

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

Gravelines

2022

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 de Gravelines en 2022	4
I. Contexte	4
II. Le CNPE de Gravelines	4
III. Modifications apportées au voisinage du CNPE de Gravelines	5
IV. Évolutions scientifiques susceptibles de modifier l'étude d'impact	6
V. Bilan des incidents de fonctionnement et des événements significatifs pour l'environnement	6
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	14
I. Restitution d'eau	14
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	46
Partie V - Surveillance de l'environnement	49
I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement	49
II. Physico-chimie des eaux souterraines	58
III. Chimie et physico-chimie des eaux de surface	58
IV. Surveillance écologique et halieutique	61
V. Levées topographiques et bathymétriques	68
VI. Acoustique environnementale	68
Partie VI - Évaluation de l'impact environnemental et sanitaire des rejets de l'installation	70

Partie VII - Gestion des déchets	73
I. Les déchets radioactifs	73
II. Les déchets non radioactifs	77
ABREVIATIONS	80

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 – Résultats du suivi des rejets des miniblocs (épuration des eaux usées)

ANNEXE 2 – Suivi radio-écologique annuel des CNPE de la Manche et de la mer du Nord 2021 (IRSN)

ANNEXE 3 – Résultats de la campagne estivale 2022 de contrôle des eaux du canal d'amenée et du canal de rejet

ANNEXE 4 – Résultats des levées bathymétriques 2022, différentiel 2021/2022 « petite zone »

ANNEXE 5 – Rapport du Prévisionnel de prélèvement et consommation d'eau et de rejets du CNPE pour l'année 2022

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

I. Contexte

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

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

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

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

II. Le CNPE de Gravelines

Le centre nucléaire de production d'électricité (CNPE) EDF de Gravelines est situé sur la commune de Gravelines (département du Nord) à mi-chemin entre Dunkerque et Calais. Il occupe une superficie de 152 hectares, en bordure de la Mer du Nord. Les premiers travaux de construction ont démarré à partir de 1974 sur une zone choisie pour ses caractéristiques géographiques (prise d'eau dans l'avant-port ouest de Dunkerque) et hydrologiques (courants marins). C'est la 1^{ère} centrale de France en termes de puissance avec au total 5 400 MW de capacité de production, elle fournit près de 60% des besoins en électricité de la région Hauts-de-France. La centrale nucléaire de Gravelines, actrice économique de premier plan sur le territoire dunkerquois, lui apporte un soutien actif, à travers sa politique d'achats, de sous-traitance, la mise en place de partenariats solidaires et le reversement de ses taxes et impôts. En moyenne, 200 entreprises partenaires interviennent chaque année à la centrale.

En 2022, la centrale de Gravelines a produit 28,2 milliards de kWh d'électricité bas carbone, soit 10% de la production nucléaire française d'EDF.

Les installations de Gravelines regroupent six unités de production d'électricité en fonctionnement :

- Deux unités de la filière à eau sous pression (REP) d'une puissance de 910 mégawatts électriques refroidies chacune par l'eau de mer : Gravelines 1 et Gravelines 2, mises en service en 1980. Ces deux réacteurs constituent l'installation nucléaire de base (INB) n° 96 ;
- Deux unités de la filière à eau sous pression (REP) d'une puissance de 910 mégawatts électriques refroidies chacune par l'eau de mer : Gravelines 3 et

Gravelines 4, mises en service respectivement en 1980 et 1981. Ces deux réacteurs constituent l'installation nucléaire de base (INB) n° 97 ;

- Deux unités de la filière à eau sous pression (REP) d'une puissance de 910 mégawatts électriques refroidies chacune par l'eau de mer : Gravelines 5 et Gravelines 6, mises en service respectivement en 1984 et 1985. Ces deux réacteurs constituent l'installation nucléaire de base (INB) n° 122.

Les installations nucléaires de Gravelines sont placées sous la responsabilité d'un directeur, avec l'appui d'une équipe de direction. Le CNPE de Gravelines emploie en moyenne 2 000 salariés EDF dont plus de 100 alternants et il fait également appel à des intervenants d'entreprises extérieures pour réaliser les travaux lors de chacun des arrêts pour renouvellement du combustible et opérations de maintenance des unités de production. 1 800 salariés prestataires travaillent en permanence à la centrale.

Depuis 1991, une convention associe la centrale nucléaire de Gravelines et la société Aquanord (ferme aquacole et écloserie marine). Plusieurs installations ont été construites pour permettre à l'eau, nécessaire au fonctionnement de la ferme aquacole, d'arriver jusqu'aux bassins d'élevage des poissons : à partir des déversoirs de rejet de l'eau réchauffée provenant de ses unités 3, 4, 5 et 6. Des canalisations alimentent également l'écloserie marine voisine. La centrale et la ferme aquacole s'informent mutuellement des événements survenant sur leurs installations respectives.

Depuis 2016, le terminal méthanier Dunkerque LNG utilise les eaux chaudes de la centrale pour regazéifier le GNL (Gaz Naturel Liquéfié). Le gaz liquide est stocké sur place à - 160°C. Avant son émission sur le réseau de transport de gaz naturel, il est réchauffé lors de son déchargement grâce à de l'eau chaude provenant du canal de rejet de la centrale, acheminée via un tunnel de 5 km passant sous les bassins de l'avant-port ouest de Dunkerque.



Figure 1 : Localisation du site

III. Modifications apportées au voisinage du CNPE de Gravelines

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

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

Dans le cadre d'une démarche d'amélioration continue, EDF mène des études afin d'améliorer la connaissance de ses rejets (identification de sous-produits de la morpholine et de l'éthanolamine, de sous-produits issus des traitements biocides, dégradation de la monochloramine et de l'hydrazine dans l'environnement etc.). EDF mène également des études afin d'améliorer la connaissance de l'incidence de ses rejets sur l'homme et l'environnement. Ces évaluations d'impact nécessitent en effet l'utilisation de valeurs de référence qui font l'objet d'une veille scientifique :

- les Valeurs Toxicologiques de Référence pour l'impact sanitaire sur l'Homme, valeurs sélectionnées selon les critères définis dans la note d'information n°DGS/EA/DGPR/2014/307 du 31/10/2014,
- les valeurs seuils ou valeurs guides issues des textes réglementaires ou des grilles de qualité d'eau, les données écotoxicologiques, en particulier les PNEC (Predicted No Effect Concentration), et les études testant la toxicité et l'écotoxicité des effluents CRT, pour l'analyse des incidences sur l'environnement. A noter que les PNEC sont validées par la R&D d'EDF après revue bibliographique exhaustive et, si nécessaire, réalisation de tests écotoxicologiques commandités par EDF et réalisés selon les normes OCDE et les Bonnes Pratiques de Laboratoire.

L'ensemble de ces évolutions scientifiques sont intégrées dans les études d'impact.

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

Depuis 2004, le CNPE de Gravelines est certifié 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 Gravelines 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 Gravelines. 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 Gravelines 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 Gravelines en 2022.

Typologie	Tr.	Date événement	Date déclaration	Evènements	Actions de suite
ESE 2	7	29/01/2022	16/02/2022	Dépassement de la limite de concentration maximale autorisée en hydrocarbure lors du rejet des fosses 7SEO et 8SEO	AC1 : Modifier la consigne S.SEH en collaboration avec LNU/MTE et PCE pour définir l'exploitation du déshuileur. AC2 : Accompagner les évolutions de la consigne S.SEH auprès des services MTE, Conduite, PCE et LNU. AC3 : Questionner les possibilités techniques qui permettent de détecter la présence d'hydrocarbures dans la fosse épurée 7 SEH. AC4 : Ajouter dans Winservir un relevé une fois par jour sur le réglage de la lame en V et le niveau de la fosse à huile lu sur la réglette. AC5 : Organiser la réalisation par le service MTE d'un bilan mensuel des pompages des fosses à huile par paire de tranche.
ESE 6	0	20/10/2022	26/10/2022	Cumul annuel des émissions de gaz SF6 supérieur à 100 kg pour l'année 2022	AC1 : Poursuivre les études de remplacement des éléments fuyards par noria sur le poste 0LGR (SMALT et SRB). AC2 : Confirmer la planification du grand carénage des PSEM.

2. Bilan des incidents de fonctionnement

En 2022, les indisponibilités des dispositifs de traitement des effluents radioactifs des tranches 8 et 9 déjà présentes en 2021 se sont poursuivies. Ceci est lié à leur requalification au titre de la réglementation ESPN (Equipements Sous Pression Nucléaire). Ces indisponibilités n'ont pas eu d'incidence sur la qualité de la surveillance environnementale, et des moyens de traitement palliatifs ont été mis en œuvre pour limiter l'impact de ces indisponibilités sur les rejets du CNPE.

Partie II - Prélèvements d'eau

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

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

Dans un CNPE, l'eau est nécessaire pour :

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

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

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

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

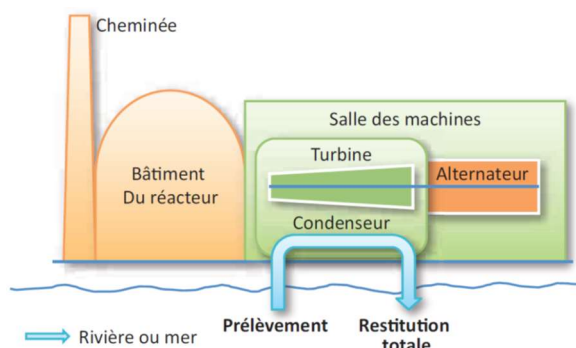


Figure 2 : Schéma d'un CNPE avec un circuit de refroidissement ouvert (Source : EDF)

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 tranches du CNPE soient en fonctionnement ou à l'arrêt, la grande majorité de l'eau prélevée (quasiment 100%) est restituée à sa source, c'est-à-dire au milieu naturel à proximité du point de prélèvement.

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

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

I. Prélèvement d'eau destinée au refroidissement

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

	Prélèvement d'eau (en millions de m ³)
Janvier	429,59
Février	417,78
Mars	520,93
Avril	460,83
Mai	434,83
Juin	426,02
Juillet	383,16
Août	487,84
Septembre	525,11
Octobre	573,70
Novembre	507,77
Décembre	588,03
TOTAL (en millions de m³)	5 755,58

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

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

	Consommation d'eau (en m ³)	eau de mer (en m ³)	eaux industrielles du réseau (en m ³)
Janvier	1 723 016	1 665 506	57 510
Février	1 641 046	1 579 132	61 914
Mars	1 756 032	1 671 546	84 486
Avril	1 772 183	1 702 669	69 514
Mai	1 832 761	1 754 898	77 863
Juin	1 789 535	1 722 402	67 133
Juillet	1 682 867	1 588 891	93 976
Août	1 730 280	1 613 359	116 921
Septembre	1 856 555	1 735 428	121 127
Octobre	1 897 974	1 781 574	116 400
Novembre	1 733 341	1 651 205	82 136
Décembre	1 853 952	1 759 776	94 176
TOTAL (en m³)	21 269 543	20 226 387	1 043 156

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

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

	Prélèvement d'eau (en m ³)
Janvier	6 505
Février	7 230
Mars	7 179
Avril	6 167
Mai	7 742
Juin	8 029
Juillet	7 657
Août	9 708
Septembre	10 844
Octobre	8 544
Novembre	10 677
Décembre	10 301
TOTAL (en m³)	100 583

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

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

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

Année	Milieu	Volume (milliers de m ³)
2020	Eaux marines pour le refroidissement	6 341 478
2021		6 118 078
2022		5 755 579
Prévisionnel 2022		6 100 000
2020	Eaux marines à usage industriel	26 438
2021		24 512
2022		20 226
Prévisionnel 2022		-
2020	Eaux douces du réseau pour un usage industriel	873 001
2021		897 370
2022		1 043 156
Prévisionnel 2022		850 000
2020	Eau potable du réseau à usage domestique	58,627
2021		87,989
2022		100,583
Prévisionnel 2022		-

Année	Milieu	Volume (milliers de m ³)
2020	Eaux douces souterraines	0
2021		0
2022		2,211
Prévisionnel 2022		35

Commentaires : La consommation d'eau industrielle en 2022 est en augmentation par rapport aux années précédentes et supérieure au prévisionnel. Ceci est lié aux travaux de rénovation de la station de décarbonatation qui ont nécessité l'utilisation d'unités mobiles entre avril et juillet pour produire l'eau décarbonatée (ultra-filtration et osmose inverse). Ces unités mobiles nécessitent des rétrolavages importants et génèrent donc plus d'effluents.

