Cs . Ce radionucléide est également quantifié dans les salades, l'herbe, et les mousses, mais il ne l'est pas dans le lait. Les activités en ^{137}Cs détectées dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines en 2019 sont en accord avec les niveaux observés au cours des dix dernières années (Figure 26 page 162, et Tableau 85 à Tableau 91, pages 173 et suivantes) et avec le 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 (Figure 26 page 162). Du ^{60}Co et du $^{110\text{m}}\text{Ag}$ sont également détectés dans l'herbe échantillonnée en champ proche du CNPE de Gravelines, à faible distance de la mer, et leur présence peut être imputable à un apport atmosphérique *via* les embruns et aérosols marins [34] marqués par les rejets d'effluents liquides des installations implantées en Manche et Mer du Nord dont le CNPE de Gravelines et l'usine ORANO La Hague. Les analyses d' ^{131}I 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 γ détectées dans le cadre de cette étude ne mettent pas en évidence de marquage de l'environnement par les rejets d'effluents atmosphériques du CNPE.

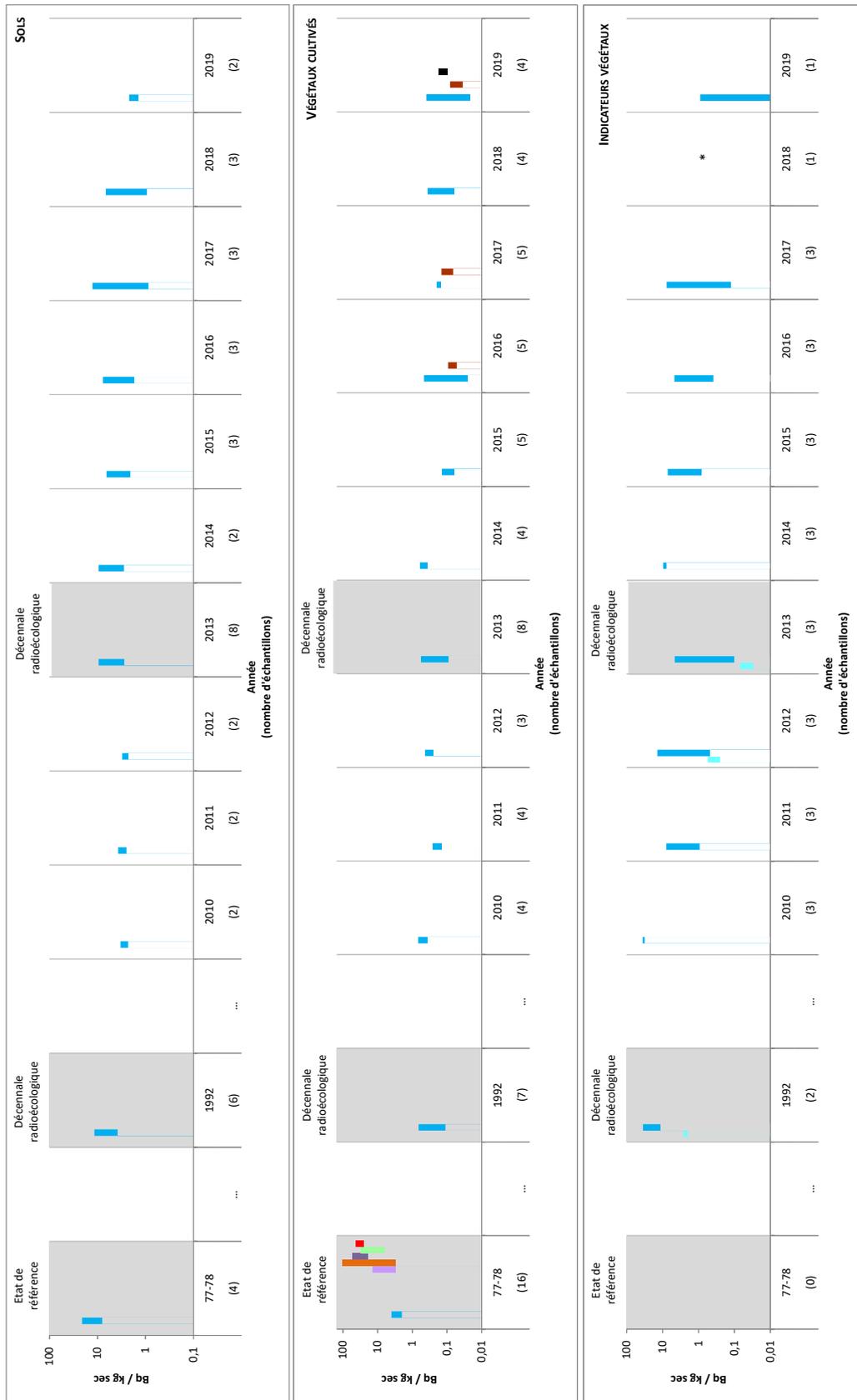


Figure 26 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des sols (cultivés et non cultivés), végétaux cultivés (herbe et légumes) et indicateurs végétaux (mousses) échantillonnés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines. * : activités inférieures au seuil de décision.

7.2.2.2 Radionucléides émetteurs bêta

7.2.2.2.1 Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 100 et du Tableau 101 page 188, respectivement.

Les activités en tritium sont proches du bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence d'un apport industriel local (1 à 3 Bq.L⁻¹, avec une valeur moyenne de 1,3 Bq.L⁻¹ d'après [3]) pour la salade, le lierre, le lait et l'eau de boisson et ne mettent pas en évidence d'apport local en champ proche du CNPE de Gravelines.

7.2.2.2.2 Carbone 14

Les résultats d'analyse des activités en ¹⁴C dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 102 page 190.

L'activité en ¹⁴C dans le lait échantillonné en champ lointain (234±12 Bq.kg⁻¹ C) est comparable au bruit de fond sur le territoire métropolitain français hors influence industrielle locale (proche de 230 Bq.kg⁻¹ C d'après [3]). L'activité en ¹⁴C dans les salades échantillonnées à Dunkerque (237±12 Bq.kg⁻¹ C) est également proche de ce bruit de fond, tandis que l'activité dans les salades échantillonnées à Offekerque et Gravelines (242±12 et 243±12 Bq.kg⁻¹ C) sont supérieures à ce bruit de fond. Ainsi, en se basant sur les résultats des années précédentes et de cette année, un apport local est mis en évidence dans l'environnement du site de Gravelines pour les salades d'Offekerque et Gravelines.

7.3 État radiologique de l'environnement aquatique

7.3.1 Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvements ainsi que la nature des échantillons collectés sont reportées sur la Figure 27 page 167. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 84 pages 164 et suivantes. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique des sédiments échantillonnés sont présentées dans le Tableau 103 page 191. 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, d'algues et de mollusques (moules) ont été effectués à la main, tandis que les prélèvements de poissons et de crustacés 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 Grand-Fort-Philippe). De même, des sédiments de granulométrie proche ont été recherchés afin de mieux comparer les résultats des différents points de prélèvement. Cependant, la configuration des plages locales n'a pas toujours rendu ces buts atteignables, notamment aux autres stations de Gravelines (prise eau, Jetée des Huttes) et à Audinghen, où seuls des sédiments relativement grossiers ont pu être récoltés.

Les stations de prélèvements ont été définies en fonction de l'hydrodynamisme local le long de la côte d'Opale et des dunes de Flandre (cf. paragraphe 7.1 page 155). 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 quotidiennement par ces rejets. A Gravelines, le champ proche désigne les stations situées à quelques kilomètres au sud-ouest et au nord-est du CNPE, soit d'Oye-Plage à Dunkerque. 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 Gravelines, où la dérive des eaux côtières peut s'inverser temporairement vers l'ouest en période de vents de secteur est à nord-est persistant [1, 2], le champ lointain désigne les stations situées au-delà de quelques dizaines de kilomètres à l'ouest du CNPE, soit au niveau du Cap Gris-Nez (Audinghen et Tardinghen).

En 2019, l'IRSN n'a pas rencontré des difficultés d'approvisionnement pour les prélèvements marins dans l'environnement du CNPE de Gravelines.

Par rapport à l'année 2018, un prélèvement de poisson a été supprimé en champ proche, suite à l'évolution des prescriptions réglementaires.

Tableau 84 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines en 2019 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Station	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
0,2 km N	Centre Aquacole	Gravelines, lieu-dit Ferme Aquanord	02,13580	51,01810	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	26/02/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	3,20	23,20
0,2 km N	Centre Aquacole	Gravelines, lieu-dit Ferme Aquanord	02,13580	51,01810	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	26/02/2019	Tritium lié + %H (sec)	2,90	-
0,2 km N	Centre Aquacole	Gravelines, lieu-dit Ferme Aquanord	02,13580	51,01810	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	26/02/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	2,90	-
0,7 km E	Gravelines - Champ proche	Gravelines, prise d'eau	02,15454	51,02137	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	26/02/2019	Spectrométrie gamma (sec)	1,79	-
0,7 km E	Gravelines - Champ proche	Gravelines, prise d'eau	02,15454	51,02137	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	26/02/2019	Granulométrie + MO (sec)	1,79	-
0,7 km E	Gravelines - Champ proche	Gravelines, prise d'eau	02,15454	51,02137	Algues brunes	<i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	26/02/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	5,09	3,79
1,1 km NNE	Gravelines - Champ proche	Gravelines, jetée des Huttes	02,15040	51,03178	Mollusques	Moule Bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Contenu intervalvaire	26/02/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	6,06	6,09
1,1 km NNE	Gravelines - Champ proche	Gravelines, jetée des Huttes	02,15040	51,03178	Mollusques	Moule Bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Contenu intervalvaire	26/02/2019	Tritium lié + %H (sec)	7,14	-
1,1 km NNE	Gravelines - Champ proche	Gravelines, jetée des Huttes	02,15040	51,03178	Mollusques	Moule Bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Contenu intervalvaire	26/02/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	7,14	-
1,4 km NNE	Gravelines - Champ proche	Gravelines, jetée des Huttes	02,15020	51,03422	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	26/02/2019	Spectrométrie gamma (sec)	1,22	-
1,4 km NNE	Gravelines - Champ proche	Gravelines, jetée des Huttes	02,15020	51,03422	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	26/02/2019	Granulométrie + MO (sec)	1,22	-
1,4 km NNE	Gravelines - Champ proche	Gravelines, jetée des Huttes	02,15020	51,03422	Algues brunes	<i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	26/02/2019	Spectrométrie gamma (frais) + I-131	5,08	-
1,4 km NNE	Gravelines - Champ proche	Gravelines, jetée des Huttes	02,15020	51,03422	Algues brunes	<i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	26/02/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	5,08	3,68
1,4 km NNE	Gravelines - Champ proche	Gravelines, jetée des Huttes	02,15020	51,03422	Algues brunes	<i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	26/02/2019	Tritium lié + %H (sec)	5,08	-
1,4 km NNE	Gravelines - Champ proche	Gravelines, jetée des Huttes	02,15020	51,03422	Algues brunes	<i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	26/02/2019	Tritium libre (liquide)	5,08	-
1,4 km NNE	Gravelines - Champ proche	Gravelines, jetée des Huttes	02,15020	51,03422	Algues brunes	<i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	26/02/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	5,08	-
1,4 km NNE	Gravelines - Champ proche	Gravelines, jetée des Huttes	02,15020	51,03422	Algues brunes	<i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	26/02/2019	Fer-55 (cendres)	5,08	3,68
1,4 km NNE	Gravelines - Champ proche	Gravelines, jetée des Huttes	02,15020	51,03422	Algues brunes	<i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	26/02/2019	Nickel-63 + stable (cendres)	5,08	3,68
2 km N	Gravelines - Champ proche	Gravelines, au large	02,13440	51,03310	Crustacés	Crevette grise <i>Crangon crangon</i>	Entier	10/01/2019	Tritium lié + %H (sec)	3,62	-
2 km N	Gravelines - Champ proche	Gravelines, au large	02,13440	51,03310	Crustacés	Crevette grise <i>Crangon crangon</i>	Entier	10/01/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	3,93	3,92

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Station	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
2 km N	Gravelines - Champ proche	Gravelines, au large	02,13440	51,033 10	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	06/04/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	4,84	14,64
2 km N	Gravelines - Champ proche	Gravelines, au large	02,13440	51,033 10	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	06/04/2019	Tritium lié + %H (sec)	4,93	-
2 km N	Gravelines - Champ proche	Gravelines, au large	02,13440	51,033 10	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	06/04/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	4,93	-
3,4 km SO	Gravelines - Champ proche	Grand-Fort-Philippe	02,10560	51,004 18	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	26/02/2019	Spectrométrie gamma (sec)	3,13	-
3,4 km SO	Gravelines - Champ proche	Grand-Fort-Philippe	02,10560	51,004 18	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	26/02/2019	Granulométrie + MO (sec)	3,13	-
3,4 km SO	Gravelines - Champ proche	Grand-Fort-Philippe	02,10316	51,006 25	Algues brunes	<i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	26/02/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	4,55	4,47
41 km SO	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59213	50,871 48	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	27/02/2019	Spectrométrie gamma (sec)	1,24	-
41 km SO	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59213	50,871 48	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	27/02/2019	Granuloétrie + MO (sec)	1,24	-
41 km SO	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59213	50,871 48	Algues brunes	<i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	27/02/2019	Spectrométrie gamma (frais) + I-131	4,91	-
41 km SO	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59213	50,871 48	Algues brunes	<i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	27/02/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	4,91	3,71
41 km SO	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59213	50,871 48	Algues brunes	<i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	27/02/2019	Tritium lié + %H (sec)	3,64	-
41 km SO	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59213	50,871 48	Algues brunes	<i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	27/02/2019	Tritium libre (liquide)	3,64	-
41 km SO	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59213	50,871 48	Algues brunes	<i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	27/02/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	3,64	-
41 km SO	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59213	50,871 48	Algues brunes	<i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	27/02/2019	Fer-55 (cendres)	4,91	3,71
41 km SO	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59213	50,871 48	Algues brunes	<i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	27/02/2019	Nickel-63 + stable (cendres)	4,91	3,71
41 km SO	Gravelines - Champ lointain	Tardinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,62448	50,878 49	Mollusques	Moule Bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Contenu intervalvaire	27/08/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	4,38	7,41
41 km SO	Gravelines - Champ lointain	Tardinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,62448	50,878 49	Mollusques	Moule Bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Contenu intervalvaire	27/08/2019	Tritium lié + %H (sec)	4,31	-
41 km SO	Gravelines - Champ lointain	Tardinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,62448	50,878 49	Mollusques	Moule Bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Contenu intervalvaire	27/08/2019	¹⁴ C + C stable + ¹³ C/ ¹² C (sec)	4,31	-
41 km SO	Gravelines - Champ lointain	Audinghen au large	01,57170	50,876 10	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	12/03/2019	Spectrométrie gamma (cendres)	4,29	17,03

- : absence de traitement.