Le volume d'eaux de refroidissement prélevé dépend du fonctionnement des tranches. En 2022 il est inférieur au prévisionnel en raison des prolongations d'arrêts de tranche, donc un besoin moindre en eaux de refroidissement.

Les eaux marines à usage industriel correspondent aux prélèvements d'eaux de mer dûs au système CFI dont la fonction est de rincer les tambours filtrants du système CRF. Le CFI n'a pas de rôle de refroidissement.

Les eaux douces souterraines sont liées à la création en cours des puits de pompage en nappe pour le système d'appoint ultime en eau. Les volumes comptabilisés dépendent des travaux et des essais de pompage qui ont repris seulement en fin d'année 2022.

2. Comparaison aux valeurs limites

La décision ASN n°2018-DC-0647 ne définit pas de limites de prélèvements d'eau de mer pour le refroidissement, ni de limites de consommations d'eau industrielle et d'eau potable issues de réseaux de distribution.

Elle définit des limites pour les prélèvements d'eaux de nappe :

Milieu	Limites de prélèvement		Prélèvement	Unité
	Prescriptions	Valeur	Valeur maximale	
Eaux souterraines	Débit instantané	90	60,82	m ³ /s
	Volume journalier	2 160	300,76	m ³
	Volume annuel	35 000	2 211,04 *	m ³

*Correspond au volume annuel prélevé

Commentaires : Ces prélèvements ont été réalisés de manière discontinue, dans le cadre des travaux de création des puits de pompages ultime en eau. Les valeurs maximales observées sont inférieures aux limites autorisées.

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

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

A noter que dans le cadre du retour d'expérience de l'événement survenu au CNPE de Fukushima-Daiichi, il a été décidé de mettre en place, sur l'ensemble des CNPE, un moyen complémentaire de pompage en eau d'ultime secours pour les matériels de l'Îlot Nucléaire (bâches d'alimentation en eau de secours des générateurs de vapeur et piscines du bâtiment combustible et du bâtiment réacteur). Sur le CNPE de Gravelines, la solution retenue est la réalisation de quatre puits de pompage en nappe phréatique et d'un réservoir de stockage d'eau. Les travaux ont débuté en 2021.

Par ailleurs, un travail est en cours afin d'améliorer la détection des fuites sur le réseau d'eau potable et la mise en œuvre des réparations nécessaires.

4. Opérations exceptionnelles de prélèvements

Le CNPE de Gravelines n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de prélèvement d'eau dans le milieu en 2022.

Partie III – Restitution et consommation d'eau

I. Restitution d'eau

La restitution d'eau du CNPE de Gravelines pour l'année 2022 est présentée dans le tableau ci-dessous.

	Eau de refroidissement	Rejet radioactifs	Rejets industriels	Unité
Janvier	429 589 567	7 721	1 698 814	m ³
Février	417 783 253	7 032	1 615 926	
Mars	520 928 446	6 520	1 717 664	
Avril	460 826 384	7 224	1 750 957	
Mai	434 830 763	5 396	1 812 593	
Juin	426 017 069	5 005	1 775 067	
Juillet	383 160 543	6 526	1 655 415	
Août	487 840 844	4 646	1 685 388	
Septembre	525 108 249	8 286	1 843 722	
Octobre	573 702 197	5 656	1 860 666	
Novembre	507 765 934	8 232	1 720 905	
Décembre	588 025 937	9 212	1 824 967	
Restitution au milieu aquatique	5 776 622 724			m³
Pourcentage de restitution d'eau au milieu aquatique par rapport au prélèvement	99,994%			%

II. Consommation d'eau

La consommation d'eau correspond à la différence entre la quantité d'eau prélevée et la quantité d'eau restituée au milieu aquatique. Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel de consommation d'eau de l'année 2022.

	Consommation d'eau (en m ³)
Janvier	22 986
Février	25 318
Mars	39 027
Avril	20 169
Mai	22 514
Juin	17 492
Juillet	28 584
Août	50 067
Septembre	16 349
Octobre	41 048
Novembre	15 169
Décembre	30 075
TOTAL	328 777

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 1mSv/an dans l'article R1333-8 du code de la santé publique

I. Rejets d'effluents à l'atmosphère

1. Rejets d'effluents à l'atmosphère radioactifs

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

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

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

- Les effluents dits « aérés » qui proviennent de la collecte des 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
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. »

	Gaz rares						Iodes		Autres produits de fission ou d'activation				
	⁴¹ Ar (GBq)	⁸⁵ Kr (GBq)	^{131m} Xe (GBq)	¹³³ Xe (GBq)	¹³⁵ Xe (GBq)	^{133m} Xe (GBq)	¹³¹ I (GBq)	¹³³ I (GBq)	⁵⁸ Co (GBq)	⁶⁰ Co (GBq)	¹³⁴ Cs (GBq)	¹³⁷ Cs (GBq)	⁷⁶ As (GBq)
Janvier	2,70	0,81	0,00	36,55	15,24	0,00	0,000	0,003	0,00025	0,00029	0,00022	0,00030	-
Février	2,95	0,02	0,00	31,53	9,65	0,00	0,000	0,002	0,00027	0,00032	0,00022	0,00029	-
Mars	3,50	0,24	0,00	28,31	8,81	0,00	0,000	0,003	0,00025	0,00030	0,00022	0,00025	-
Avril	4,08	1,20	0,00	50,44	9,75	0,00	0,001	0,003	0,00025	0,00029	0,00021	0,00026	-
Mai	3,32	0,02	0,00	32,74	16,01	0,00	0,000	0,002	0,00016	0,00031	0,00007	0,00008	-
Juin	3,22	0,36	0,00	71,19	16,65	0,00	0,000	0,002	0,00010	0,00018	0,00007	0,00009	-
Juillet	2,82	1,72	0,00	239,30	13,59	0,00	0,001	0,003	0,00009	0,00012	0,00008	0,00009	-
Août	2,94	0,22	0,00	65,09	12,68	0,00	0,001	0,003	0,00082	0,00259	0,00014	0,00018	0,00006
Septembre	3,73	0,03	0,01	90,41	10,54	0,00	0,001	0,002	0,00025	0,00026	0,00019	0,00025	-
Octobre	6,87	0,00	0,00	96,27	14,28	0,00	0,003	0,017	0,00023	0,00041	0,00020	0,00027	-
Novembre	2,84	0,00	0,00	165,20	14,28	0,00	0,001	0,005	0,00023	0,00028	0,00020	0,00025	-
Décembre	4,99	0,39	0,01	192,90	22,51	0,001456	0,001	0,010	0,00026	0,00036	0,00022	0,00028	-
TOTAL ANNUEL	43,94	5,01	0,03	1099,93	163,99	0,001456	0,010	0,055	0,00317	0,00570	0,00206	0,00260	0,00006
	1312,90						0,0643		0,01358				

	Activités gaz rares (GBq)	Activité Tritium (GBq)	Activités Iodes (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Volumes rejetés (m ³)
Janvier	55,30	80,40	0,0030	0,0011	295	6,53E+08
Février	44,15	71,39	0,0029	0,0011		5,98E+08
Mars	40,87	73,57	0,0034	0,0010		6,33E+08
Avril	65,47	151,70	0,0039	0,0010	427	6,24E+08
Mai	52,08	150,70	0,0025	0,0006		5,99E+08
Juin	91,42	155,10	0,0028	0,0004		6,13E+08
Juillet	257,43	248,80	0,0033	0,0004	365	6,71E+08
Aout	80,93	211,00	0,0036	0,0038		6,08E+08
Septembre	104,71	162,30	0,0027	0,0010		5,42E+08
Octobre	117,42	189,70	0,0199	0,0011	194	6,17E+08
Novembre	182,32	164,40	0,0058	0,0010		5,93E+08
Décembre	220,80	98,93	0,0108	0,0011		6,13E+08
TOTAL ANNUEL	1 312,90	1 757,99	0,0643	0,0136	1281	7,36E+09

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 1.10^{-3} Bq/m³.

d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

Année	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)				
	Gaz rares	Tritium	Carbone 14	Iodes	Autres produits de fission et d'activation
2020	1 359	1 667	901	0,063	0,005
2021	1 361	1 635	1 319	0,070	0,009
2022	1 313	1 758	1 281	0,064	0,014
Prévisionnel 2022	3 000	2 200	1 200	0,100	0,010

Commentaires : Les rejets en produits de fission et d'activation (PF-PA) sont supérieurs au prévisionnel. La valeur de rejet est notamment marquée en août 2022 par la présence de Cobalt sur les filtres permanents de la tranche 8, en lien avec une activité réalisée dans le cadre de l'arrêt de la tranche 3 qui avait conduit à évacuer le bâtiment réacteur. Ces rejets restent cependant très inférieurs à la limite de rejet réglementaire (0,6% de la limite annuelle).

e. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n°2018-DC-0646.

Paramètres	Localisation prélèvement	Limites annuelles de rejet		Rejet	
		Prescriptions	Valeur	Valeur maximale	Valeur totale
Gaz rares	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	108 000		1 312,90
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 ⁷	1,00.10 ⁶	
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 ⁷	8,89.10 ⁵	
	Cheminée n° 3	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 ⁷	8,13.10 ⁵	
Carbone 14	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	3 300		1281,00
Tritium	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	12 000		1 757,99
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 ⁶	5,18.10 ⁴	
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 ⁶	4,69.10 ⁴	
	Cheminée n° 3	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 ⁶	5,37.10 ⁴	
Iodes	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	2,4		0,06
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 ²	0,989	
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 ²	2,82	
	Cheminée n° 3	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 ²	21,8	
Autres produits de fission et produits d'activation	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	2,4		0,0136
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 ²	0,181	
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 ²	4,48	
	Cheminée n° 3	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 ²	0,306	

Commentaires : Les rejets radioactifs à l'atmosphère respectent les valeurs limites de rejets de la décision ASN n°2018-DC-0646. Les débits instantanés ont respecté les valeurs de la décision ASN n°2018-DC-0646 tout au long de l'année 2022.

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), le réservoir de stockage de l'eau borée pour le remplissage des piscines,
- les rejets de vapeur du circuit secondaire par le système de décharge à l'atmosphère, susceptibles de renfermer de la radioactivité en cas d'inétanchéité des tubes de générateurs de vapeur.

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

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

	Rejets de vapeur du circuit secondaire		Rejets au niveau des événements des réservoirs d'entreposage des effluents liquides Ex, T et S ainsi que des réservoirs d'eau de refroidissement des piscines	
	Tritium (MBq)	Iodes (Bq)	Tritium (MBq)	Iodes (Bq)
Janvier	0,00	0,00	71,02	0,00
Février	6,00	0,00	101,14	0,00
Mars	0,00	0,00	53,76	0,00
Avril	0,00	0,00	61,38	1,50
Mai	0,00	0,00	55,31	0,00
Juin	0,00	0,00	62,45	0,00
Juillet	0,00	0,00	119,96	0,00
Août	0,00	0,00	111,12	0,00
Septembre	0,00	0,00	85,19	0,00
Octobre	0,00	0,00	98,20	0,00
Novembre	0,00	0,00	76,20	0,00
Décembre	0,00	0,00	83,96	0,00
TOTAL ANNUEL	6,00	0,00	979,71	1,50

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 équipée de groupes frigorifiques pour assurer la production d'eau glacée et pour la réfrigération des locaux techniques et administratifs. Ces matériels utilisent des produits pouvant accroître

l'effet de serre. Le fonctionnement des matériels et les opérations de maintenance conduisent à des émissions de fluides frigorigènes. Ces émissions sont réglementairement déclarées et comptabilisées et des actions sont prises pour remédier à la situation.

- Les opérations de maintenance effectuées dans les bâtiments réacteur des CNPE : Lors de ces opérations, une quantité plus ou moins importante de calorifuges est changée par des produits neufs. Pendant les phases de montée en température correspondant à la remise en service des installations, certains types de calorifuges émettent, par dégradation thermique, des vapeurs formolées dans l'enceinte, qui peuvent être à l'origine de rejets de monoxyde de carbone.
- Le conditionnement de circuit à l'arrêt : à l'occasion des arrêts de tranche pour une durée supérieure à une semaine, la conservation humide des générateurs de vapeur permet de s'affranchir du risque de corrosion des matériaux constitutifs et de disposer d'une barrière biologique (écran d'eau) pour réaliser des travaux environnants. Les générateurs de vapeur sont alors remplis avec de l'eau déminéralisée conditionnée à l'hydrazine et additionnée avec de l'ammoniaque dans des proportions définies dans les spécifications chimiques de conservation à l'arrêt.

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

La quantité annuelle évaluée d'oxyde de soufre (SOx) et d'azote (NOx) rejetée dans l'atmosphère lors du fonctionnement périodique des groupes électrogènes de secours (moteurs Diesels) ayant fonctionné pendant 331 heures et des diesels d'ultime secours (DUS) ayant fonctionné pendant 84 heures, au total sur les 6 tranches pour 2022 est de :

Paramètre	Unité	Groupes électrogènes	DUS	TOTAL
SOx	kg	3	0	3
NOx	kg	33 603	9 096	42 699

b. Rejets de formaldéhyde et de monoxyde de carbone

En 2022, environ 22 m³ de calorifuges dans les enceintes des bâtiments réacteurs 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	2,41E-03	5,71E-05
		Monoxyde de carbone	2,25E-03	5,33E-05

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

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

Paramètre	Unité	TOTAL
Ammoniac	kg	655
Ethanolamine		37,5

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 Gravelines.

L'estimation des émissions de gaz à effet de serre et de fluides frigorigènes est la suivante :

Paramètre	Masse en kg	Tonne équivalent CO ₂
Hydrogéo-fluoro-carbone (HFC)	80,86	131,45
Hexafluorure de soufre (SF6)	111,77	2 548,36
Total des émissions de GES en tonne équivalent CO₂		2 679,81

Commentaires : Le rejet de 111,77 kg de SF6 a fait l'objet de la déclaration d'un événement significatif pour l'environnement (ESE) (cf Partie I - §V – 1). Les rejets en SF6 sont toutefois en baisse depuis plusieurs années suite au travail entrepris pour détecter, collecter et traiter les fuites le plus rapidement possible, afin de réduire les rejets dans l'environnement.

Dans le respect de la réglementation relative aux systèmes d'échanges de quota d'émissions de gaz à effet de serre, le CNPE déclare chaque année les émissions de CO₂ provenant de l'activité de combustion de combustibles dans les installations dont la puissance thermique totale de combustion est supérieure à 20 MW. Pour l'année 2022, les émissions liées à cette activité représentent 608,16 tonnes équivalent CO₂.

L'équivalent CO₂ total des émissions de GES du CNPE constituées des pertes de fluides frigorigène et SF6 et de la combustion des diesels de secours, représente 0,117 gCO₂ / kWh électrique produit, la production annuelle nette d'électricité ayant été de 28,2 TWh sur l'année 2022.

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

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

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

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

II. Rejets d'effluents liquides

1. Rejets d'effluents liquides radioactifs

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

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

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

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

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

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

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

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

a. Règles spécifiques de comptabilisation

Ces règles s'appuient en premier lieu sur la définition de « spectres de référence », en fonction du type de rejet (liquides ou atmosphériques). Ces rejets sont constitués d'une liste

de radionucléides à identifier par les moyens de mesure adéquats. Cette liste a été déterminée par une étude réalisée de 1996 à 1999 sur l'ensemble du parc des CNPE d'EDF. Toutes les substances figurant dans plus de 90 % des analyses figurent dans cette liste. Des radionucléides comme l'iode, peu présent dans les rejets, figurent également dans cette liste, mais pour des raisons historiques.

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

Radioélément	⁵⁴ Mn (MBq)	⁵⁸ Co (MBq)	⁶⁰ Co (MBq)	^{110m} Ag (MBq)	^{123m} Te (MBq)	¹²⁴ Sb (MBq)	¹²⁵ Sb (MBq)	¹³⁴ Cs (MBq)	¹³⁷ Cs (MBq)	Autres (MBq)	TOTAL (MBq)
janvier	10,62	40,39	91,78	73,02	3,62	12,31	30,43	3,94	6,02	15,31	287,45
février	8,16	16,01	53,24	45,88	2,93	13,26	21,67	3,62	4,86	1,48	171,12
mars	6,40	20,20	73,52	62,50	3,07	6,00	18,63	3,98	8,41	0,00	202,71
avril	4,10	18,88	65,69	78,81	6,32	11,72	30,93	3,71	6,71	0,00	226,88
mai	2,91	31,32	54,09	57,65	8,52	30,01	41,61	2,22	3,07	0,63	232,01
juin	4,11	25,78	56,45	76,46	2,80	6,64	12,14	1,93	2,98	0,00	189,28
juillet	2,88	18,83	41,93	33,06	3,64	3,21	7,75	2,39	3,33	0,64	117,65
août	2,22	9,74	36,28	15,92	3,93	2,18	6,76	3,45	6,21	0,00	86,70
septembre	4,81	36,58	104,30	90,93	17,30	18,36	40,19	4,15	7,14	0,00	323,75
octobre	4,38	13,40	59,77	24,85	2,91	4,14	7,45	2,68	3,43	0,00	123,00
novembre	4,17	11,36	45,01	22,28	3,45	6,25	14,44	3,85	5,11	0,00	115,92
décembre	6,57	12,88	126,70	31,50	3,80	8,38	18,09	4,55	5,60	0,00	218,07
TOTAL ANNUUEL	61,34	255,35	808,75	612,87	62,28	122,46	250,11	40,46	62,86	18,07	2 294,54

	Volumes rejetés (m ³)	Activité Tritium (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Iodes (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)	Activité Ni63 (GBq)
Janvier	30 221	3 812	5,003	0,00407	0,27210	0,02339
Février	30 638	3 509	4,690	0,00377	0,17110	0,01050
Mars	39 942	2 786	5,070	0,00351	0,20270	0,01380
Avril	35 839	2 805	3,050	0,00476	0,22780	0,02478
Mai	27 635	3 321	2,640	0,00250	0,24730	0,01344
Juin	28 129	3 929	2,570	0,00209	0,18930	0,00996
Juillet	40 219	4 665	2,740	0,00249	0,11770	0,01310
Août	53 392	3 056	1,700	0,00238	0,08670	0,01589
Septembre	65 383	4 987	3,660	0,00421	0,32300	0,01960
Octobre	44 272	3 711	3,120	0,00255	0,12300	0,01040
Novembre	38 343	5 080	5,980	0,00408	0,11600	0,00461
Décembre	45 208	4 814	4,720	0,00489	0,21800	0,01610
TOTAL ANNUEL	479 220	46 475	44,943	0,041304	2,2947	0,17557

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

Commentaires : L'activité volumique en tritium mesurée dans les rejets en provenance des réservoirs Ex (SEK) a été inférieure à 400 Bq/L en 2022.

d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)			
	Tritium	Carbone 14	Iodes (MBq)	Autres PA et PF (incluant le Ni63)
2020	59 248	45,45	0,027	3,61
2021	59 704	43,96	0,040	2,69
2022	46 475	44,94	0,041	2,47
Prévisionnel 2022	84 000	50	0,05	3,30

Commentaires : Les rejets radioactifs liquides sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2022.

e. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2018-DC-0646.

Paramètres	Limites annuelles de rejet		Rejet
	Prescriptions	Valeur	Valeur (GBq)
Tritium	Activité annuelle rejetée (GBq)	120 000	46 475
Carbone 14	Activité annuelle rejetée (GBq)	900	44,94
Iodes	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,9	0,04
Autres PA et PF	Activité annuelle rejetée (GBq)	90	2,29

Paramètres	Localisation prélèvement	Limites annuelles de rejet		Rejet	Valeur moyenne (Bq/s)
		Prescriptions	Valeur	Valeur maximale annuelle (Bq/s)	
Tritium	canal de rejet	Débit d'activité (Bq/s)	800 Bq/L x D	1,50E+07	2,52E+06
Iodes	canal de rejet	Débit d'activité (Bq/s)	1 Bq/L x D	1,37E+01	2,20E+00
Autres PA et PF	canal de rejet	Débit d'activité (Bq/s)	7 Bq/L x D	9,65E+02	1,24E+02

D = débit de l'eau de refroidissement (L/s)

Commentaires : Les limites réglementaires de rejets fixées dans la décision ASN n°2018-DC-0646 ont été respectées, en quantité totale rejetée ainsi qu'en débit d'activité instantané.

f. Surveillance des eaux réceptrices

Des prélèvements d'eau de mer sont réalisés lors de chaque rejet d'effluents liquides radioactifs (à mi-rejet). Des prélèvements journaliers sont également réalisés en dehors des périodes de rejet. Plusieurs analyses sont réalisées sur ces échantillons d'eau filtrée (mesure de l'activité bêta globale, du tritium et de la teneur en potassium sur l'eau et mesures de l'activité bêta globale sur les matières en suspension). Ces analyses permettent de s'assurer du respect des valeurs d'activité volumique limites fixées par la réglementation.