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 27 - Localisation du CNPE de Gravelines et des stations marines¹² échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2019.

¹² 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).

7.3.2 Résultats et interprétation

7.3.2.1 *Radionucléides émetteurs gamma*

7.3.2.1.1 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 Gravelines sont présentés au sein du Tableau 104 pages 192 et suivante.

En 2019, la radioactivité d'origine naturelle détectée dans les matrices marines environnant le CNPE de Gravelines est qualitativement et quantitativement équivalente à 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 ^{40}K est le radionucléide prépondérant en termes d'activité. Les activités en ^{40}K 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 notamment le cas des algues, du fait de leur capacité à capter les aérosols, des sédiments fins, présentant des teneurs élevées car ils sont aptes à retenir les radionucléides, et des mollusques. 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.

7.3.2.1.2 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 Gravelines sont présentés au sein du Tableau 105 pages 194 et suivante.

La radioactivité d'origine artificielle au sein des sédiments et des organismes marins végétaux et animaux est essentiellement imputable au ^{137}Cs , et dans une moindre mesure, au ^{60}Co (dans les sédiments, les algues et les mollusques en champ proche), au $^{110\text{m}}\text{Ag}$ (dans les sédiments et les crustacés en champ proche) et à l' ^{241}Am (dans les algues en champ proche). Le ^{137}Cs est le plus fréquemment quantifié (détecté dans l'ensemble des 14 échantillons analysés). L' ^{131}I recherché dans les algues ne présente pas d'activité supérieure au seuil de décision. Les résultats de mesure par spectrométrie gamma obtenus en 2019 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 Gravelines (Figure 28 page 169 et Figure 29 page 170, et Tableau 92 à Tableau 96, pages 180 et suivantes).

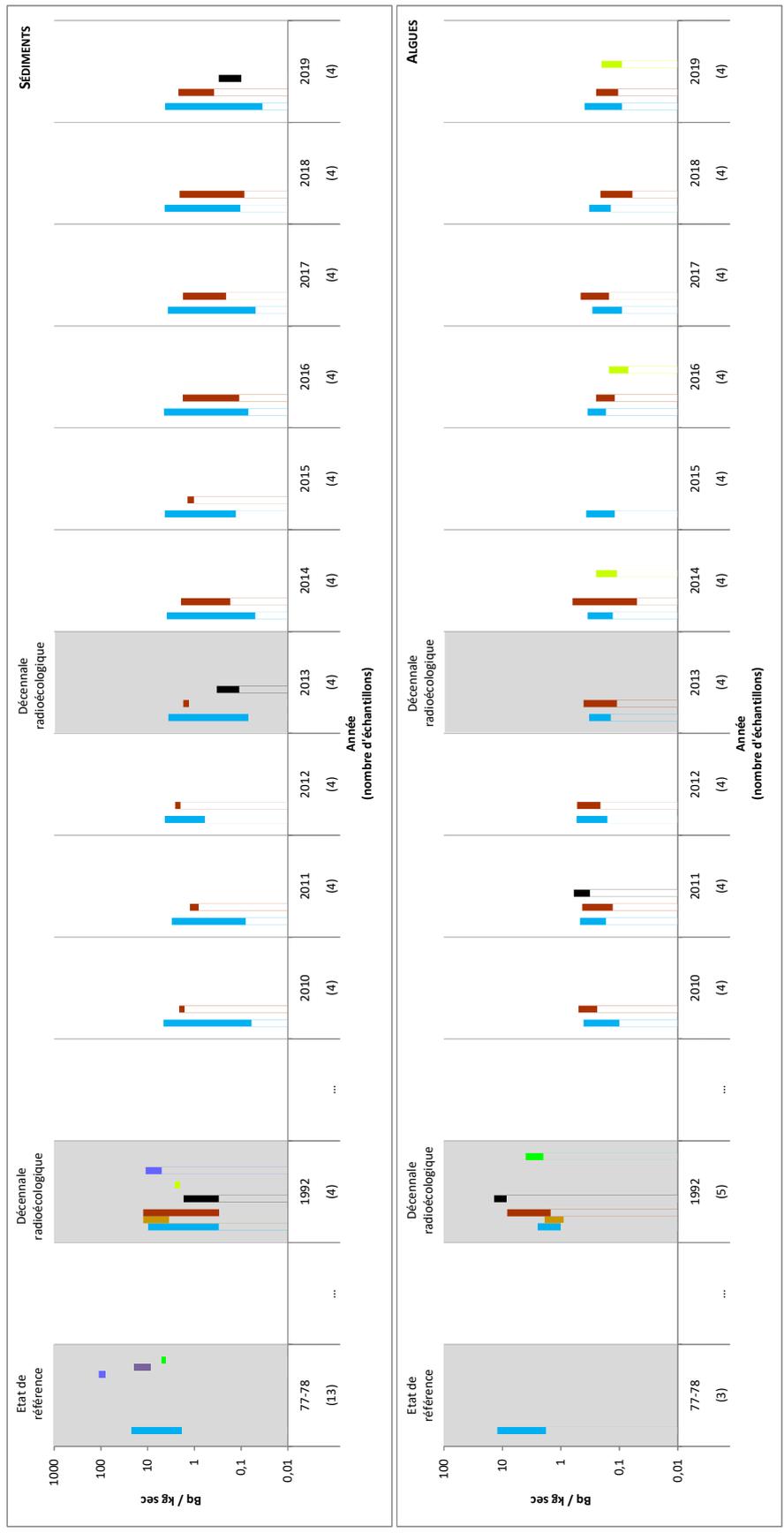


Figure 28 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des sédiments et des algues échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines.

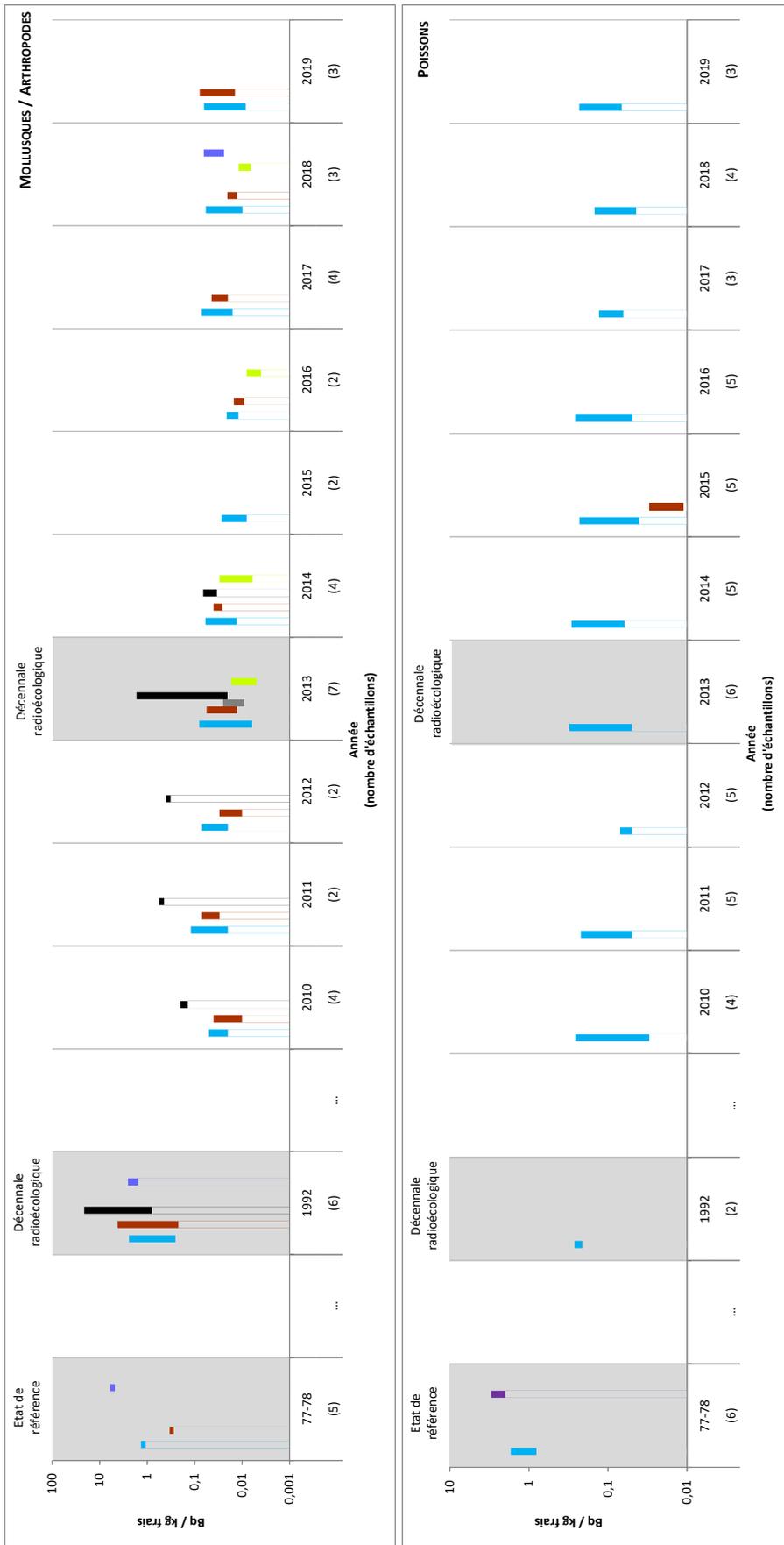


Figure 29 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des mollusques et crustacés et des poissons échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines.

7.3.2.2 Radionucléides émetteurs bêta

7.3.2.2.1 Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 106 et du Tableau 107 page 196, respectivement.

Les activités en tritium libre et organiquement lié dans les échantillons prélevés en champ lointain, toutes matrices confondues, 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 [18, 28]) et majoritairement imputables à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague. Les activités en tritium libre et organiquement lié dans les algues sont comparables en champ proche et lointain. Pour les mollusques, les activités en tritium organiquement lié en champ proche sont plus élevées (9,5±1,1 Bq.L⁻¹) qu'en champ lointain (4,3±0,7 Bq.L⁻¹). Cette observation, cohérente avec les valeurs observées au cours de la dernière décennie, témoigne d'un marquage des mollusques par les rejets d'effluents liquides du CNPE.

7.3.2.2.2 Carbone 14

Les résultats d'analyse des activités en ¹⁴C dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 108 page 197.

L'activité en ¹⁴C mesurée au sein des poissons prélevés à la Ferme Aquacole est comparable au bruit de fond en ¹⁴C observé hors influence dans les matrices biologiques collectées en entrée de Manche (240±2 Bq.kg⁻¹ C d'après [29]). Les activités en ¹⁴C quantifiées au sein des algues, des moules et des poissons échantillonnés en champ proche (algues, mollusques, poissons) et en champ lointain (algues, mollusques) des rejets d'effluents liquides du CNPE de Gravelines sont en revanche supérieures à ce bruit de fond. Elles sont cependant cohérentes avec les valeurs moyennes enregistrées par le passé du fait du marquage global par les INB de la Manche [29], et notamment de la proximité de l'usine ORANO La Hague. Ce marquage en ¹⁴C est plus prononcé au voisinage du point des rejets d'effluents liquides du CNPE de Gravelines pour les algues et les mollusques échantillonnés en 2019.

7.3.2.2.3 Nickel 63 et Fer 55

Les résultats d'analyse des activités en ⁶³Ni et en ⁵⁵Fe dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 109 et du Tableau 110 page 198, respectivement.

Le ⁶³Ni est mesuré dans les algues, à des niveaux comparables en champ proche et lointain des rejets d'effluents liquides du CNPE de Gravelines. Les activités mesurées dans les algues sont dans la même gamme que les valeurs mesurées en 2013 et 2018.

Le ⁵⁵Fe, recherché dans les algues et les mollusques, n'y est pas décelable en 2019. 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.

7.4 Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Gravelines

Les niveaux d'activités des radionucléides naturels détectés en 2019 dans l'environnement du CNPE de Gravelines sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés depuis l'instauration des suivis radioécologiques. Le ^{40}K est le radionucléide d'origine naturelle prépondérant dans tous les échantillons.