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

	Paramètre analysé	Activité volumique horaire à mi-rejet			Activité volumique : moyenne journalière		
		Valeur moyenne mesurée en 2022	Valeur maximale mesurée en 2022	Limite réglementaire	Valeur moyenne mesurée en 2022	Valeur maximale mesurée en 2022	Limite réglementaire
Eau filtrée (Bq/l)	Activité bêta globale	12,37	14,80	18	-	-	-
	Tritium	67,58	320,00	1 800	16,25	82,80	900 ⁽¹⁾ / 100 ⁽²⁾
	Potassium	419,99	455,00	-	-	-	-
Matières en suspension (Bq/m ³)	Activité bêta globale	0,014	0,051	-	-	-	-

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

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

2. Rejets d'effluents liquides chimiques

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

Ces rejets d'effluents chimiques sont issus :

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

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

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

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

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

a. Etat des connaissances sur la toxicité de l'éthanolamine et de ses produits dérivés

Il n'y a pas d'évolution récente des connaissances sur la toxicité de l'éthanolamine et des sous-produits associés. Les principaux effets connus sont rappelés ci-après.

- L'éthanolamine a des propriétés irritantes (oculaire, cutané, brûlure d'œsophage dans le cas de l'ingestion) et corrosives. Aucune VTR issue des bases de données de référence n'est associée à cette substance.
- Les produits de dégradation de l'éthanolamine sont constitués des ions acétates, formiates, glycolates et oxalates, ainsi que de méthylamine et d'éthylamine. Il s'agit de substances irritantes voire corrosives, qui sont faiblement toxiques dans les conditions de rejet. Aucune VTR issue des bases de données de référence n'est associée à ces substances.

L'étude d'impact n'a pas mis en évidence de risque sanitaire attribuable aux rejets liquides d'éthanolamine et de ses produits dérivés.

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 les émissaires R1 et R2

L'émissaire de rejet R1 permet le rejet des effluents radioactifs produits par l'ensemble des tranches du site, ainsi que d'une partie des effluents issus des salles des machines, pouvant potentiellement présenter de la radioactivité.

L'émissaire de rejet R2 permet uniquement le rejet d'effluents issus des salles des machines, pouvant potentiellement présenter de la radioactivité.

i. Cumul mensuel

Le cumul mensuel des rejets chimiques transitant par les émissaires de rejet R1 et R2 est donnée dans le tableau suivant :

Emissaire de rejet R1

	Acide borique (kg)	Morpholine (kg)	Ethanolamine (kg)	Hydrazine (kg)	Détergents (kg)	Ammonium (kg)	Phosphates (kg)	Métaux totaux (kg)	MES (kg)	DCO (kg)
Janvier	1 617,33		2,38	0,27	5,17	216,69	32,91	4,56	256,23	838,41
Février	818,58		2,72	0,34	4,01	271,88	27,26	2,86	261,22	378,63
Mars	1 508,19		3,31	0,13	3,74	194,58	29,84	4,54	240,18	504,82
Avril	3 754,53		2,71	0,26	4,31	249,85	75,77	7,52	58,19	491,75
Mai	5 300,98		1,98	0,12	3,53	197,91	41,78	4,37	22,50	457,00
Juin	1 201,54		1,99	0,09	4,20	213,61	31,10	6,30	23,23	376,98
Juillet	1 170,58		2,90	0,14	6,06	179,71	28,80	6,16	331,20	372,92
Août	1 156,64		2,96	0,10	6,06	138,53	17,27	7,52	311,48	462,92
Septembre	4 713,59		5,21	0,40	6,14	130,71	20,55	6,62	434,47	693,52
Octobre	368,17		2,33	0,09	4,41	156,52	38,91	5,65	244,09	281,03
Novembre	278,26		1,84	0,23	6,67	125,83	62,24	4,57	328,82	426,67
Décembre	1 276,09		3,07	0,44	7,78	135,06	21,39	5,86	364,91	374,49
TOTAL ANNUEL	23 164,47	0,00	33,39	2,60	62,09	2 210,87	427,82	66,53	2 876,49	5 659,14

Emissaire de rejet R2

	Morpholine (kg)	Ethanolamine (kg)	Hydrazine (kg)	Ammonium (kg)	Phosphates (kg)	Métaux totaux (kg)	MES (kg)	DCO (kg)
Janvier		0,41	0,02	34,77	6,38	0,31	11,72	145,96
Février		0,48	0,02	68,49	11,71	0,41	13,69	59,30
Mars		0,95	0,03	72,17	8,03	0,73	27,20	119,89
Avril		0,77	0,04	75,07	7,33	0,85	6,93	77,18
Mai		0,62	0,03	76,40	6,47	0,74	6,52	66,40
Juin		0,60	0,06	80,96	3,60	1,41	6,31	65,32
Juillet		0,79	0,03	59,33	8,81	1,09	55,47	93,27
Août		2,15	0,07	92,45	8,46	3,59	150,54	245,17
Septembre		2,58	0,31	100,79	9,06	2,42	180,65	415,49
Octobre		2,06	0,08	160,63	14,90	3,16	30,83	154,70
Novembre		1,59	0,07	144,18	5,95	2,06	26,96	163,37
Décembre		3,42	0,25	205,71	8,57	3,63	37,13	195,48
TOTAL ANNUEL	0,00	16,43	1,01	1170,94	99,29	20,40	553,96	1801,53

Rejets du site (R1 + R2)

	Acide borique (kg)	Morpholine (kg)	Ethanolamine (kg)	Hydrazine (kg)	Détergents (kg)	Ammonium (kg)	Phosphates (kg)	Métaux totaux (kg)	MES (kg)	DCO (kg)	Aluminium (kg)
Janvier	1 617,33	0,00	2,79	0,29	5,17	251,46	39,30	4,87	267,96	984,38	0,50
Février	818,58	0,00	3,20	0,36	4,01	340,37	38,97	3,27	274,90	437,94	0,40
Mars	1 508,19	0,00	4,27	0,15	3,74	266,75	37,87	5,27	267,38	624,70	0,89
Avril	3 754,53	0,00	3,47	0,30	4,31	324,92	83,11	8,37	65,12	568,93	0,90
Mai	5 300,98	0,00	2,60	0,15	3,53	274,30	48,25	5,12	29,02	523,41	0,54
Juin	1 201,54	0,00	2,59	0,15	4,20	294,56	34,71	7,71	29,54	442,30	1,20
Juillet	1 170,58	0,00	3,70	0,17	6,06	239,04	37,61	7,27	386,67	466,20	1,38
Août	1 156,64	0,00	5,11	0,17	6,06	230,99	25,73	11,12	462,02	708,09	2,85
Septembre	4 713,59	0,00	7,79	0,71	6,14	231,50	29,62	9,04	615,11	1 109,00	0,97
Octobre	368,17	0,00	4,39	0,17	4,41	317,14	53,81	8,81	274,92	435,73	1,32
Novembre	278,26	0,00	3,42	0,30	6,67	270,01	68,19	6,63	355,78	590,04	0,75
Décembre	1 276,09	0,00	6,49	0,68	7,78	340,76	29,96	9,49	402,04	569,97	2,84
TOTAL ANNUEL	23 164,47	0,00	49,82	3,61	62,09	3 381,81	527,12	86,96	3 430,45	7 460,67	14,55

Rejet des métaux

	Pb	Cr	Ni	Cu	Zn	Al	Fe	Total	Pb	Cr	Ni	Cu	Mn	Zn	Al	Fe	Total	Pb	Cr	Ni	Cu	Mn	Zn	Al	Fe	Total
	kg (KER)	kg (KER)	kg (KER)	kg (KER)	kg (KER)	kg (KER)	kg (KER)	kg (KER)	kg (SEK)	kg (SEK)	kg (SEK)	kg (SEK)	kg (SEK)	kg (SEK)	kg (SEK)	kg (SEK)	kg (SEK)	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	
Janvier	0,01	0,02	0,02	0,12	0,39	0,28	2,25	3,17	0,02	0,06	0,06	0,06	0,22	0,34	0,22	0,72	1,70	0,03	0,08	0,08	0,17	0,33	0,72	0,50	2,97	4,87
Février	0,01	0,02	0,02	0,04	0,25	0,17	0,70	1,24	0,02	0,06	0,06	0,20	0,22	0,42	0,24	0,80	2,03	0,04	0,08	0,08	0,24	0,26	0,67	0,40	1,50	3,27
Mars	0,04	0,02	0,02	0,26	0,37	0,55	1,38	2,71	0,03	0,08	0,08	0,08	0,40	0,60	0,33	0,94	2,56	0,07	0,10	0,10	0,34	0,48	0,97	0,89	2,32	5,27
Avril	0,02	0,09	0,04	0,19	0,67	0,61	2,69	4,68	0,03	0,07	0,07	0,43	0,43	0,72	0,29	1,66	3,69	0,05	0,16	0,11	0,62	0,80	1,39	0,90	4,35	8,37
Mai	0,02	0,01	0,01	0,12	0,31	0,31	1,51	2,45	0,14	0,06	0,06	0,06	0,40	0,58	0,22	1,16	2,67	0,16	0,07	0,07	0,17	0,56	0,89	0,54	2,67	5,12
Juin	0,02	0,03	0,01	0,11	0,30	0,21	1,47	2,29	0,07	0,06	0,06	0,12	0,72	0,49	0,99	2,91	5,42	0,09	0,08	0,07	0,23	0,86	0,78	1,20	4,39	7,71
Juillet	0,02	0,02	0,02	0,30	0,30	0,40	1,41	2,60	0,03	0,08	0,08	0,08	0,47	0,94	0,98	1,99	4,67	0,05	0,10	0,10	0,38	0,62	1,24	1,38	3,40	7,27
Août	0,01	0,01	0,01	0,34	0,25	0,46	1,47	2,97	0,05	0,12	0,12	0,25	0,49	0,83	2,39	3,90	8,15	0,06	0,13	0,13	0,59	0,90	1,07	2,85	5,37	11,12
Septembre	0,01	0,02	0,02	0,42	0,44	0,40	2,10	3,69	0,06	0,14	0,14	0,14	0,47	0,63	0,57	3,20	5,35	0,07	0,16	0,16	0,57	0,75	1,07	0,97	5,29	9,04
Octobre	0,01	0,01	0,01	0,20	0,47	0,24	1,02	2,09	0,04	0,10	0,10	0,23	0,50	0,42	1,08	4,25	6,72	0,04	0,11	0,11	0,43	0,62	0,89	1,32	5,27	8,81
Novembre	0,02	0,02	0,02	0,37	0,56	0,45	1,05	2,72	0,07	0,08	0,08	0,08	0,51	0,42	0,30	2,38	3,91	0,09	0,10	0,10	0,45	0,73	0,98	0,75	3,43	6,63
Décembre	0,01	0,02	0,02	0,15	0,59	1,08	1,47	3,51	0,04	0,09	0,09	0,43	0,43	0,61	1,76	2,52	5,98	0,05	0,11	0,11	0,58	0,60	1,20	2,84	3,99	9,49
TOTAL ANNUUEL	0,20	0,29	0,22	2,61	4,88	5,17	18,52	34,13	0,61	0,99	0,99	2,17	5,26	7,00	9,38	26,42	52,83	0,81	1,28	1,22	4,78	7,49	11,88	14,55	44,94	86,96

ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

Substances	Unité	2020	2021	2022	Prévisionnel 2022
Acide borique	kg	29 260	25 444	23 165	25 200
Ethanolamine	kg	72	45	50	100
Hydrazine	kg	4,53	3,49	3,61	3,60
Ammonium	kg	5 268	4 335	3 382	6 000
Détergents	kg	83,82	57,18	62,09	55
Phosphates	kg	242	538	527	300
Métaux totaux	kg	65	75	87	100
Aluminium	kg	9,14	16,52	14,55	15
MES	kg	2 823	3 785	3 430	-
DCO	kg	4 523	4 930	7 461	-

Commentaires : Les rejets de phosphates sont supérieurs à l'attendu en raison d'entrées d'eau de mer dans les circuits RRI (plusieurs tranches), dues à des fuites dans les échangeurs SEC-RRI. Des déconcentrations ont été nécessaires (appoints-rejets) dans les circuits RRI pour respecter les spécifications chlorures, ce qui a entraîné des rejets plus importants de produits de conditionnement (phosphates).

iii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2018-DC-0646.