La radioactivité gamma d'origine artificielle du milieu terrestre est exclusivement imputable au ^{137}Cs , présent dans le sol, l'herbe, les salades et la mousse échantillonnées, sans que la contribution des rejets du site ne soit démontrée. 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 côte d'Opale. La dispersion de ^{137}Cs depuis le milieu marin vers l'environnement terrestre *via* les aérosols marins 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. Les activités en tritium libre et organiquement lié ne mettent pas en évidence de marquage lié aux rejets d'effluent à l'atmosphère. L'activité en ^{14}C dans les salades d'Offekerque et de Gravelines est significativement supérieure au bruit de fond moyen sur le territoire français hors influence industrielle (proche de $230 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ d'après [3]), tandis qu'elle est proche du bruit de fond dans les salades de Dunkerque et dans le lait. Au vu des résultats obtenus dans le cadre du suivi radioécologique 2019, 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 ^{14}C dans la salade, pour lesquels un apport est mis en évidence en champ proche.

En 2019, les diverses matrices sédimentaires et biologiques collectées dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines sont essentiellement marquées par le ^{137}Cs . À une fréquence moindre, d'autres radionucléides artificiels tels le ^{60}Co (dans les sédiments, les algues et les mollusques), le $^{110\text{m}}\text{Ag}$ (dans les sédiments et les crustacés) et le ^{241}Am (dans les algues) sont également quantifiés. Outre la rémanence des retombées atmosphériques globales dans le cas du ^{137}Cs , le ^{60}Co et le $^{110\text{m}}\text{Ag}$ quantifiés dans les matrices marines ont une double origine potentielle : les rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague et ceux du CNPE de Gravelines. Le ^{241}Am , caractéristique des rejets d'effluents de l'usine ORANO La Hague, est quantifié dans les algues prélevées à proximité du CNPE en 2019. L' ^{131}I ne présente pas d'activité supérieure au seuil de décision dans les algues mesurées à l'état frais. Les niveaux d'activité en radionucléides artificiels émetteurs gamma quantifiés dans l'environnement marin proche du CNPE de Gravelines, notamment dans les produits de consommation (crustacés, mollusques et poissons) restent très faibles. Les activités en tritium libre et lié dans les différents échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines 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. Les activités en tritium organiquement lié restent toutefois plus élevées en champ proche qu'en champ lointain en 2019 pour les mollusques. Les activités en ^{14}C témoignent de l'influence globale des INB de la Manche [29], avec un marquage plus prononcé au voisinage du point des rejets d'effluents liquides du CNPE de Gravelines pour les algues et les mollusques.

7.5 Tableaux de résultats

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2,5 à 8,7 km	11,0 et 11,6 km	11 et 11,6 km	6,9 et 11,6 km	6,9 à 18,0 km	11,6 et 13 km	6,9 à 13 km	6,9 à 13 km	1,2 à 6,9 km	1,2 à 6,9 km	1,1 et 6,9 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	2,7-5,0 (6/6)	2,8-3,0 (2/2)	2,8-3,4 (2/2)	2,5-5,1 (3/3)	2,4-8,7 (10/10)	3,4-3,5 (2/2)	2,3-5,9 (3/3)	1,9-7,1 (3/3)	0,99-11,80 (3/3)	1,03-6,20 (3/3)	1,57-1,98 (2/2)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,1-3,2 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,4-2,3 (4/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	211-240 (4/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

Tableau 86 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2,7 à 20 km	2,7 à 19 km	2,7 à 19 km	2,7 à 19 km	2,7 à 19 km	2,7 à 19 km	2,7 à 19 km	2,7 à 19 km	2,7 à 19 km	4,4 km	4,0 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	0,6 (1/3)	0,05-0,15 (2/3)	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	17 (1/3)	34 (1/3)	1,7-7,0 (2/3)	1,2-12,6 (3/3)	0,8-3,7 (3/3)	8,7 (1/3)	1,5-6,3 (2/3)	0,4-4,1 (2/3)	0,5-6,8 (2/3)	-	0,45 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2,5 et 7,0 km	11,0 et 11,6 km	11,0 et 11,6 km	11,0 et 11,6 km	6,9 à 18,0 km	11,6 et 13,0 km	12,0 et 13,0 km	1,2 et 6,9 km	1,2 et 6,9 km	1,2 km	1,1 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	-	-	-	-	-	-	-	0,04-0,29 (2/2)	0,17 (1/2)	-	0,034 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	0,072 (1/2)	0,105 (1/2)	-	0,058 (1/1)
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,134 (1/1)
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2,5 et 7,0 km	11,0 et 11,6 km	11,6 km	11,6 km	6,9 à 18,0 km	11,6 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,1 km
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,6 (2/2)	n.a.	1,6 (1/1)	6,7 (1/1)	1,9 (1/1)	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,7-2,1 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	3,1 (1/1)	n.a.	n.a.
¹⁴ C	n.a.	n.a.	229 (1/1)	232 (1/1)	229-234 (3/3)	227 (1/1)	222-271 (2/2)	272 (1/1)	268 (1/1)	n.a.	n.a.

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

Tableau 88 - Activités en radionucléides émetteurs β au sein d'échantillons de lierre collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	-	-	-	-	9,7 et 19 km	-	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km
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)											
^3H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,7 (2/2)	n.a.	n.a.	7,8 (1/1)	n.a.	3,9 (1/1)	2,5 (1/1)
^3H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,4-3,0 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,6 (1/1)	2,1 (1/1)
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	228-229 (2/2)	n.a.	263 (3/3)	248-261 (4/4)	252-264 (4/4)	242-263 (4/4)	243-261 (4/4)

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2,5 à 8,7 km	11,0 et 11,6 km	11,0 et 11,6 km	6,9 à 11,6 km	6,9 à 11,6 km	11,6 et 13,0 km	3,5 à 13,0 km	3,5 à 13,0 km	3,5 à 13,0 km	3,5 à 13,0 km	3,7 à 11,1 km
Nature	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade, Choux-fleurs et Pommes de terre	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	-	0,52 (1/2)	0,20 (1/2)	0,18-0,34 (2/3)	0,2-0,5 (2/5)	0,48 (1/2)	0,1-0,5 (3/3)	0,1-0,4 (3/3)	-	0,11-0,30 (2/3)	0,13-0,31 (2/3)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2,5 à 8,7 km	11,0 et 11,6 km	11,0 et 11,6 km	6,9 à 11,6 km	6,9 et 11,6 km	11,6 et 13,0 km	3,5 à 13,0 km	3,5 à 13,0 km	3,5 à 13,0 km	3,5 à 13,0 km	3,7 à 11,1 km
Nature	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade et Pommes de terre	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,0-1,8 (3/3)	n.a.	1,2 (1/1)	1,6 (1/1)	1,4 (1/1)	1,6 (1/1)	1,8-2,4 (3/3)
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,7-2,7 (3/3)	n.a.	1,3 (1/1)	1,6 (1/1)	1,5 (1/1)	2,2 (1/1)	1,1-2,3 (3/3)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	229-232 (3/3)	n.a.	224-229 (3/3)	228-233 (3/3)	233-234 (3/3)	231-243 (3/3)	237-243 (3/3)

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2,5 et 7,0 km	11,6 km	-	11,6 km	6,9 à 18,0 km	11,6 km	6,9 km	6,9 km	6,9 km	6,9 km	6,9 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.L ⁻¹)											
¹³⁴ Cs	-	-	n.a.	-	-	-	n.a.	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,01 (1/2)	-	n.a.	-	-	0,0077 (1/1)	n.a.	-	-	-	-
⁵⁷ Co	-	-	n.a.	-	-	-	n.a.	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	n.a.	-	-	-	n.a.	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	n.a.	-	-	-	n.a.	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	n.a.	-	-	-	n.a.	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	n.a.	-	-	-	n.a.	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	n.a.	-	-	-	n.a.	-	-	-	-
Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2,5 et 7,0 km	11,6 km	-	11,6 km	6,9 à 18,0 km	11,6 km	6,9 km	6,9 km	6,9 km	6,9 km	6,9 km
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C)											
³ H libre	0,9 (1/2)	-	n.a.	0,9 (1/1)	0,7-0,8 (2/2)	-	n.a.	-	1,0 (1/1)	0,8 (1/1)	0,8 (1/1)
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	0,8 (1/1)	0,9-2,1 (3/3)	1,0 (1/1)	n.a.	1,5 (1/1)	0,9 (1/1)	3,6 (1/1)	1,3 (1/1)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	233-235 (2/2)	n.a.	230-237 (5/5)	227-240 (4/4)	233 (1/1)	250 (1/1)	234 (1/1)

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2,5 km	11,6 km	11,6 km	11,6 km	11,6 km	11,6 km	11,6 km	9,5 km	9,5 km	9,5 km	9,5 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.L⁻¹)											
¹³⁴ Cs	n.a.	n.a.	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.	n.a.	n.a.
⁵⁷ Co	n.a.	n.a.	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.	n.a.	n.a.
⁶⁰ Co	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{110m} Ag	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
¹⁰⁶ Ru/Rh	n.a.	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.	n.a.	n.a.	n.a.
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)											
³ H libre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	165 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	1,0 à 40 km	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,0 à 41 km	1,0 à 41 km	1,7 à 41 km	0,7 à 41 km			
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,3-1,6 (3/4)	0,1-4,2 (4/4)	0,1-2,8 (4/4)	0,1-3,9 (4/4)	0,1-3,3 (4/4)	0,09-3,60 (4/4)	0,18-3,90 (2/4)	0,12-4,10 (4/4)	0,10-3,38 (4/4)	0,14-4,01 (4/4)	0,08-3,89 (4/4)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	0,8 (1/4)	1,9 (1/4)	1,0 (1/4)	2,3 (1/4)	1,5 (1/4)	0,3-1,7 (2/4)	1,2 (1/4)	0,2-1,6 (2/4)	0,3-1,5 (2/4)	0,1-1,9 (3/4)	0,5-1,9 (2/4)
^{110m} Ag	-	-	-	-	0,2 (1/4)	-	-	-	-	-	0,2 (1/4)
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	1,0 à 40 km	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,0 à 41 km	1,0 à 41 km	1,7 et 41 km	1,7 à 41 km			
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3,4-5,9 (4/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	8,1 (1/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	305 (1/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	232-307 (2/2)	n.a.

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision. n.d. : teneur en TOL non déterminable en Bq.L⁻¹ EC.

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	1,0 à 40 km	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,0 à 41 km	1,0 à 41 km	1,7 à 41 km	0,7 à 41 km			
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,3-0,5 (4/4)	0,2-0,3 (4/4)	0,2-0,4 (4/4)	0,2-0,4 (4/4)	0,2-0,3 (4/4)	0,20-0,27 (4/4)	0,19-0,31 (4/4)	0,22-0,30 (4/4)	0,15-0,23 (4/4)	0,18-0,28 (4/4)	0,14-0,34 (4/4)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	0,2-0,3 (3/4)	0,4 (1/4)	0,3 (2/4)	0,4 (1/4)	0,2-0,3 (4/4)	0,16-0,49 (4/4)	-	0,18-0,20 (3/4)	0,25-0,35 (3/4)	0,11-0,15 (3/4)	0,18 (1/4)
^{110m} Ag	-	-	0,46 (1/4)	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	0,3 (1/4)	-	-	-	-	0,18 (1/4)	-	0,11 (1/4)	-	-	0,15 (1/4)
¹³¹ I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	1,0 à 40 km	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,0 à 41 km	1,0 à 41 km	1,7 à 41 km	1,7 à 41 km	1,7 à 41 km	1,7 et 41 km	1,4 et 41 km
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,8-3,0 (3/3)	n.a.	1,8-4,4 (3/3)	2,2-3,2 (3/3)	n.a.	5,7-6,6 (2/2)	4,9-5,3 (2/2)
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,6-4,2 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	5,5-6,0 (2/2)	6,0-6,7 (2/2)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	238-286 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	241-270 (2/2)	255-270 (2/2)

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2,0 à 40 km	1,7 à 41 km	1,7 et 41 km	1,7 et 41 km	1,7 à 41 km	1,7 et 41 km	1,7 et 41 km	1,7 et 41 km	1,7 et 41 km	1,7 et 41 km	1,1 et 41 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ frais)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,02-0,06 (4/4)	0,03-0,04 (3/3)	0,03-0,10 (2/2)	0,03-0,04 (2/2)	0,01-0,03 (5/5)	0,02-0,03 (2/2)	0,01-0,02 (2/2)	0,01-0,02 (2/2)	0,02-0,03 (2/2)	0,01 (2/2)	0,01-0,02 (2/2)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	0,03 (4/4)	0,02-0,03 (2/3)	0,05 (1/2)	-	0,02-0,04 (4/5)	0,03 (1/2)	-	0,01 (1/2)	0,03 (1/2)	0,02 (1/2)	0,02 (1/2)
^{110m} Ag	0,27 (1/4)	0,17 (1/3)	0,50 (1/2)	0,63 (1/2)	0,03-1,49 (3/5)	-	-	-	-	-	-
^{108m} Ag	0,01 (1/4)	-	-	-	0,02 (1/5)	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	0,16 (1/4)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04 (1/2)	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	0,01 (3/5)	0,01-0,02 (2/2)	-	0,01 (1/2)	-	0,01 (1/2)	-

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2,0 à 40 km	1,7 à 41 km	1,7 et 41 km	1,7 et 41 km	1,7 à 41 km	1,7 et 41 km	1,7 et 41 km	1,7 et 41 km	1,7 et 41 km	1,7 et 41 km	1,1 et 41 km
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	3,9-31,3 (2/2)	3,8-5,0 (2/2)	1,6-2,7 (3/3)	4,2-7,0 (2/2)	3,4-3,7 (2/2)	4,6-6,9 (2/2)	4,9-6,4 (2/2)	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	n.a.	3,4-11,7 (2/2)	3,0-6,6 (2/2)	4,0-5,6 (3/3)	4,4-5,7 (2/2)	4,4-5,8 (2/2)	3,6-6,6 (2/2)	4,3 (2/2)	3,9-7,1 (2/2)	4,3-9,5 (2/2)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	333-350 (2/2)	324-358 (2/2)	330-393 (3/3)	318-399 (2/2)	342-373 (2/2)	321-454 (2/2)	337-390 (2/2)	314-420 (2/2)	323-363 (2/2)

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2,0 km	2,0 km	-	2,0 km	2,0 et 41 km	2,0 et 41 km	-	-	2,0 et 41 km	2,0 km	2,0 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ frais)											
¹³⁴ Cs	-	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,05-0,08 (2/2)	-	n.a.	0,06 (1/1)	0,07 (1/1)	0,04-0,05 (2/2)	n.a.	n.a.	0,04 (1/2)	0,05 (1/1)	0,21 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-
⁶⁰ Co	0,02 (1/2)	-	n.a.	0,02 (1/1)	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-
^{110m} Ag	0,05 (1/2)	-	n.a.	-	0,25 (1/1)	0,05 (1/2)	n.a.	n.a.	-	-	0,25 (1/1)
^{108m} Ag	-	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	0,03 (1/1)	-
<hr/>											
Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2,0 km	2,0 km	-	2,0 km	2,0 et 41 km	2,0 et 41 km	-	-	2,0 km	2,0 km	2,0 km
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	6,3 (1/1)	4,6 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	7,5 (1/1)	5,2 (1/1)	n.a.	n.a.	6,4 (1/1)	3,9 (1/1)	5,1 (1/1)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	562 (1/1)	308 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

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 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	0,2 à 40 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ frais)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,07-0,20 (4/4)	0,04-0,20 (4/4)	0,1-0,2 (5/5)	0,06-0,20 (5/5)	0,06-0,28 (6/6)	0,07-0,26 (5/5)	0,05-0,21 (5/5)	0,06-0,24 (5/5)	0,07-0,12 (3/3)	0,05-0,14 (4/4)	0,08-0,21 (3/3)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	0,02 (1/5)	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{108m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<hr/>											
Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	0,2 à 40 km	0,2 et 2,0 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 et 2,0 km	0,2 et 2,0 km	0,2 et 2,0 km	0,2 et 2,0 km	0,2 et 2,0 km
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)											
³ H libre	3,1-5,5 (3/3)	2,7-3,3 (2/2)	n.a.	n.a.	2,8-3,5 (3/3)	n.a.	3,8-5,5 (3/3)	5,0-6,9 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,0-4,7 (3/3)	n.a.	2,5-4,8 (3/3)	2,6-5,1 (3/3)	1,8-6,0 (3/3)	1,7-4,9 (3/3)	4,0-6,5 (2/2)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	240-312 (3/3)	n.a.	233-440 (3/3)	237-408 (3/3)	239-477 (3/3)	236-433 (3/3)	248-353 (2/2)

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

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 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Frais/sec	Fractions	%
Gravelines - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	25/02/2019	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie <i>0 - 5 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	08/07/2019	sec	1,12	Matière organique	2,7±0,1
									Argile (< 2µm)	10,7±0,1
									Limons fins	5,0±0,2
									Limons grossiers	5,6±0,7
									Sables fins	34,9±0,6
Sables grossiers	43,8±0,2									
Gravelines - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	27/08/2019	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie <i>0 - 5 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	21/10/2019	sec	1,11	Matière organique	4,6±0,1
									Argile (< 2µm)	20,7±0,3
									Limons fins	16,2±0,4
									Limons grossiers	17,5±0,4
									Sables fins	39,3±0,6
Sables grossiers	6,3±0,3									

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

	Prélèvements hors vents dominants de l'installation
	Prélèvements sous les vents dominants secondaires de l'installation
	Prélèvements sous les vents dominants principaux de l'installation
	Prélèvements dans une nappe phréatique

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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sols et les végétaux, $Bq.L^{-1}$ pour le lait).

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	⁴⁰ K	Famille du ²³² Th	Famille de l' ²³⁸ U			⁷ Be
										²²⁸ Ac	²³⁴ Th	^{234m} Pa	²¹⁰ Pb	
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	25/02/2019	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,12	09/05/2019	254±23	10,7±1,4	n.a.	≤ 11	n.a.	≤ 1,7
Gravelines - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	27/08/2019	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,11	18/11/2019	344±30	18,9±2,3	n.a.	≤ 15	n.a.	≤ 2,5
Gravelines - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	27/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	cenbre	14,45	09/12/2019	1 940±180	0,93±0,32	≤ 1,4	≤ 18	6,7±1,0	117±10
Gravelines - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents secondaires, moins de 20 km	Offekerque	27/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	cenbre	19,02	09/12/2019	2 370±230	0,81±0,37	≤ 1,9	≤ 35	4,4±1,4	72,8±7,4
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	27/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	cenbre	23,82	21/10/2019	2 440±230	≤ 0,53	≤ 1,4	≤ 19	3,34±0,86	44,3±4,2
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	25/02/2019	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	cenbre	1,26	22/08/2019	66,7±7,0	0,70±0,13	≤ 0,24	≤ 3,0	102,0±9,5	358±35
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Loon-Plage	25/02/2019	Mousses terrestres	<i>Tortula ruralis</i>	Entier	frais	1,12	28/02/2019	124±10	3,0±1,5	n.a.	≤ 34	n.a.	261±15
Gravelines - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	27/08/2019	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	cenbre	8,81	16/12/2019	45,2±4,4	≤ 0,013	≤ 0,032	≤ 0,44	≤ 0,034	≤ 0,066

n.a. : non analysé.

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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sols et les végétaux, $Bq.L^{-1}$ pour le lait).

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{124}Sb	^{125}Sb	^{131}I *
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	25/02/2019	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,12	09/05/2019	$\leq 0,090$	$1,98 \pm 0,20$	$\leq 0,17$	$\leq 0,100$	$\leq 0,12$	$\leq 0,12$	$\leq 0,18$	$\leq 0,26$	n.a.
Gravelines - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	27/08/2019	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,11	18/11/2019	$\leq 0,12$	$1,57 \pm 0,17$	$\leq 0,24$	$\leq 0,14$	$\leq 0,17$	$\leq 0,18$	$\leq 0,27$	$\leq 0,34$	n.a.
Gravelines - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	27/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	cendre	14,45	09/12/2019	$\leq 0,12$	$0,135 \pm 0,062$	$\leq 0,34$	$\leq 0,18$	$\leq 0,18$	$\leq 0,16$	$\leq 0,32$	$\leq 0,28$	n.a.
Gravelines - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents secondaires, moins de 20 km	Offekerque	27/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	cendre	19,02	09/12/2019	$\leq 0,21$	$0,306 \pm 0,086$	$\leq 0,65$	$\leq 0,37$	$\leq 0,35$	$\leq 0,30$	$\leq 0,60$	$\leq 0,49$	n.a.
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	27/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	cendre	23,82	21/10/2019	$\leq 0,11$	$\leq 0,14$	$\leq 0,21$	$\leq 0,19$	$\leq 0,16$	$\leq 0,14$	$\leq 0,19$	$\leq 0,28$	n.a.
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	25/02/2019	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	cendre	1,26	22/08/2019	$\leq 0,023$	$0,034 \pm 0,013$	$\leq 0,11$	$0,058 \pm 0,023$	$0,134 \pm 0,040$	$\leq 0,030$	$\leq 0,13$	$\leq 0,055$	n.a.
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Loon-Plage	25/02/2019	Mousses terrestres	<i>Tortula ruralis</i>	Entier	frais	1,12	28/02/2019	$\leq 0,21$	$0,45 \pm 0,45$	$\leq 0,25$	$\leq 0,30$	$\leq 0,22$	$\leq 0,28$	$\leq 0,22$	$\leq 0,56$	$\leq 0,26$
Gravelines - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	27/08/2019	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	cendre	8,81	16/12/2019	$\leq 0,0029$	$\leq 0,0027$	$\leq 0,0095$	$\leq 0,0044$	$\leq 0,0044$	$\leq 0,0036$	$0,0088 \leq 0,0066$	n.a.	

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

Tableau 100 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	³ H libre (Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation)	³ H libre (Bq.kg ⁻¹ frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Gravelines - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	27/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	14,09	17/10/2019	1,80±0,70	1,67±0,65	Bq.kg ⁻¹ frais
Gravelines - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents secondaires, moins de 20 km	Offekerque	27/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	16,08	13/12/2019	2,40±0,70	2,25±0,66	Bq.kg ⁻¹ frais
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	27/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	23,08	17/10/2019	2,30±0,70	2,20±0,67	Bq.kg ⁻¹ frais
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	25/02/2019	Végétaux terrestre non consommés	Lierre commun <i>Hedera helix</i>	Feuilles annuelles	2,62	29/05/2019	2,50±0,60	1,55±0,37	Bq.kg ⁻¹ frais
Gravelines - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	27/08/2019	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,49	17/10/2019	0,80±0,70	0,69±0,61	Bq.L ⁻¹ d'ECH.
-	Dunkerque	27/08/2019	Eaux de boisson	Eau de boisson	Filtrat à 0,20µm	-	22/10/2019	≤ 0,59	≤ 0,59	Bq.L ⁻¹ d'ECH.

n.a. : non analysé.

Tableau 101 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Gravelines - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	27/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	14,09	05/11/2019	1,40±0,60	0,050±0,021	Bq.kg ⁻¹ frais
Gravelines - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents secondaires, moins de 20 km	Offekerque	27/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	16,08	20/01/2020	2,30±0,70	0,073±0,023	Bq.kg ⁻¹ frais
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	27/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	23,08	20/12/2019	1,10±0,80	0,024±0,018	Bq.kg ⁻¹ frais
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	25/02/2019	Végétaux terrestre non consommés	Lierre commun <i>Hedera helix</i>	Feuilles annuelles	2,62	10/06/2019	2,10±0,70	0,520±0,180	Bq.kg ⁻¹ frais
Gravelines - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	27/08/2019	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,49	14/11/2019	1,30±0,60	0,130±0,060	Bq.L ⁻¹ d'ECH.

n.a. : non analysé.

Tableau 102 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure du ^{14}C	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ C)	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ frais ou Bq.L ⁻¹ d'ECH.)	C _{TOT} (g.kg ⁻¹ frais ou g.L ⁻¹ d'ECH)	$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (‰)	pMC (%)	Unité
Gravelines - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	27/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	sec	14,09	29/01/2020	237±12	6,34±0,32	27	-28,86±0,30	100,0±5,1	frais
Gravelines - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents secondaires, moins de 20 km	Offekerque	27/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	sec	16,08	29/01/2020	243±12	5,91±0,29	24	-29,77±0,30	103,0±5,1	frais
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	27/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	sec	23,08	29/01/2020	242±12	3,95±0,20	16	-29,17±0,30	102,0±5,1	frais
Gravelines - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	27/08/2019	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	sec	7,49	29/01/2020	234±12	15,30±0,79	65	-20,40±0,30	99,0±5,1	liquide

Tableau 103 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sédiment collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Frais/sec	Fractions	%
Gravelines - Champ proche	Gravelines, prise eau	26/02/2019	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	08/07/2019	sec	1,79	Matière organique	1,7±0,1
									Argile (< 2µm)	2,2±0,2
									Limons fins	9,1±0,2
									Limons grossiers	4,7±0,5
									Sables fins	24,5±0,6
Sables grossiers	45,7±0,2									
Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	26/02/2019	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	08/07/2019	sec	1,22	Matière organique	0,3±0,1
									Argile (< 2µm)	0,1±0,1
									Limons fins	0,2±0,1
									Limons grossiers	0,0
									Sables fins	17,9±0,9
Sables grossiers	79,7±0,2									
Gravelines - Champ proche	Grand-Fort-Philippe	26/02/2019	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	08/07/2019	sec	3,13	Matière organique	3,8±0,1
									Argile (< 2µm)	0,2±0,2
									Limons fins	34,9±0,3
									Limons grossiers	14,4±0,2
									Sables fins	4,2±0,2
Sables grossiers	0,1±0,1									
Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	27/02/2019	Sédiment	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	08/07/2019	sec	1,24	Matière organique	0,1±0,1
									Argile (< 2µm)	1,5±0,1
									Limons fins	0,1±0,1
									Limons grossiers	0,0
									Sables fins	36,3±0,8
Sables grossiers	61,0±0,2									
<hr/> Prélèvements en champ lointain et hors influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE										
<hr/> Prélèvements en champ proche et sous influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE										

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

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 2019 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sédiments et les algues, $Bq.kg^{-1} frais$ pour les mollusques, les crustacés et les poissons).