	Limite R1	Limite R2	Rejet site	Limite R1	Limite R2	Limite R1 + R2	Rejet site	Limite R1	Limite R2	Limite R1 + R2	Rejet site	Limite R1	Rejet R1	Limite R2	Rejet R2	Limite R1 + R2	Rejet site	
Substances	Concentration maximale ajoutée (µg/l)		Valeur maximale calculée (µg/l)	Flux 2h (kg)			Valeur maximale calculée (kg)	Flux 24h (kg)			Valeur maximale calculée (kg)	Flux annuel ajouté (kg)	Flux annuel calculé (kg)	Flux annuel ajouté (kg)	Flux annuel calculé (kg)	Flux annuel ajouté (kg)	Flux annuel calculé (kg)	
Acide borique	1 300	-	421,56	1 500	-		485,64	10 000	-		1 930,43	43 500	23 164,47	-	-	-	-	
Ethanolamine	2,4	2,1	0,46	2,8	2,4		0,74	12,8	6		1,86	1 376	33,39	544	16,43	-	-	
Hydrazine	13	13	0,05	15	15	15	0,06	54	34	54	0,26	176	2,60	22	1,01	-	-	
Ammonium	43,4	47,9	14,20	50	55,2	90	14,31	145	111	240	31,50	15 560	2 210,87	7 650	1 170,94	-	-	
Détergents	52,1	-	0,68	60	-		0,75	180	-		2,63	5 900	62,09	-	-	-	-	
Phosphates	63,5	49,6	5,87	73,1	57,1	120	5,91	162	71,4	180	14,62	1 138	427,82	266	99,29	-	-	
Métaux totaux	3	2,6	0,16	3,5	3		0,18	16	7,5		0,77	1 720	66,53	680	20,40	-	-	
MES	103,3	88,5	8,78	119	102		11,96	544	255	680	44,71	58 480	2 876,49	23 120	553,96	-	-	
DCO	121,5	104,2	21,29	140	120		23,31	640	300		69,12	68 800	5 659,14	27 200	1 801,53	-	-	
Morpholine	6,1	5,2	0,00	7	6	12	0	32	15	45	0	2 257,5	0	892,5	0	-	-	
Aluminium	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	124,9	14,55

L'article 5.3.1 de la décision ASN n°2017-DC-0588 demande une évaluation de la quantité annuelle de lithine rejetée. En 2022, la quantité de lithine rejetée par le CNPE de Gravelines est évaluée à 10,64 kg.

Commentaires : Les rejets liquides chimiques des émissaires R1 et R2 respectent les valeurs limites annuelles de rejet de la décision ASN n°2018-DC-0646.

Bien qu'il existe une limite réglementaire de rejets de morpholine, cette substance n'est plus utilisée par le CNPE pour le conditionnement du circuit secondaire.

iv. Rejets de cuivre et de sulfates liés à la destruction de l'hydrazine

La prescription [EDF-GRA-122] de la décision ASN n°2018-DC-0647 demande une évaluation des quantités de sulfates et de cuivre rejetés liées à l'injection de sulfate de cuivre destiné à la destruction de l'hydrazine dans les réservoirs T, S et Ex.

En 2022, 7,27kg de sulfate de cuivre ont été injectés dans les réservoirs pour destruction de l'hydrazine. Ceci conduit à un rejet de 1,85 kg de cuivre et 2,80 kg de sulfates.

d. Rejets d'effluents liquides chimiques via les émissaires B1 à B3

Ce paragraphe présente les rejets de substances chimiques liées aux rejets d'effluents liquides non-radioactifs du CNPE de Gravelines pour l'année 2022 produits sur la plateforme industrielle du site.

Ces effluents sont collectés dans trois fosses SEO (une par paire de tranches). Ces trois fosses sont rejetées via les émissaires B1, B2 et B3, vers le canal d'amenée. Elles collectent les effluents sur la plateforme industrielle du CNPE. Il s'agit principalement d'eaux pluviales, ainsi que d'effluents issus des miniblocs (micro-stations d'épuration des eaux usées), et les effluents traités par des déshuileurs notamment (eaux issues de la plateforme industrielle susceptibles de contenir des hydrocarbures). Il ne s'agit pas d'effluents radioactifs ou susceptibles de l'être.

i. Cumul mensuel

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

Emissaire de rejet B1 (9 SEO)

	MES (kg)	DBO5 (kg)	DCO (kg)	Azote Kjeldahl (kg)	Hydrocarbures (kg)	Phosphates (kg)
Janvier	34,00	2,41	32,10	1,78	0,13	10,30
Février	89,70	6,02	72,90	9,15	2,31	21,00
Mars	10,80	3,20	51,00	5,80	1,25	15,70
Avril	88,60	15,40	107,00	10,50	1,90	18,80
Mai	80,50	32,10	218,00	17,50	5,55	23,70
Juin	9,65	1,16	25,60	1,83	0,21	8,07
Juillet	/	/	/	/	/	/
Août	53,90	8,38	75,90	6,24	0,32	6,97
Septembre	281,00	32,60	325,00	18,60	10,10	27,00
Octobre	128,00	29,10	198,00	22,60	8,97	15,90
Novembre	239,00	27,30	152,00	8,53	2,49	24,40
Décembre	187,00	27,60	167,00	5,39	4,38	28,40
TOTAL ANNUEL	1202,15	185,27	1424,50	107,92	37,61	200,24

Emissaire de rejet B2 (8 SEO)

	MES (kg)	DBO5 (kg)	DCO (kg)	Azote Kjeldahl (kg)	Hydrocarbures (kg)	Phosphates (kg)
Janvier	16,60	4,43	59,80	2,16	0,81	23,40
Février	41,80	5,60	69,80	4,49	3,64	20,00
Mars	8,29	2,03	36,10	7,67	0,34	22,20
Avril	16,20	5,20	33,50	14,50	0,20	11,60
Mai	21,90	2,80	49,60	16,20	0,11	19,40
Juin	73,50	13,30	139,00	14,10	3,17	30,40
Juillet	111,00	13,70	197,00	18,80	11,40	46,40
Août	85,90	5,10	62,20	3,90	7,32	14,30
Septembre	83,40	8,00	84,70	9,52	0,37	13,60
Octobre	18,80	4,50	37,40	4,40	0,23	15,40
Novembre	65,30	84,10	203,00	6,95	5,08	16,90
Décembre	55,90	15,60	60,50	2,03	2,25	11,00
TOTAL ANNUEL	598,59	164,36	1032,60	104,72	34,93	244,60

Emissaire de rejet B3 (7 SEO)

	MES (kg)	DBO5 (kg)	DCO (kg)	Azote Kjeldahl (kg)	Hydrocarbures (kg)	Phosphates (kg)
Janvier	36,80	6,52	56,90	10,40	2,85	12,50
Février	36,40	9,61	60,00	6,47	2,92	9,90
Mars	15,20	3,64	31,60	2,99	0,21	20,90
Avril	79,40	14,80	73,50	6,57	0,61	16,10
Mai	34,80	7,15	83,60	19,60	0,24	16,30
Juin	21,00	6,70	74,70	12,30	2,00	15,10
Juillet	12,50	2,01	35,30	4,16	0,32	7,39
Août	17,20	1,01	8,10	0,37	0,14	1,64
Septembre	160,00	20,50	172,00	46,00	1,94	17,30
Octobre	71,50	5,10	45,60	3,90	0,17	8,43
Novembre	79,80	25,20	137,00	8,01	2,74	29,40
Décembre	170,00	14,00	318,00	5,06	1,66	19,70
TOTAL ANNUEL	734,60	116,24	1096,30	125,83	15,80	174,66

Cumul des rejets B1, B2 et B3

	MES (kg)	DBO5 (kg)	DCO (kg)	Azote Kjeldahl (kg)	Hydrocarbures (kg)	Phosphates (kg)
Janvier	87,40	13,36	148,80	14,34	3,80	46,20
Février	167,90	21,23	202,70	20,11	8,87	50,90
Mars	34,29	8,87	118,70	16,46	1,80	58,80
Avril	184,20	35,40	214,00	31,57	2,71	46,50
Mai	137,20	42,05	351,20	53,30	5,91	59,40
Juin	104,15	21,16	239,30	28,23	5,38	53,57
Juillet	123,50	15,71	232,30	22,96	11,72	53,79
Août	157,00	14,49	146,20	10,51	7,78	22,91
Septembre	524,40	61,10	581,70	74,12	12,41	57,90
Octobre	218,30	38,70	281,00	30,90	9,37	39,73
Novembre	384,10	136,60	492,00	23,49	10,31	70,70
Décembre	412,90	57,20	545,50	12,48	8,29	59,10
TOTAL ANNUEL	2535,34	465,87	3553,40	338,47	88,34	619,50

ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets d'effluents liquides chimiques via les émissaires B1 à B3 de l'année 2022 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2022.

Paramètres	Unité	2020	2021	2022	Prévisionnel 2022
MES	kg	3 086	4 228	2 535	-
DBO5	kg	554	654	466	-
DCO	kg	4 765	4 125	3 553	-
Azote Kjeldahl	kg	433	528	338	700
Hydrocarbures	kg	69	77	88	-
Phosphates	kg	455	656	620	500

Commentaires : Les rejets issus des fosses SEO peuvent fluctuer d'une année à l'autre, en fonction de la pluviométrie de l'année ou des rejets des miniblocs notamment. Les résultats 2022 sont normaux et cohérents avec les rejets des années précédentes.

iii. Comparaison aux limites et au prévisionnel

Les limites relatives aux rejets des substances chimiques par voie liquide via les émissaires B1 à B3 sont réglementées par la décision ASN n°2018-DC-0646.