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{40}K	Famille du ^{232}Th	Famille de l' ^{238}U			7Be
										^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Gravelines - champ proche	Gravelines, prise d'eau	26/02/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,79	07/05/2019	265±23	7,5±1,0	n.a.	23±10	n.a.	21,4±2,1
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	26/02/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	3,13	07/05/2019	349±31	14,8±1,9	n.a.	80±13	n.a.	83,0±7,0
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	26/02/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,22	09/05/2019	211±19	4,50±0,60	n.a.	≤ 9,0	n.a.	≤ 1,3
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	27/02/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,24	10/05/2019	184±16	3,60±0,50	n.a.	≤ 9,0	n.a.	≤ 1,3
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	26/02/2019	Algues	<i>Fucus Fucus ceranoides</i>	Entier	cendre	4,55	14/06/2019	1 030±100	3,69±0,54	3,11±0,60	≤ 13	4,01±0,65	6,3±1,3
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	26/02/2019	Algues	<i>Fucus Fucus vesiculosus</i>	Entier	frais	5,08	28/02/2019	1 067±71	5,1±5,6	n.a.	≤ 127	n.a.	≤ 7,0
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	26/02/2019	Algues	<i>Fucus Fucus vesiculosus</i>	Entier	cendre	5,08	14/06/2019	1 100±110	3,37±0,52	6,34±0,82	≤ 13	1,88±0,63	2,7±1,1
Gravelines - champ proche	Gravelines, prise d'eau	26/02/2019	Algues	<i>Fucus Fucus vesiculosus</i>	Entier	cendre	5,09	12/12/2019	1 090±110	4,09±0,63	6,35±0,92	≤ 21	2,00±0,76	≤ 24
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	27/02/2019	Algues	<i>Fucus Fucus vesiculosus</i>	Entier	cendre	4,91	12/12/2019	1 200±120	3,07±0,51	4,42±0,89	≤ 16	≤ 1,6	≤ 27
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	27/02/2019	Algues	<i>Fucus Fucus vesiculosus</i>	Entier	frais	4,91	01/03/2019	1 247±74	4,4±2,5	n.a.	≤ 74	n.a.	7,9±4,9
Gravelines - champ proche	Gravelines, au large	10/01/2019	Crustacés aquatiques	Crevette grise	Entier	cendre	3,93	14/06/2019	94,1±9,7	0,441±0,071	≤ 0,13	≤ 1,6	≤ 0,15	≤ 0,52

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	⁴⁰ K	Famille du ²³² Th	Famille de l' ²³⁸ U			⁷ Be
										²²⁸ Ac	²³⁴ Th	^{234m} Pa	²¹⁰ Pb	
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	26/02/2019	Mollusques aquatiques	Moule bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Chair	cendre	6,06	14/06/2019	70,0±6,8	0,062±0,022	0,407±0,060	≤ 0,98	0,757±0,095	0,40±0,10
Gravelines - champ lointain	Tardinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	27/08/2019	Mollusques aquatiques	Moule bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Chair	cendre	4,38	28/11/2019	63,8±6,2	0,099±0,028	0,228±0,059	≤ 1,3	0,555±0,092	0,27±0,10
Centre Aquacole	Gravelines, lieu-dit Ferme Aquanord	26/02/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	cendre	3,20	21/10/2019	127±12	≤ 0,027	≤ 0,067	≤ 0,94	≤ 0,081	≤ 0,81
Gravelines - champ proche	Gravelines, au large	06/04/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	cendre	4,84	13/12/2019	127±13	≤ 0,020	≤ 0,054	≤ 0,71	≤ 0,066	≤ 0,66
Gravelines - champ lointain	Audinghen au large	12/03/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	cendre	4,29	17/12/2019	126±12	≤ 0,040	≤ 0,11	≤ 1,4	≤ 0,14	≤ 2,1

n.a. : non analysé.

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 2019 ($Bq.kg^{-1}$ sec pour les sédiments et les algues, $Bq.kg^{-1}$ frais pour les mollusques, les crustacés et les poissons).

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{124}Sb	^{125}Sb	^{108m}Ag	^{106}Rh	^{241}Am	$^{131}I^*$
Gravelines - champ proche	Gravelines, prise d'eau	26/02/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,79	07/05/2019	$\leq 0,100$	$1,25 \pm 0,14$	$\leq 0,18$	$0,49 \pm 0,11$	$\leq 0,13$	$\leq 0,11$	$\leq 0,20$	$\leq 0,26$	$\leq 0,12$	$\leq 1,0$	n.a.	n.a.
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	26/02/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	3,13	07/05/2019	$\leq 0,12$	$3,89 \pm 0,35$	$\leq 0,23$	$1,94 \pm 0,26$	$0,200 \pm 0,100$	$\leq 0,16$	$\leq 0,24$	$\leq 0,36$	$\leq 0,14$	$\leq 1,3$	n.a.	n.a.
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	26/02/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,22	09/05/2019	$\leq 0,070$	$0,078 \pm 0,043$	$\leq 0,14$	$\leq 0,090$	$\leq 0,100$	$\leq 0,080$	$\leq 0,15$	$\leq 0,20$	$\leq 0,080$	$\leq 0,70$	n.a.	n.a.
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	27/02/2019	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,24	10/05/2019	$\leq 0,070$	$0,102 \pm 0,045$	$\leq 0,13$	$\leq 0,090$	$\leq 0,090$	$\leq 0,080$	$\leq 0,14$	$\leq 0,20$	$\leq 0,080$	$\leq 0,80$	n.a.	n.a.
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	26/02/2019	Algues	Fucus <i>Fucus ceranoides</i>	Entier	cen-dre	4,55	14/06/2019	$\leq 0,08$	$0,336 \pm 0,056$	$\leq 0,22$	$0,177 \pm 0,072$	$\leq 0,13$	$\leq 0,11$	$\leq 0,22$	$\leq 0,20$	$\leq 0,11$	$\leq 0,85$	$0,146 \pm 0,056$	n.a.
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	26/02/2019	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	frais	5,08	28/02/2019	$\leq 0,76$	$\leq 0,86$	$\leq 0,81$	$\leq 0,86$	$\leq 0,76$	$\leq 0,81$	$\leq 0,76$	$\leq 2,03$	n.a.	$\leq 7,11$	n.a.	$\leq 0,86$
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	26/02/2019	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	cen-dre	5,08	14/06/2019	$\leq 0,09$	$0,139 \pm 0,049$	$\leq 0,24$	$\leq 0,13$	$\leq 0,14$	$\leq 0,11$	$\leq 0,24$	$\leq 0,22$	$\leq 0,12$	$\leq 0,98$	$\leq 0,11$	n.a.
Gravelines - champ proche	Gravelines, prise d'eau	26/02/2019	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	cen-dre	5,09	12/12/2019	$\leq 0,21$	$0,272 \pm 0,066$	$\leq 2,6$	$\leq 0,18$	$\leq 0,42$	$\leq 0,29$	$\leq 3,4$	$\leq 0,40$	$\leq 0,24$	$\leq 2,4$	$\leq 0,18$	n.a.
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	27/02/2019	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	cen-dre	4,91	12/12/2019	$\leq 0,12$	$0,232 \pm 0,062$	$\leq 1,9$	$\leq 0,19$	$\leq 0,30$	$\leq 0,22$	$\leq 2,4$	$\leq 0,30$	$\leq 0,13$	$\leq 1,6$	$\leq 0,13$	n.a.
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	27/02/2019	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	frais	4,91	01/03/2019	$\leq 0,44$	$\leq 0,49$	$\leq 0,49$	$\leq 0,49$	$\leq 0,44$	$\leq 0,46$	$\leq 0,44$	$\leq 1,47$	n.a.	$\leq 3,93$	n.a.	$\leq 0,59$
Gravelines - champ proche	Gravelines, au large	10/01/2019	Crustacés aquatiques	Crevette grise	Entier	cen-dre	3,93	14/06/2019	$\leq 0,011$	$0,0545 \pm 0,0091$	$\leq 0,052$	$\leq 0,016$	$0,063 \pm 0,015$	$\leq 0,015$	$\leq 0,052$	$\leq 0,029$	$\leq 0,015$	$\leq 0,13$	$\leq 0,014$	n.a.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	^{110m} Ag	⁵⁴ Mn	¹²⁴ Sb	¹²⁵ Sb	^{108m} Ag	¹⁰⁶ Rh	²⁴¹ Am	¹³¹ I*
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	26/02/2019	Mollusques aquatiques	Moule bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Chair	cendre	6,06	14/06/2019	≤ 0,0068	0,0179± 0,0043	≤ 0,019	0,0206± 0,0065	≤ 0,011	≤ 0,0084	≤ 0,019	≤ 0,016	≤ 0,0087	≤ 0,076	≤ 0,0087	n.a.
Gravelines - champ lointain	Tardinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	27/08/2019	Mollusques aquatiques	Moule bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Chair	cendre	4,38	28/11/2019	≤ 0,0077	0,0133± 0,0049	≤ 0,018	≤ 0,013	≤ 0,012	≤ 0,0099	≤ 0,018	≤ 0,018	≤ 0,011	≤ 0,086	≤ 0,010	n.a.
Centre Aquacole	Gravelines, lieu-dit Ferme Aquanord	26/02/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	cendre	3,20	21/10/2019	≤ 0,0067	0,0754± 0,0081	≤ 0,063	≤ 0,0094	≤ 0,013	≤ 0,011	≤ 0,081	≤ 0,016	≤ 0,0081	≤ 0,081	≤ 0,0081	n.a.
Gravelines - champ proche	Gravelines, au large	06/04/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	cendre	4,84	13/12/2019	≤ 0,0051	0,1073± 0,0099	≤ 0,055	≤ 0,0071	≤ 0,0099	≤ 0,0085	≤ 0,068	≤ 0,011	≤ 0,0059	≤ 0,064	≤ 0,0058	n.a.
Gravelines - champ lointain	Audinghen au large	12/03/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	cendre	4,29	17/12/2019	≤ 0,011	0,210± 0,021	≤ 0,14	≤ 0,015	≤ 0,023	≤ 0,016	≤ 0,19	≤ 0,025	≤ 0,012	≤ 0,14	≤ 0,012	n.a.

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

Tableau 106 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	³ H libre (Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation)	³ H libre (Bq.kg ⁻¹ frais)
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	26/02/2019	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	5,08	27/05/2019	5,30±0,70	4,26±0,56
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	27/02/2019	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	3,64	27/05/2019	4,90±0,70	3,55±0,51

Tableau 107 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ frais)
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	26/02/2019	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	5,08	02/06/2019	6,00±0,80	0,617±0,088
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	27/02/2019	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	3,64	02/06/2019	6,70±0,90	0,85±0,12
Gravelines - champ proche	Gravelines, au large	10/01/2019	Crustacés aquatiques	Crevette grise	Entier	3,62	07/08/2019	5,10±2,30	0,87±0,39
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	26/02/2019	Mollusques aquatiques	Moule bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Chair	7,14	02/06/2019	9,50±1,10	0,86±0,11
Gravelines - champ lointain	Tardinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	27/08/2019	Mollusques aquatiques	Moule bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Chair	4,31	05/11/2019	4,30±0,70	0,61±0,10
Centre Aquacole	Gravelines, lieu-dit Ferme Aquanord	26/02/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	2,90	26/07/2019	4,00±0,90	1,14±0,26
Gravelines - champ proche	Gravelines, au large	06/04/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	4,93	26/07/2019	6,50±0,90	0,88±0,13

Tableau 108 - Activités en ¹⁴C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/sec	Date de mesure du ¹⁴ C	¹⁴ C (Bq.kg ⁻¹ C)	¹⁴ C (Bq.kg ⁻¹ frais)	C _{TOT} (g.kg ⁻¹ frais)	δ ¹³ C/ ¹² C (‰)	pMC (%)
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	26/02/2019	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	Sec	5,08	12/07/2019	269,7±2,3	17,77±0,15	66	-19,74±0,30	113,80±0,97
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	27/02/2019	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	Sec	3,64	12/07/2019	254,7±2,2	23,25±0,20	91	-19,67±0,30	107,50±0,93
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	26/02/2019	Mollusques aquatiques	Moule bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Chair	Sec	7,14	12/07/2019	363,1±3,0	21,03±0,17	58	-19,47±0,30	153,30±1,30
Gravelines - champ lointain	Tardinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	27/08/2019	Mollusques aquatiques	Moule bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Chair	Sec	4,31	31/01/2020	323,0±1,4	32,42±0,14	100	-20,04±0,30	136,30±0,59
Centre Aquacole	Gravelines, lieu-dit Ferme Aquanord	26/02/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	Sec	2,90	16/09/2019	248±12	51,8±2,5	210	-16,79±0,30	149,00±7,20
Gravelines - champ proche	Gravelines, au large	06/04/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	sec	4,93	17/09/2019	353±17	31,9±1,5	90	-22,84±0,30	105,00±5,10

Tableau 109 - Activités en ⁶³Ni mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/sec	Date de mesure ⁶³ Ni	⁶³ Ni (Bq.kg ⁻¹ sec)	Ni (g.kg ⁻¹ sec)
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	26/02/2019	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	cendres	5,08	12/07/2019	0,41±0,09	0,0058±0,0007
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	27/02/2019	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	cendres	4,91	06/02/2020	0,39±0,09	0,0071±0,0007

Tableau 110 - Activités en ⁵⁵Fe mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2019.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/sec	Date de mesure	⁵⁵ Fe (Bq.kg ⁻¹ sec)
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	26/02/2019	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	cendres	5,08	19/02/2020	≤ 5,0
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	27/02/2019	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	cendres	4,91	07/03/2020	≤ 4,6

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

8.1 Radioécologie du milieu terrestre

Le ^{137}Cs est détecté dans la plupart des échantillons prélevés (21 fois sur 26). L'activité la plus élevée ($8,9\pm 0,7 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) 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 28).