Emissaire B1 (9 SEO)	Limite	Rejet		Limite	Rejet	Limite	Rejet
		Concentration maximale avant rejet (mg/l)	Valeur maximale calculée				
MES	80	148,40	15,24	280	47,80	1400	48,20
DBO5	25	20,00	3,54	80	9,22	400	9,22
DCO	120	80,00	20,81	380	49,60	1900	49,60
Azote Kjeldahl	40	13,80	1,95	128	6,62	640	6,62
Hydrocarbures	5	4,50	0,54	-	1,97	-	3,76
Phosphates	28	21,00	3,34	16	6,43	36	7,94

Emissaire B2 (8 SEO)	Limite	Rejet		Limite	Rejet	Limite	Rejet
		Concentration maximale avant rejet (mg/l)	Valeur maximale calculée				
MES	80	94,50	13,81	280	43,90	1400	43,90
DBO5	25	64,00	6,13	80	22,70	400	22,70
DCO	120	188,60	26,13	380	54,70	1900	54,70
Azote Kjeldahl	40	20,19	2,76	128	11,20	640	11,20
Hydrocarbures	5	6,60	0,86	-	3,66	-	3,66
Phosphates	28	23,60	5,74	16	14,00	36	14,00

Emissaire B3 (7 SEO)	Limite	Rejet		Limite	Rejet	Limite	Rejet
		Valeur maximale calculée	Valeur moyenne calculée				
MES	80	76,94	16,85	280	46,30	1400	52,80
DBO5	25	11,00	3,70	80	6,96	400	10,70
DCO	120	112,72	24,46	380	127,00	1900	214,00
Azote Kjeldahl	40	25,10	3,13	128	28,70	640	28,70
Hydrocarbures	5	5,60	0,42	-	2,63	-	2,63
Phosphates	28	36,50	5,16	16	14,50	36	14,50

Commentaires : Sur les 323 rejets de fosses SEO réalisés en 2022, plusieurs dépassements de critères ont été détectés. Les paramètres en dépassement sont uniquement les concentrations dans les fosses avant rejet, en MES, en DBO5, en DCO, en hydrocarbures et en phosphates ; les limites de flux 2h et 24h n'ont pas été atteintes.

La limite de concentration en hydrocarbures a été dépassée lors d'un rejet de la fosse 7 SEO en janvier 2022, puis lors de deux rejets de fosse 8 SEO en août 2022. La présence de ces hydrocarbures est due à des difficultés liées à l'exploitation des déshuileurs SEH, dont les eaux épurées sont orientées vers SEO. Ces dépassements ont fait l'objet de la déclaration d'un événement significatif pour l'environnement (ESE) (cf Partie I - §V – 1).

En mars 2022, un dépassement de la concentration limite en phosphates a été observé lors du rejet de la fosse 7 SEO sans dépassement des flux 2h et 24h, sans qu'une cause ait pu être déterminée avec certitude.

En août et en novembre 2022, des dépassements de la concentration limite en MES (matières en suspension) ont eu lieu lors de rejets des fosses 8 SEO et 9 SEO, sans dépassement des flux 2h et 24h. Ce type de dépassement peut arriver lors de périodes de fortes pluies générant un lessivage important de la voirie entraînant les matières en suspensions vers les fosses.

En novembre 2022, les concentrations limites en DCO et DBO5 ont été dépassées lors d'un rejet de la fosse 8 SEO, possiblement dues à un fonctionnement trop important des pompes ayant entraîné un brassage du fond de la fosse.

e. Rejets d'effluents liquides chimiques via les émissaires B5 à B9

Trois autres émissaires identifiés B5, B6 et B7 permettent le rejet des eaux de pluie déshuilées issues des parkings et de certains bâtiments tertiaires vers le watergang, et deux émissaires B8 et B9 permettent le rejet des eaux de pluie déshuilées, principalement issus de parkings, vers le canal d'amenée.

Pour ces effluents, la limite suivante doit être respectée :

Paramètre	Concentration maximale (mg/l)
Hydrocarbures	5

Les valeurs mesurées en 2022 sur les émissaires B5 à B9 respectent toutes la limite de 5 mg/L en hydrocarbures fixée par décision ASN n°2018-DC-0646.

f. Rejets d'effluents liquides chimiques issus de SDX

Les ateliers de préparation d'eau industrielle produisent des effluents lors de la régénération des chaînes de déminéralisation (système SDX).

i. Cumul mensuel

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

	MES (kg)	Sulfates (kg)
janvier	221,25	23 996,56
février	258,72	27 584,65
mars	380,99	36 643,61
avril	367,92	28 502,63
mai	699,38	21 797,81
juin	151,35	24 296,43
juillet	216,04	28 177,73
août	325,94	60 949,58
septembre	682,69	67 013,32
octobre	570,55	51 072,99
novembre	93,81	32 340,49
décembre	299,64	36 581,49
TOTAL ANNUEL	4 268,28	438 957,29

ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

Paramètres	Unité	2020	2021	2022	Prévisionnel 2022
MES	kg	1 716	2 452	4 268	-
Sulfates	kg	382 711	332 887	438 957	390 000

Commentaires : Les rejets issus de SDX sont en augmentation par rapport à 2021, avec un dépassement du prévisionnel pour les sulfates, en lien avec la consommation plus importante en eau industrielle.

iii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n°2018-DC-0647.

Substances	Limite	Rejet		Limite	Rejet	Limite	Rejet
	Concentration maximale avant rejet (mg/l)	Valeur maximale calculée	Valeur moyenne calculée	Flux 2h (kg)	Valeur maximale calculée (kg)	Flux 24h (kg)	Valeur maximale calculée (kg)
MES	250	446,0	26,5	60	98,3	300	214,5
Sulfates	6000	6 290,8	2 642,9	1 440	2 210,0	7 200	5 805,1

Commentaires : Concernant les MES, les limites en concentration et en flux 2h ont été dépassées lors d'un rejet de fosse SDX en mai 2022. L'origine de cette concentration excessive n'a pu être déterminée.

Pour les sulfates, les limites en concentration et en flux 2h ont été dépassées lors d'un rejet de fosse SDX en septembre 2022 suite à une injection excessive de réactif due à une difficulté de manœuvre de vanne.

Débit maximum instantané (m ³ /h)	Débit moyen maximum sur 2h (m ³ /h)	Débit moyen maximum sur 24h (m ³ /h)	pH
120	120	50	5,5 - 9

Commentaires : En 2022, les débits instantanés sont compris entre 100 et 120 m³/h, le pH est compris entre 6,1 et 8,4.

g. Rejets issus des miniblocs

Dix miniblocs assurent le traitement des eaux usées du site. Six miniblocs se rejettent vers les trois fosses SEO (émissaires B1, B2 et B3), trois vers le watgang (émissaire B5), et un au canal d'amenée (celui-ci constitue l'émissaire de rejet B4).

i. Cumul mensuel

Les résultats du suivi des miniblocs sont donnés en **annexe 1**.

Il est à noter qu'en 2022, certains miniblocs ont dû être déconnectés du réseau SEO, en raison de travaux de remplacement, de la réalisation d'activités de maintenance ou de difficultés d'exploitation ne permettant pas d'assurer un traitement de qualité et de respecter les limites réglementaires de rejet et de rendement. Ceci explique l'absence de certaines données dans les tableaux de l'**annexe 1**.

ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Aucun prévisionnel n'est défini concernant les rejets issus des miniblocs.

iii. Comparaison aux limites

Les effluents en sortie des miniblocs doivent respecter les limites définies dans la décision ASN n°2018-DC-0647.

Paramètre	Rendement minimal (%)	Concentration maximale (mg/L)
DBO5	70	25
DCO	75	125
MES	90	35

Commentaires : La mesure à la sortie du minibloc n°5 n'a pas été réalisée en juin 2022 en raison de défauts d'organisation lors de la passation entre le service responsable de la maintenance et l'exploitant des miniblocs.

Certaines valeurs de rendements sont plus faibles que l'attendu, en fonction des mois. Cela peut concerner différents miniblocs. Ces pertes de rendements sont en lien avec la faible charge arrivant dans les miniblocs ne favorisant pas l'efficacité du traitement. Les limites de concentration en sortie du traitement sont toutefois respectées.

h. Rejets d'effluents liquides chimiques issus du traitement biocide du circuit de refroidissement

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

Les eaux de refroidissement sont traitées pour éliminer les salissures biologiques par injection de chlore actif fabriqué sur place par électrolyse de l'eau de mer. La chloration du circuit de refroidissement entraîne la formation de bromoformes dans l'eau de mer.

La chloration n'est autorisée que lorsque la température de l'eau de mer est supérieure à 10°C.

i. Cumul mensuel

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

	Bromoformes (kg)	Oxydants résiduels (kg)
Janvier	209,85	0,00
Février	203,98	0,00
Mars	255,32	0,00
Avril	374,19	0,00
Mai	5 026,24	0,00
Juin	10 427,79	0,00
Juillet	6 199,44	0,00
Août	7 395,55	0,00
Septembre	13 000,07	0,00
Octobre	8 759,27	0,00
Novembre	5 568,70	0,00
Décembre	1 917,64	0,00
TOTAL ANNUEL	59 338,04	0,00

ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

Paramètres	Unité	2020	2021	2022	Prévisionnel 2022
Bromoformes	kg	38 021	42 555	59 338	65 000
Oxydants résiduels	kg	0	0	0	75 000

Commentaires : Aucun dépassement de prévisionnel n'a eu lieu sur ces paramètres en 2022.

iii. Comparaison aux limites

Les eaux de refroidissement doivent respecter les limites définies dans la décision ASN n°2018-DC-0647.

Substances	Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet
	Concentration maximale ajoutée dans le canal de rejet (mg/l)	Valeur maximale calculée (kg)	Flux 2h (kg)	Valeur maximale calculée (kg)	Flux 24h (kg)	Valeur maximale calculée (kg)	Flux annuel ajouté (kg)	Flux annuel calculé (kg)
Bromoformes	0,05	0,011	85	12,69	950	152,30	230 000	59 338,04
Oxydants résiduels	0,3	0,00	520	0,00	5700	0,00	1 370 000	0,00

Commentaires : Les rejets liés au traitement biocide des circuits de refroidissement respectent les limites fixées dans la décision ASN n° 2018-DC-0646.

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

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

4. Opérations exceptionnelles de rejets d'effluents liquides

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

III. Rejets thermiques

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

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

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

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

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

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

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

1. En conditions climatiques normales

Les rejets thermiques issus du circuit de refroidissement du CNPE de Gravelines et des différents circuits secondaires nécessaires à son fonctionnement doivent respecter les limites fixées dans la décision ASN n°2018-DC-0646.

Le CNPE de Gravelines réalise en continu des mesures de températures en amont (thermographe T10), au rejet (thermographe T11) et en aval du CNPE (thermographe T7) et un suivi des rejets thermiques conformément aux autorisations de rejet en vigueur. Le bilan des valeurs mensuelles de ces différents paramètres pour l'année 2022 sont présentés dans les tableaux suivants :

	Température mesurée à la prise d'eau (°C) (T10)	Température mesurée au rejet (°C) (T11)	Echauffement au rejet (°C) (T11-T10)	Température eau de mer (°C) (T7)
Janvier	8,58	18,73	9,77	non requis
Février	8,01	17,88	9,67	non requis
Mars	10,52	16,71	6,18	non requis
Avril	11,25	19,67	8,42	non requis
Mai	15,53	25,24	9,72	non requis
Juin	18,73	28,49	9,98	18,00
Juillet	21,45	29,55	8,11	20,62
Août	22,57	29,54	6,98	22,31
Septembre	20,23	28,50	8,47	19,87
Octobre	18,40	26,10	7,71	17,48
Novembre	15,18	22,72	7,53	non requis
Décembre	12,01	18,04	6,02	non requis

2. Comparaison aux limites

Les rejets thermiques doivent respecter les limites fixées dans la prescription [EDF- GRA-62] de la décision ASN n°2018-DC-0646.

Paramètre	Unité	Limite en vigueur	Valeur maximale
Echauffement amont-aval calculé	°C	12	12,7
Température de l'eau de mer à l'extrémité du canal de rejet	°C	30°C de novembre à mai	27,42
		35°C de juin à octobre	31,96
Température de l'eau de mer après mélange	°C	30	23,42

Commentaires : La limite d'échauffement de 12°C a été dépassée ponctuellement en février 2022. L'évolution de l'échauffement s'explique par une baisse de charge de la tranche 2 (suite à un fortuit). La réduction du volume d'eau appelé dans le canal d'amenée par la mise à l'arrêt de la pompe 2CRF001PO n'a pas permis de compenser la puissance nucléaire restant à évacuer suite à la baisse de charge de la tranche 2.

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

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

Partie V - Surveillance de l'environnement

I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement

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

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

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

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

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

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

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

Ainsi, le CNPE réalise annuellement, sous le contrôle de l'ASN, environ 20 000 analyses dont les résultats sont transmis à l'administration et publiés par EDF sur le site internet du CNPE <https://www.edf.fr/la-centrale-nucleaire-de-gravelines/l-exploitation-de-la-centrale-nucleaire-de-gravelines>. Les résultats des mesures de radioactivité réalisées dans le cadre de la surveillance réglementaire de l'environnement sont également accessibles en ligne gratuitement sur le site internet du Réseau National de Mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM - <http://www.mesure-radioactivite.fr>).

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

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

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

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

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

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

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

1. Surveillance de la radioactivité ambiante

Le système de surveillance de la radioactivité ambiante s'articule autour de 4 réseaux de balises 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.

Implantation des balises du réseau « clôture »

Repère	Situation
0 KRS 801 MA	Près de la station AS1
0 KRS 802 MA	Clôture (hélicoptère)
0 KRS 803 MA	Clôture (entre hélicoptère et station AS3)
0 KRS 804 MA	Station AS3
0 KRS 805 MA	Bâtiment de formation GRAF
0 KRS 806 MA	Clôture (station météo)
0 KRS 807 MA	Clôture (près de la station AS2)
0 KRS 808 MA	Porte Sud (face station pompage Ferme)
0 KRS 809 MA	Clôture (face à la ferme aquacole)
0 KRS 810 MA	Restaurant d'entreprise

Implantation des balises du « réseau 1 km »

Repère	Situation
0 KRS 921 MA	Nord-est du site
0 KRS 922 MA	Sud-Ouest du site
0 KRS 923 MA	Sud-Est du site
0 KRS 924 MA	Sud-Sud-ouest du site

Implantation des balises du réseau « 5 km »

Repère	Situation
0 KRS 911 MA	Oye-plage
0 KRS 912 MA	Gravelines
0 KRS 913 MA	Loon-Plage

Implantation des balises du réseau « 10 km »

Repère	Situation
0 KRS 931 MA	Fort Mardyck
0 KRS 932 MA	Grande-Synthe
0 KRS 933 MA	Craywick
0 KRS 934 MA	Coppenaxfort
0 KRS 935 MA	Bourbourg
0 KRS 936 MA	Poste de Warande
0 KRS 937 MA	Saint-Folquin
0 KRS 938 MA	Vieille Église
0 KRS 939 MA	Courgain d'Offekerque
0 KRS 940 MA	Oye-Plage

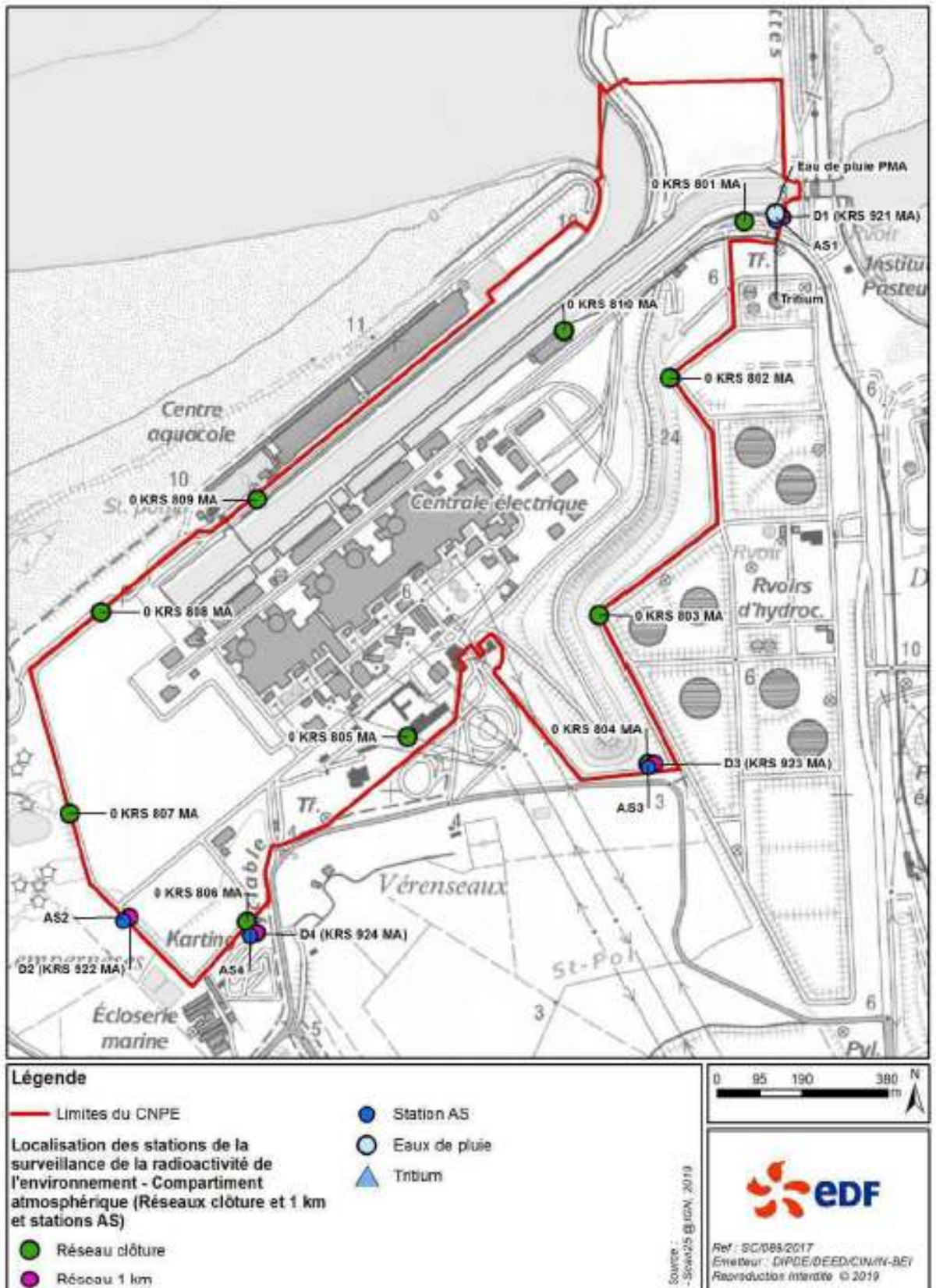


Figure 3 : Implantation des stations de surveillance des réseaux « clôture » et « 1 km »

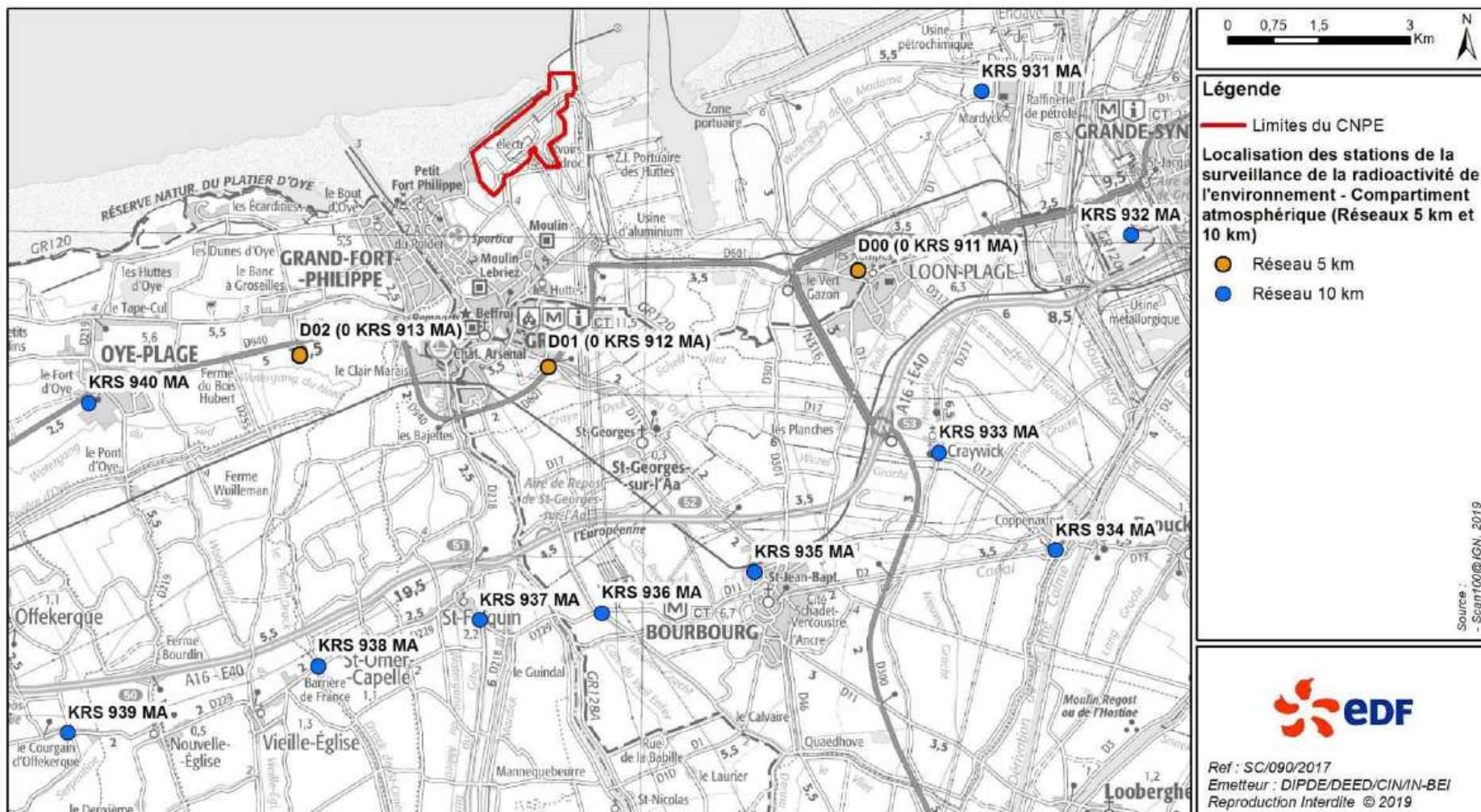


Figure 4 : Implantation des stations de surveillance des réseaux « 5 km » et « 10 km »

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

Réseau de mesure	Débit de dose max année 2022 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2022 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2021 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2020 (nSv/h)
Clôture	129,6	84,3	87,1	87,05
1 km	128,4	84,4	83,8	84,5
5 km	163,2	105,3	104,8	105,3
10 km	120,0	95,4	95,5	95,7

Commentaires : Pour les quatre réseaux, les débits de dose moyens enregistrés pour l'année 2022 sont de l'ordre de grandeur du bruit de fond et cohérentes avec les résultats des années antérieures.