En plus de l'eau de boisson et du lait de vache, dans lesquels l'activité en ^3H libre est recherchée depuis plusieurs années, cette activité a également été recherchée depuis 2015 dans l'herbe, les feuilles de salade, voire le lierre pour les CNPE de Flamanville et Gravelines (depuis 2016 et 2018 respectivement). Comme observé les années précédentes, les niveaux d'activité en ^3H libre dans les eaux de boisson sont inférieurs au seuil de décision ($\leq 0,6 \text{ Bq.L}^{-1}$) ou proche de celui-ci ($0,9\pm 0,6$ et $0,8\pm 0,6 \text{ Bq.L}^{-1}$ dans l'eau de boisson prélevée dans l'environnement du CNPE de Flamanville et de Penly. Le ^3H libre est également détecté dans trois des quatre échantillons de lait de vache récoltés, à des niveaux d'activité proches du seuil de décision (activité de $0,8\pm 0,7$ à $1,2\pm 0,6 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ ED}$ dans l'environnement des CNPE de Flamanville, Penly et Gravelines ; et $\leq 0,7 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ ED}$ dans l'environnement du CNPE de Paluel). Dans les salades échantillonnées sous influence des CNPE, ainsi que dans l'herbe échantillonnée à proximité du CNPE de Penly et dans le lierre échantillonné à proximité des CNPE de Flamanville et Gravelines, l'activité en ^3H libre est un peu plus élevée ($1,5\pm 0,6$ à $2,5\pm 0,6 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ ED}$), mais reste de l'ordre de grandeur du bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence des rejets des INB (1 à 3 Bq.L^{-1} , avec une valeur moyenne de $1,3 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'après [3]). Dans l'herbe échantillonnée à proximité du CNPE de Paluel, on mesure un apport local en tritium libre ($4,1\pm 0,7 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ ED}$).

Depuis 2010, le ^3H organiquement lié est lui aussi quantifié dans le lait de vache, à un niveau d'activité généralement proche du seuil de décision. En 2019, le ^3H organiquement lié a également été recherché dans la salade, l'herbe et les feuilles de lierre, et son activité y est proche du bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence des rejets des INB (1 à 3 Bq.L^{-1} , avec une valeur moyenne de $1,3 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'après [3]), hormis dans l'herbe échantillonnée à proximité du CNPE de Paluel, où l'activité en TOL mesurée témoigne d'un apport local ($3,5\pm 0,7 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ EC}$).

Enfin, l'activité en ^{14}C dans le lait est comparable à la valeur du bruit de fond sur le territoire français hors influence industrielle (proche de $230 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ d'après [3]). L'activité en ^{14}C dans les salades est proche de ce bruit de fond en champ proche des CNPE de Penly et Gravelines, tandis qu'elle témoigne d'un apport local ($239,1\pm 1,6$ à $266\pm 13 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$) pour les salades en champ proche (CNPE de Flamanville, Paluel et Gravelines) et en champ lointain (CNPE de Flamanville, Penly et Gravelines), sans que la contribution des rejets du site ne soit démontrée. L'activité en ^{14}C mesurée trimestriellement dans l'herbe à proximité du CNPE de Penly (à environ un kilomètre du CNPE) est comparable au bruit de fond hors influence industrielle (232 ± 11 à $239\pm 12 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$). En revanche, l'activité en ^{14}C mesurée trimestriellement dans l'herbe ou les feuilles de lierre échantillonnées à proximité des CNPE de Flamanville (lierre), Paluel (herbe) et Gravelines (lierre) (à environ un kilomètre ou moins des différents CNPE) était significativement supérieure au bruit de fond hors influence industrielle (activité comprise entre $241\pm 12 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$, dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Flamanville, et $261\pm 13 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$, dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Gravelines) ; témoignant d'un apport local probable en ^{14}C dans l'environnement immédiat de ces CNPE pour l'herbe ou le lierre.

À la vue des résultats obtenus dans le cadre du suivi radioécologique 2019, 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 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 (HTO et TOL) et/ou le ^{14}C .

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 ^{137}Cs 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 ^{137}Cs , le ^{60}Co , le ^{54}Mn et le $^{110\text{m}}\text{Ag}$), 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 30 page 202).

Le ^{137}Cs est le radionucléide artificiel le plus fréquemment détecté au sein des matrices échantillonnées (40 fois sur 49). Les activités en ^{137}Cs sont relativement homogènes de Flamanville à Gravelines (Figure 31 page 203). Néanmoins, les apports de l'usine ORANO La Hague contribuent à doubler les activités en ^{137}Cs 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 par kg de matière fraîche. L' ^{131}I , recherché dans les algues, est détecté dans deux échantillons dans l'environnement des CNPE de Flamanville et Penly.

Les activités en tritium libre ($1,9\pm 0,6$ à $9,5\pm 0,8$ Bq.L $^{-1}$ ED) dans les algues échantillonnées en champ proche comme en champ lointain des rejets d'effluents liquides des CNPE sont globalement 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 qui varient généralement de 0,3 à 10 Bq.L $^{-1}$) et majoritairement imputables à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague, ainsi qu'en témoignent les activités mesurées qui tendent à être légèrement supérieures à Flamanville qu'aux autres CNPE

depuis 2000 (Figure 30 page 202). On observe toutefois un marquage en tritium libre pour les algues échantillonnées en champ proche des CNPE de Flamanville, de Paluel et de Penly par rapport aux algues échantillonnées en champ lointain. Par ailleurs, les activités en tritium organiquement lié ($3,1\pm 0,9$ à $13,2\pm 1,2$ Bq.L⁻¹ EC) dans 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 également cohérentes avec les valeurs attendues, tout en témoignant d'un marquage par les rejets en tritium pour certains échantillons (14 des 29 activités mesurées sont légèrement supérieures à 5 Bq.L⁻¹ EC, avec une activité maximale de $13,2\pm 1,2$ Bq.L⁻¹ EC dans les vieilles pêchées à proximité du CNPE de Flamanville) dans l'environnement des CNPE de Flamanville, Paluel, Penly et Gravelines.

Les activités en ¹⁴C quantifiées au sein des algues, des mollusques et des poissons échantillonnées dans l'environnement marin des CNPE (236 ± 12 à 505 ± 24 Bq.kg⁻¹ C) sont pour la plupart (22 des 24 activités mesurées, l'exception étant représentée par les bars d'aquaculture du Centre Aquacole de Gravelines et par les algues en champ lointain du CNPE de Penly) supérieures au bruit de fond hors influence industrielle (240 ± 2 Bq.kg⁻¹ C d'après [29]), mais cohérentes avec les valeurs moyennes enregistrées par le passé du fait du marquage global par les INB de la Manche [29], 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 à proximité des CNPE de Flamanville, Penly et Gravelines. Ce marquage est également plus prononcé pour les mollusques à proximité de CNPE de Flamanville, Penly et Gravelines, ainsi que pour les poissons à proximité des CNPE de Paluel et de Penly (Figure 32 page 203). Les différences ne sont pas significatives pour les algues et les patelles à Paluel. 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.

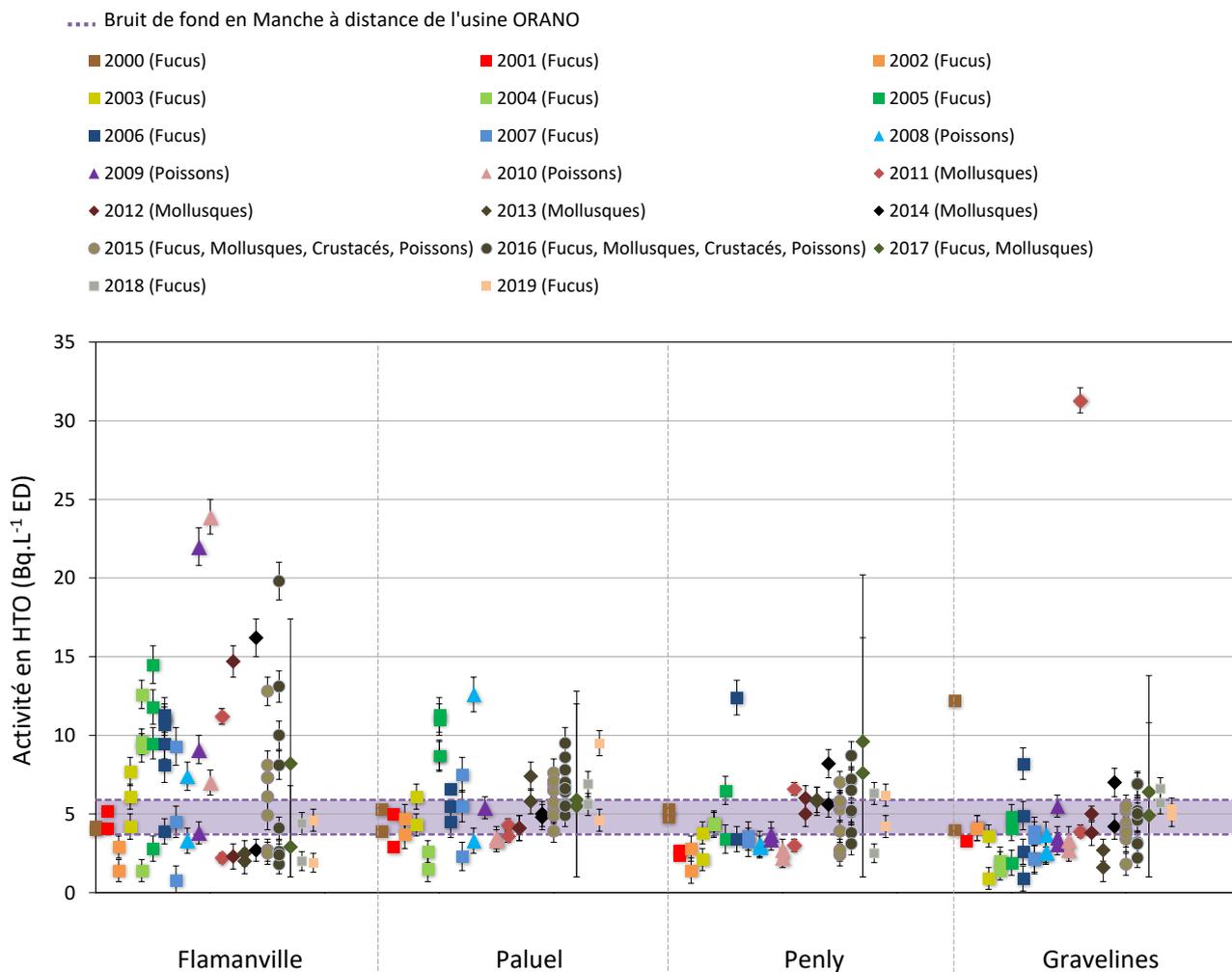


Figure 30 - Activités en tritium libre ($\text{Bq.L}^{-1} \text{ED}$) mesurées dans les algues, les mollusques, les crustacés et les poissons échantillonnés dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord depuis 2000. La zone violette indique le bruit de fond attendu en entrée de Manche (i.e. $0,1 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'après [15]).

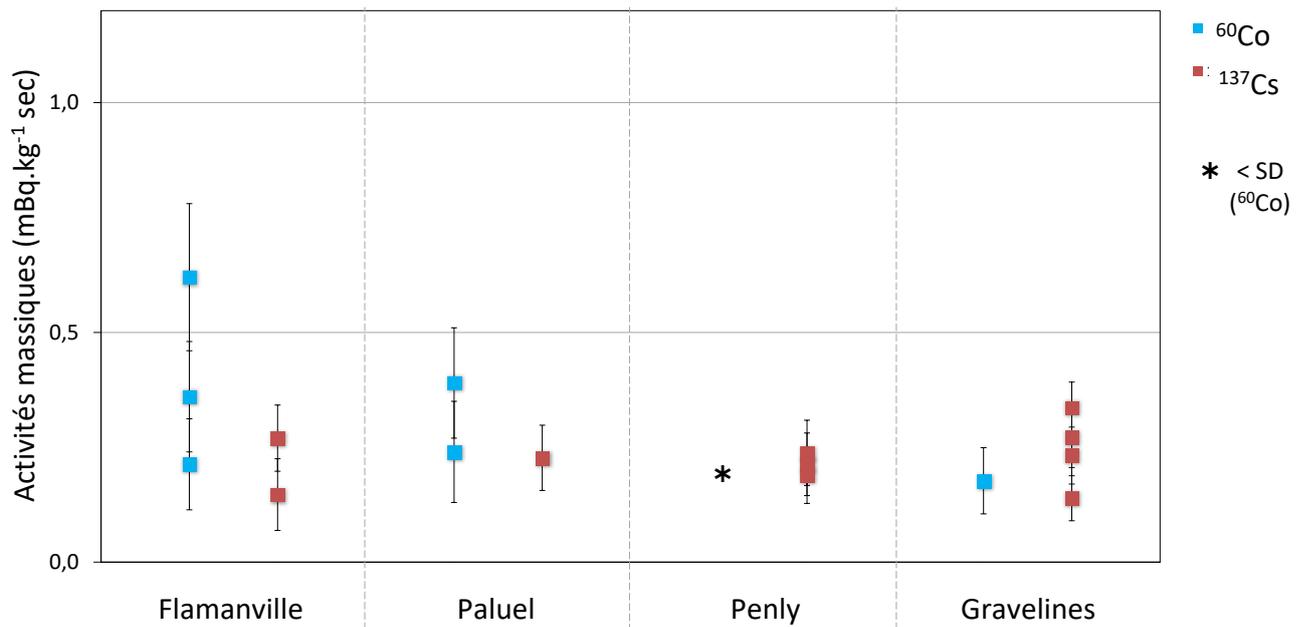


Figure 31 - Activités en ^{60}Co et en ^{137}Cs mesurées dans les algues échantillonnées en 2019 dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord.

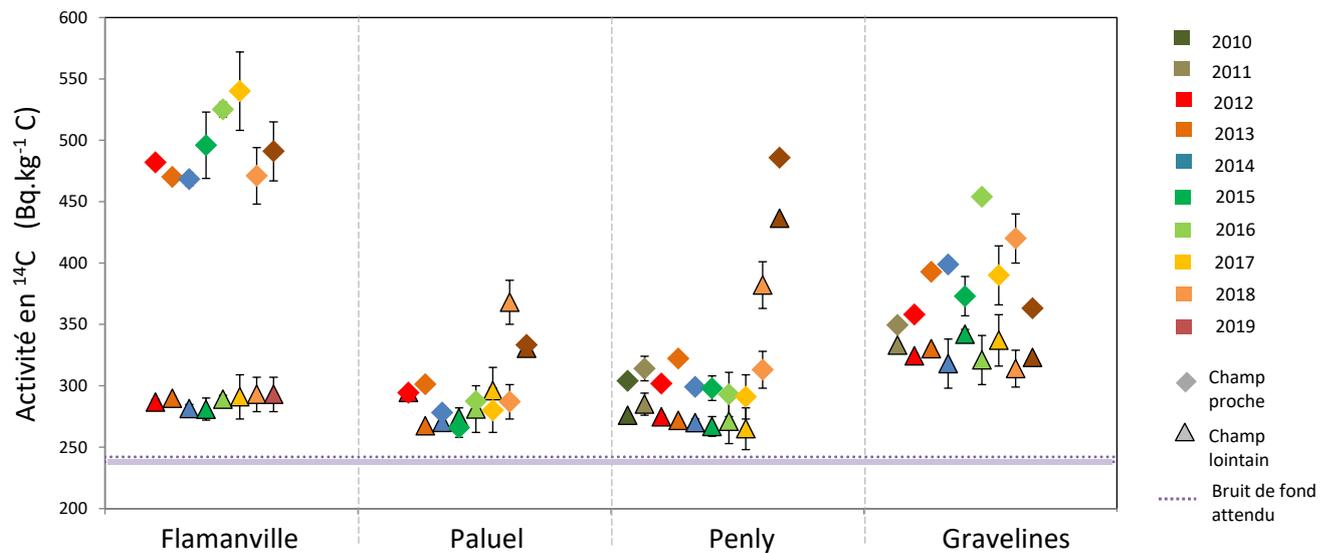


Figure 32 - Activités en ^{14}C ($\text{Bq.kg}^{-1}\text{C}$) dans les mollusques (patelles et moules) échantillonnés depuis 2010 dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord. Le graphique distingue les prélèvements fait en champ proche de chaque CNPE (losanges) de ceux effectués en champ lointain (triangles), et indique en violet le bruit de fond attendu hors influence industrielle (i.e., $240 \pm 2 \text{ Bq.kg}^{-1}\text{C}$ d'après [29]).

9 BIBLIOGRAPHIE

1. 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 DPRE/SERNAT/2003-04, p.
2. 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.
3. IRSN, *Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017*. 2018, IRSN. 353 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; Available from: <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. 76 p.
6. ASN. *Livre blanc du tritium*. 2010; Available from: <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. 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. 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 techniques 2008. p. 190.
10. IAEA/WMO, *Global network of isotopes in precipitation. The GNIP database*, 2013 p.
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: 523-533 p.
12. IRSN, *Niveau d'activité du tritium dans l'environnement. Contribution à la synthèse de la DEI sur le tritium*. 2008, IRSN. 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 DEI 2010-01, 23 p.
14. Roussel-Debet, S., *Bruit de fond du tritium en milieu terrestre*. Radioprotection, 2014. 49(2): 139-142 p.
15. 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.
16. Levin, I. et Hesshaimer, V., *A unique tracer of global carbon cycle dynamics*. Radiocarbon, 2000. 42(1): 69-80 p.
17. 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.
18. IRSN, *Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de juin 2011 à décembre 2014*. 2015, IRSN. 252 p.
19. 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.
20. IRSN, *Tchernobyl, 25 ans après*. in *Collection thématique de l'IRSN2011*, IRSN. 48 p.
21. 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*. 2007, Paris: Éditions Tec & Doc. Collection Sciences et techniques. Lavoisier.
22. 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 DEI/2011-01, 90 p.
23. IRSN. *Expertise de l'IRSN en matière de rejets hospitaliers de médecine nucléaire*. [cited 2018; Available from: http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Communiqués_et_dossiers_de_presse/Pages/expertise_IRSN_en_matière_de_rejets_hospitaliers_médecine_nucléaire].
24. IAEA, *Sediment distribution coefficients and concentration factors for biota in the marine environment 2004*, IAEA. 95 p p.

25. 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.
26. IRSN, *Radionucléides naturels en France*. 2007, IRSN. Rapport DEI/SESURE n°2007-21, 45 p.
27. Reimann, C., Filzmoser, P., et Garrett, R.G., *Background and threshold: critical comparison of methods of determination*. Science of the Total Environment, 2005. **346**: 1-16 p.
28. 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.
29. IRSN, *Synthèse du suivi radioécologique 2013 des 19 centres nucléaires de production d'électricité en exploitation*. 2014, IRSN. 132 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. 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. E 42/78-02, p.
32. Nord-Pas-de-Calais, D. *Conditions météo-océaniques*. 2013 [cited 2014; Available from: 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. IRSN, *Fiche radionucléide - Cobalt 60 et environnement*. 2010, IRSN. 22 p.
35. Blandin, P., *Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques*. Bulletin d'écologie, 1986. **17**(4) p.
36. Stuiver, M. et Polach, A., *Discussion reporting of ¹⁴C data*. Radiocarbon, 1977. **19**(3): 355-363 p.
37. Laboratoire national Henri Becquerel, *Arrondissement des résultats de mesure - Nombre de chiffres significatifs*. 2004, Laboratoire national Henri Becquerel. Note technique LNHB/04-13, 8 p.
38. 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.
39. 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.
40. ASN, *Livre blanc du tritium*, 2010, ASN. 304 p p.
41. IAEA, *Monitoring isotopes in rivers : creation of the global network of isotopes in rivers (GNIR)*. 2012, IAEA. IAEA-TECDOC-1673, 258 p.
42. Rank, D., Papesch, W., Heiss, G., et Tesch, R., *Isotopic composition of river water in the danube basin -results from the joint danube survey 2 (2007)*. Austrian Journal of Earth Sciences, 2009. **102**(2): 170-180 p.

10 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 10.1 page 209 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 ^{14}C dans l'environnement.

Sur le territoire français métropolitain, des radionucléides d'origine naturelle tellurique (^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th et leurs descendants) ou cosmogénique (^3H , ^7Be et ^{14}C) ainsi que des radionucléides d'origine artificielle (^{137}Cs) sont présents dans l'environnement terrestre. Les activités en radionucléides naturellement présents (^3H , ^{14}C) peuvent être augmentées par les rejets d'effluents de l'industrie nucléaire ou les activités militaires. Les dépôts globaux de ces radionucléides (^3H , ^{14}C et ^{137}Cs) sont liés aux retombées atmosphériques des essais aériens d'armes nucléaires pratiqués entre 1945 et 1980, et, pour le ^{137}Cs , 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, ^{14}C , ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et ^{124}Sb sont par exemple générés par l'activation des matériaux de structure des installations ; ^{134}Cs , ^{137}Cs , et ^{131}I , 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 ^{131}I). 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 ^{14}C (^{54}Mn , ^{57}Co , ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$) 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 ^{14}C , 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. Elles s'appuient sur les normes en vigueur, en particulier les documents des séries NF M60-780-XX « Mesure de la radioactivité dans l'environnement - Bioindicateurs » et NF V03-009-XX « Produits alimentaires - Mesure de la radioactivité dans les denrées alimentaires ».

En début de ce chapitre, il paraît nécessaire de donner la définition du terme de bio-indicateur. Blandin [35] 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 écosystème et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées ».

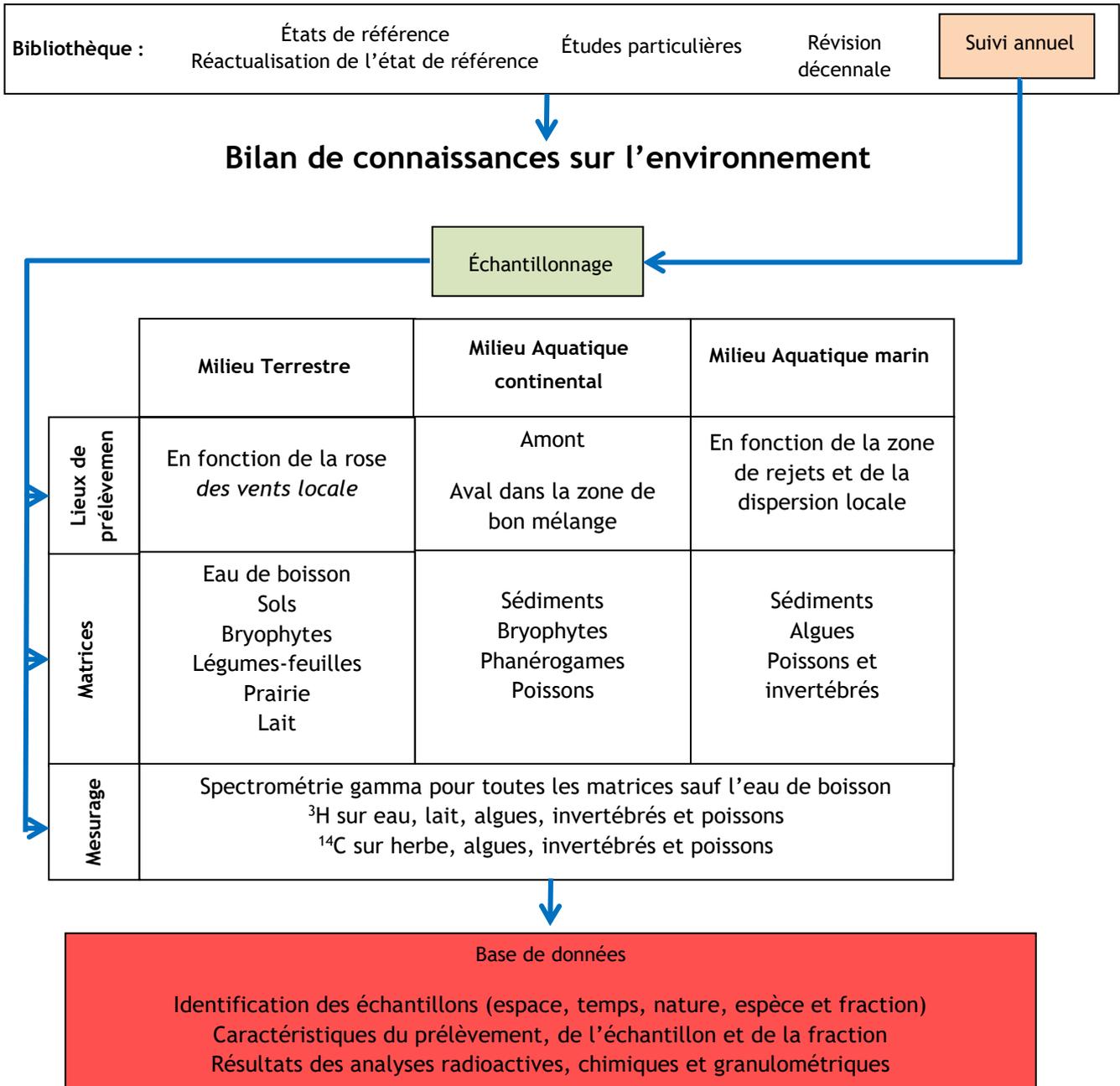


Figure 10.1 - Démarche utilisée pour la réalisation du suivi radioécologique annuel de chaque site.

10.1.Choix des stations de prélèvements

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

10.2.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. »

10.2.1.Domaine terrestre

10.2.1.1.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.

10.2.1.2.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.

10.2.1.3.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.

10.2.1.4.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.

10.2.1.5.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.

10.2.1.6.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.

10.2.2.Domaine aquatique marin

10.2.2.1.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.

10.2.2.2. Algues

Les macroalgues peuvent concentrer jusqu'à 10 000 fois les radionucléides dissous dans l'eau de mer [24]. 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.

10.2.2.3. 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.

10.3. 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 ^{14}C sur les végétaux collectés trimestriellement sous les vents des CNPE.

10.4. 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, ^{14}C , produits d'activation ou de fission présents dans les rejets d'effluents liquides (émetteurs gamma comme les ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{63}Ni , $^{123\text{m}}\text{Te}$, ^{124}Sb , ^{125}Sb , ^{134}Cs ou ^{137}Cs) ou atmosphériques (émetteurs gamma comme les ^{58}Co , ^{60}Co , ^{134}Cs ou ^{137}Cs). Les rejets atmosphériques comprennent aussi des gaz rares et des iodes.

10.5. Méthode de prélèvements sur le terrain

10.5.1. Domaine terrestre

10.5.1.1. 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.

10.5.1.2.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.

10.5.1.3.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.

10.5.1.4.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 1 à 2 litre est conservé au frais.

10.5.2.Domaine aquatique marin

10.5.2.1.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.

10.5.2.2.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.

10.5.2.3. 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

10.6. Préparation et conditionnement des échantillons

10.6.1. Domaine terrestre

10.6.1.1. Eau de boisson

10.6.1.1.1. 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.

10.6.1.1.2. 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.

10.6.1.2. 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.

10.6.1.3. Végétaux

10.6.1.3.1. 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

10.2 page 215). 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 ($\text{Bq.kg}^{-1} \text{sec}$).

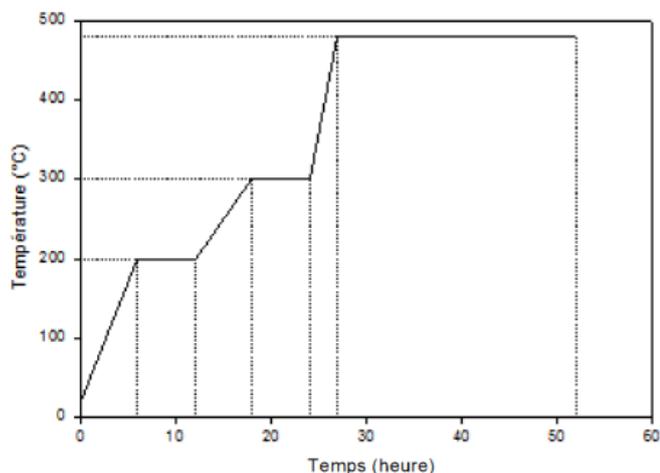


Figure 10.2 - Chronique d'une incinération : montée en température et paliers en fonction du temps.

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

10.6.1.3.2. Mesurage du tritium et du ^{14}C

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 $0,22 \mu\text{m}$ puis 40 mL sont conditionnés dans un flacon en verre brun et expédiés au service de métrologie dans des sachets aluminisés sous vide.

10.6.1.4. Lait

10.6.1.4.1. 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 .

10.6.1.4.2. Mesurage du tritium et du ^{14}C

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 ^{14}C . 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 $0,22 \mu\text{m}$ puis 40 mL sont conditionnés dans un flacon en verre brun et expédiés au service de métrologie dans des sachets aluminisés sous vide.

10.6.2. Domaine aquatique marin

10.6.2.1. 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 .

10.6.2.2. Végétaux

10.6.2.2.1. 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 incinérées à 480 °C dans un four à moufle (cf. chronique d'une incinération, figure 10.2 page 215). 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' ^{131}I pour les végétaux terrestres est appliqué sur une partie des algues. Référencées, ces boîtes sont expédiées au laboratoire de métrologie.

10.6.2.2.2. Mesurage du tritium et du ^{14}C

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.

10.6.2.3. Poissons, crustacés, mollusques

10.6.2.3.1. 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.

10.6.2.3.2. Mesurage du tritium et ^{14}C

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 ^{14}C . 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.

10.7. Techniques d'analyses

10.7.1. 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.

10.7.1.1. 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.

10.7.1.2. 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 Stokes 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 μm et de 50 μm . Le sédiment est tamisé sous un jet d'eau pour éliminer les particules de diamètre inférieur à 50 μm .

10.7.2. 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.

10.7.3. 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.

10.7.4. 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.

10.7.5. Mesure du ^{14}C

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 CO_2 obtenu est ensuite réduit par H_2 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 ^{14}C de l'échantillon est calculée en comparant les intensités mesurées séquentiellement des faisceaux de ^{14}C , ^{13}C et ^{12}C de chaque échantillon avec ceux de standards de CO_2 préparés à partir de l'acide oxalique de référence HOxI.

La mesure des rapports isotopiques $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 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.

10.7.6. 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 ^{131}I 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 sous-sol, à 6 m de profondeur. Pour augmenter la protection contre ce type de rayonnement, sous-sol et rez-de-chaussée 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 ^{40}K , 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.

10.8. 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 Bq.kg^{-1} frais pour les poissons, mollusques et crustacés et en Bq.L^{-1} dans le lait et l'eau. Le ^{137}Cs , émetteur β^- , donne naissance avec un rendement de 94,6 % au $^{137\text{m}}\text{Ba}$ de période 2,55 minutes et avec un rendement de 5,4 % au ^{137}Ba , stable. Le $^{137\text{m}}\text{Ba}$ conduit au ^{137}Ba , avec émission gamma (rendement de 85 %). Dans le rapport, l'activité gamma mesurée du $^{137\text{m}}\text{Ba}$, sera reportée sous l'intitulé ^{137}Cs usuellement utilisé.

Les activités en tritium sont reportées en Bq.L^{-1} d'eau de cryodessiccation pour le tritium libre mesuré dans le lait et les poissons, en Bq.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 ^{14}C 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 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$ ci-dessous) :

$$pMC = A \left\{ 1 - \frac{2 \times (25 + \delta^{13}\text{C})}{1000} \right\} \times \frac{100}{226}$$

d'après [36]

Chacun des résultats de mesure du ^{14}C 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) :

$$\text{BqS} = \text{BqC} (C / 1000)$$

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 » ($\pm 2 \sigma$). 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 [37].

Dans le milieu aquatique continental, les résultats de mesure du ^{137}Cs peuvent être normalisés par la granulométrie pour baisser la variabilité naturelle [38]. 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 :

$$^{137}\text{C}_{S_{ref}} = ^{137}\text{C}_{S_{meas}} \frac{(1.15 \pm 0.20) \cdot \text{CC}_{ref} + (0.43 \pm 0.16) \cdot \text{FSC}_{ref}}{(1.15 \pm 0.20) \cdot \text{CC}_{meas} + (0.43 \pm 0.16) \cdot \text{FSC}_{meas}}$$

Où

$^{137}\text{C}_{S_{ref}}$ = activité massique en ^{137}Cs normalisée (une station aval dans ce document) ;

$^{137}\text{C}_{S_{meas}}$ = activité massique en ^{137}Cs 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 %.

10.9. Radionucléides dans l'environnement

10.9.1. Radioactivité d'origine naturelle

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

Dans le cas des deux familles du ^{232}Th et de ^{238}U , 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 ^{232}Th : ^{228}Ac , ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{208}Tl
- pour la famille de ^{238}U : ^{234}Pa , ^{234}Th , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{210}Pb

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 : $^{40}\text{K} + (14 \times ^{238}\text{U}) + (10 \times ^{232}\text{Th}) + ^7\text{Be}$. 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 [26].

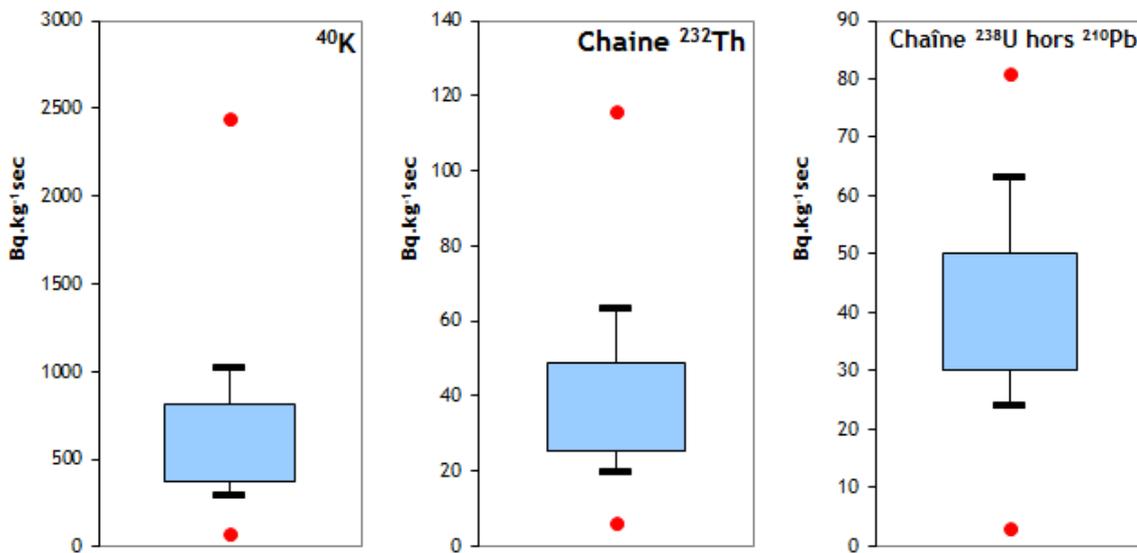


Figure 10.3 - Teneur en ^{40}K et en radionucléides des familles du ^{232}Th et du ^{238}U dans les sols métropolitains (1er et 3ème quartiles, 1er et 9ème déciles, *minimum et maximum*).

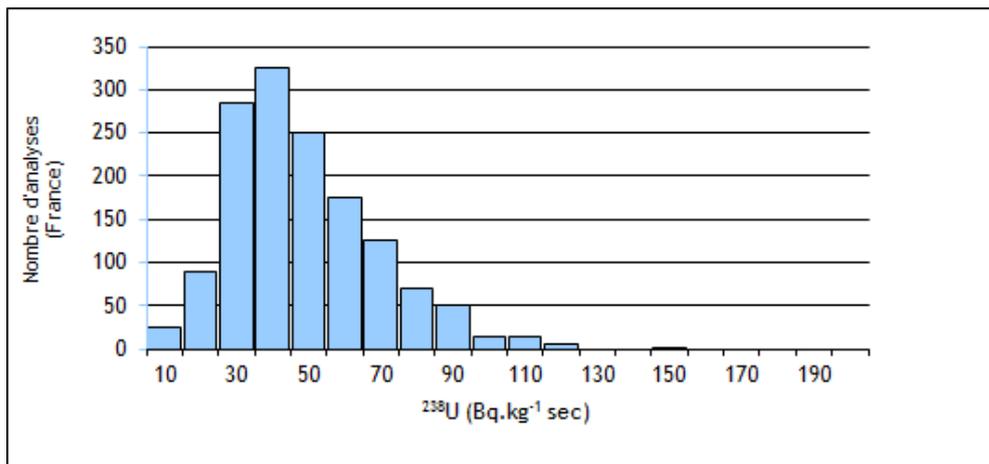


Figure 10.4 - Teneur en ^{238}U dans les sédiments métropolitains.

10.9.2. 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.

10.9.2.1. 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 ^{134}Cs , le ^{90}Sr 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 $^{144}\text{Ce}/\text{Pr}$, ^{141}Ce , ^{137}Cs , ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{103}Ru , $^{106}\text{Ru}/\text{Rh}$, ^{95}Zr , ^{95}Nb et ^{125}Sb [39].

10.9.2.2. 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 $^{134+137}\text{Cs}$, ^{131}I , le ^{132}Te , le ^{140}Ba et les $^{103+106}\text{Ru}$. 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 ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{131}I et ^{132}Te . Le rapport $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ est proche de 1 [22]. Il semblerait que les retombées en France aient été assez homogènes, sans fluctuations spatiales ou temporelles.

10.9.2.3. 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 : ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, $^{123\text{m}}\text{Te}$, ^{124}Sb , ^{125}Sb , ^{131}I , ^{54}Mn , ^{134}Cs et ^{137}Cs . Dans l'ensemble, parmi ces dix radionucléides, les réacteurs à eau pressurisée rejettent principalement les ^{58}Co , ^{60}Co et $^{110\text{m}}\text{Ag}$. 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.

10.9.2.4. 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 ^{131}I dans les cours d'eau, au travers des stations d'épuration des agglomérations sur lesquelles ils sont implantés.

10.9.3. 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 proche de 1 Bq.L^{-1} .

Hors influence industrielle locale, les activités en tritium libre sont à l'équilibre entre l'eau atmosphérique et l'eau libre des matrices du milieu terrestre [40]. L'activité en tritium organiquement lié mesurée dans les échantillons biologiques rend compte de l'activité atmosphérique du tritium au cours de la période de croissance de l'échantillon.

En milieu aquatique continental, hors influence industrielle locale, les activités en tritium libre des échantillons sont à l'équilibre avec les activités atmosphériques actuelles [40-42]. Les activités en tritium organiquement lié dans les sédiments sont plus élevées que celles mesurées dans les végétaux et poissons, elles-mêmes supérieures au tritium libre des eaux de surface. Hors influence de toute activité industrielle actuelle, les niveaux observés résultent de l'exposition des organismes aquatiques à deux sources de tritium différenciées par leur forme (libre et organiquement lié) et par leur âge : le tritium libre atmosphérique actuel et le tritium organiquement lié, drainé sur le bassin versant et rémanent d'une époque où les niveaux de tritium libre atmosphérique étaient plus élevés.

En milieu aquatique marin, l'activité du tritium libre est de l'ordre de $0,1 \text{ Bq.L}^{-1}$ dans les eaux marines de surface [15]. Elle est comprise entre $0,3$ et 10 Bq.L^{-1} le long des côtes de la Manche et de la mer du Nord, principalement du fait des rejets d'effluents liquides effectués par l'usine de traitement du combustible usé ORANO de la Hague.

10.9.4. Sources de ^{14}C

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

Les essais atmosphériques d'armes nucléaires ont massivement apporté du ^{14}C dans l'atmosphère. L'activité spécifique atmosphérique en ^{14}C est montée jusqu'à 400 Bq.kg^{-1} de carbone. Depuis, l'activité moyenne atmosphérique a décliné. Elle est, en 2018, proche de 230 Bq.kg^{-1} de carbone, et se rapproche de l'activité spécifique atmosphérique d'avant les premiers essais aériens ($226,0 \pm 1,1 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de carbone) [3].

En milieu aquatique, l'activité spécifique du ^{14}C varie avec sa dilution dans les substances carbonées, en particulier les carbonates anciens issus des roches sédimentaires appauvries en carbone 14. Contrairement au milieu terrestre, le ^{14}C des écosystèmes d'eau douce n'est pas en équilibre avec le CO_2 atmosphérique ; les activités spécifiques dans l'eau et les végétaux, hors influence industrielle locale y sont plus faibles : de l'ordre de 200 Bq.kg^{-1} de carbone [3, 29].

En milieu marin, le ^{14}C rejeté est en grande majorité sous forme minérale dissoute [25] et peut donc être incorporé ensuite à la matière organique. A 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 [19]. 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} de carbone.

10.10.Laboratoires d'analyses

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