2. Surveillance du compartiment atmosphérique

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

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

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

Les résultats des mesures réalisées sur le compartiment atmosphérique pour l'année 2022 sont donnés dans les tableaux suivants.

Compartiment	Station	Paramètres	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée	Limite réglementaire (pour chaque analyse)
Poussières atmosphériques	AS1	Bêta global (Bq/m ³)	4,40E-04	2,17E-03	0,01 Bq/m ³
	AS2	Bêta global (Bq/m ³)	4,13E-04	1,93E-03	0,01 Bq/m ³
	AS3	Bêta global (Bq/m ³)	4,26E-04	1,95E-03	0,01 Bq/m ³
	AS4	Bêta global (Bq/m ³)	4,30E-04	1,96E-03	0,01 Bq/m ³

Compartiment	Station	Paramètres	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée	Limite réglementaire (pour chaque analyse)
Tritium atmosphérique	AS1	Tritium (Bq/m ³)	< 1,45E-01	2,20E-01	50 Bq/m ³

Compartiment	Station	Paramètres	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée	Limite réglementaire (pour chaque analyse)
Eau de pluie	AS1	Bêta global (Bq/L)	< 1,19E-01	2,37E-01	-
	AS1	Tritium (Bq/L)	< 4,35E+00	5,19E+00	-
	AS1	Potassium (mg/L)	< 6,04E-01	1,90E+00	-

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

3. Surveillance du milieu terrestre

Les résultats des mesures réalisées sur le compartiment terrestre pour l'année 2022 sont donnés dans le tableau suivant. Concernant les résultats des analyses par spectrométrie gamma, seules les activités relatives aux radionucléides d'origine artificielle et supérieures aux seuils de décision sont présentées.

Nature du prélèvement	Radionucléide	Périodicité	Moyenne annuelle	Valeur minimale mesurée	Valeur maximale mesurée
Végétaux terrestres 1 (Bq/kg sec)	Spectrométrie gamma	Mensuelle	¹³⁷ Cs	3,83E-01	5,00E-01
			⁴⁰ K	4,40E+02	7,00E+02
Végétaux terrestres 2 (Bq/kg sec)	Spectrométrie gamma	Mensuelle	¹³⁷ Cs	4,00E-01	5,00E-01
			⁴⁰ K	6,88E+02	1,18E+03
Lait (Bq/L)	Spectrométrie gamma	Mensuelle	¹³⁷ Cs	4,17E-01	5,00E-01
			⁴⁰ K	4,62E+01	5,50E+01

Commentaires : Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment terrestre ainsi que leur interprétation pour l'année 2021 sont présentés dans le rapport du suivi radioécologique annuel, présenté en **annexe 2**.

4. Surveillance des eaux de surface

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

Milieu analysé	Paramètre analysé		Périodicité	Moyenne annuelle	Valeur minimale mesurée	Valeur maximale mesurée
Eaux du large 1 (sous influence des rejets)	Eau filtrée	Activité bêta globale (Bq/L)	bi-mensuelle	12,59	10,40	16,20
		Tritium (Bq/L)	bi-mensuelle	7,08	3,93	12,60
		Potassium (mg/L)	bi-mensuelle	419,17	400,00	450,00
	Matières en suspension	Activité bêta globale (Bq/L)	bi-mensuelle	2,91E-02	1,18E-02	6,26E-02
Eaux du large 2 (hors influence des rejets)	Eau filtrée	Activité bêta globale (Bq/L)	mensuelle	12,80	11,40	15,10
		Tritium (Bq/L)	mensuelle	5,82	4,13	8,90
		Potassium (mg/L)	mensuelle	422,08	400,00	440,00
	Matières en suspension	Activité bêta globale (Bq/L)	mensuelle	2,57E-02	8,10E-03	6,08E-02

Commentaires : Ces résultats sont cohérents avec ceux des années précédentes et ne mettent pas en évidence d'évolutions significatives de la qualité des eaux de surface.

5. Surveillance du milieu aquatique

Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment aquatique ainsi que leur interprétation pour l'année 2021 sont présentés dans le rapport du suivi radioécologique annuel, présenté en **annexe 2**.

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.

Milieus analysés	Paramètres	Valeur maximale de l'année
0 SEZ 001 PZ	Potassium (mg/L)	46,2
	β global (Bq/L)	1,9
	Tritium (Bq/L)	15,1
0 SEZ 002 PZ	Potassium (mg/L)	42,6
	β global (Bq/L)	1,3
	Tritium (Bq/L)	< 3,4
0 SEZ 003 PZ	Potassium (mg/L)	54,8
	β global (Bq/L)	1,9
	Tritium (Bq/L)	< 3,4
0 SEZ 004 PZ	Potassium (mg/L)	19,1
	β global (Bq/L)	0,8
	Tritium (Bq/L)	26,3

Milieux analysés	Paramètres	Valeur maximale de l'année
0 SEZ 005 PZ	Potassium (mg/L)	654,0
	β global (Bq/L)	24,2
	Tritium (Bq/L)	98,4
0 SEZ 015 PZ	Potassium (mg/L)	95,8
	β global (Bq/L)	3,4
	Tritium (Bq/L)	8,6
0 SEZ 052 PZ	Potassium (mg/L)	119,0
	β global (Bq/L)	5,0
	Tritium (Bq/L)	27,4
0 SEZ 056 PZ	Potassium (mg/L)	44,2
	β global (Bq/L)	1,5
	Tritium (Bq/L)	21,7

Commentaires : Le prélèvement du piézomètre 0 SEZ 004 PZ n'a pas pu être réalisé en octobre 2022 en raison d'une difficulté d'ouverture du capot du piézomètre.

Outre ces huit piézomètres, le site effectue un suivi sur une trentaine de piézomètres, à l'intérieur et à l'extérieur du site, dans le cadre de l'optimisation piézométrique depuis 2015.

Suite au dépassement de la valeur de 100 Bq/L en tritium sur les piézomètres 0 SEZ 008, 088, 111 et 114 PZ, une surveillance complémentaire a été mise en place sur le CNPE de Gravelines. Cette surveillance complémentaire concerne ces 4 piézomètres ainsi que le 0 SEZ 123 PZ en lien avec le marquage historique du 0 SEZ 088 PZ. Ils sont surveillés à fréquence hebdomadaire pour le tritium. Les résultats de cette surveillance complémentaire sont présentés dans le tableau suivant. Malgré les recherches effectuées, l'origine de ces dépassements n'est pas systématiquement trouvée.

Piézo­mètre	Paramètres	Unité	Valeur maximale mesurée en 2022
0 SEZ 008 PZ	tritium	Bq/L	236,0 (moyenne : 54,7 Bq/L) Une augmentation tritium est apparue en décembre 2022. Des fluctuations inexplicables sur des courtes périodes sont visibles depuis plusieurs années sur ce piézomètre.
0 SEZ 088 PZ	tritium	Bq/L	347,0 (moyenne : 129,1 Bq/L) Ce piézomètre a été fortement marqué en tritium probablement suite à une fuite d'effluents radioactifs en 2014. La valeur maximale de 2 000 Bq/L a été atteinte en juin 2015 ; elle est redescendue très progressivement, et depuis août 2022 la valeur en tritium est inférieure à 100 Bq/L.
0 SEZ 111 PZ	tritium	Bq/L	361,0 (moyenne : 60,7 Bq/L) Une augmentation en tritium est visible à partir de juin 2022. Les valeurs sont redescendues à des niveaux habituels au dernier trimestre 2022. Des fluctuations dont l'origine n'a pu être déterminée sont visibles depuis plusieurs années sur ce piézomètre.

Piézomètre	Paramètres	Unité	Valeur maximale mesurée en 2022
0 SEZ 114 PZ	tritium	Bq/L	127,0 (moyenne : 13.8 Bq/L) Une augmentation en tritium est visible en juillet 2022. Les valeurs sont fortement redescendues en août 2022. L'origine n'a pu être déterminée.
0 SEZ 123 PZ	tritium	Bq/L	35,1 (moyenne : 11,3 Bq/L) Le 123 PZ est suivi dans le cadre de la surveillance complémentaire liée au 088 PZ.

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 huit piézomètres du CNPE.

Piézomètre	Mois de mesure	pH	Hydrocarbures (mg/L)	NTK (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Métaux totaux (mg/L)	Sulfates (mg/L)
0 SEZ 001 PZ	janvier	11,4	<0,1	0,87	8,36	5,42	0,69	0,023	200
	juillet	11,4	<0,1	2,53	<2,70	3,87	2,63	0,0174	114
0 SEZ 002 PZ	janvier	8	<0,1	<0,5	<0,27	<0,03	<0,50	0,25	
0 SEZ 003 PZ	janvier	7,5	<0,1	0,97	4,49	<0,03	0,65	0,617	
0 SEZ 004 PZ	mars	11	<0,1	<0,50	11,3	<0,30	<0,50	0,018	
	septembre	10,5	<0,1	<0,50	6,99	0,77	<0,50	0,02	
0 SEZ 005 PZ	février	>12,0	<0,1	18,5	3,64	<0,03	21,5	0,026	
	août	>12,0	0,2	15,6	<2,7	<0,30	17,7	0,02	
0 SEZ 015 PZ	juin	11	<0,1	3,97	<0,27	<0,03	3,78	0,04	
	décembre	10,9	<0,1	1,54	4,63	0,57	1,86	0,05	
0 SEZ 052 PZ	avril	>12,0	<0,1	4,79	<0,27	<0,03	4,03	0,1	48,1
	octobre	>12,0	<0,1	4,49	<2,7	<0,30	5,76	0,12	55,7
0 SEZ 056 PZ	mai	10,9	<0,1	1,83	<2,70	<0,30	2,08	0,09	
	novembre	10,4	<0,1	2,07	<0,27	1,15	2,38	0,07	

Commentaires : Le piézomètre 0 SEZ 005 PZ fait l'objet d'une surveillance renforcée sur les hydrocarbures depuis 2019. La présence d'hydrocarbures a diminué depuis le second semestre 2020 pour revenir à des valeurs normales. Néanmoins la surveillance renforcée a été maintenue en 2022.

Pour les autres paramètres, les résultats sont cohérents avec ceux des années précédentes et ne mettent pas en évidence d'évolutions significatives de physico-chimie des eaux souterraines.

III. Chimie et physico-chimie des eaux de surface

1. Physico-chimie des eaux de surface

Le CNPE fait réaliser par le laboratoire Flandres-Analyses, dans le canal d'aménée, le canal de rejet et le point de référence hors influence des rejets du CNPE, des mesures de certains paramètres physico-chimiques naturellement présents en milieu marin. Les résultats présentés dans le rapport annuel de l'IFREMER, aboutissent aux conclusions suivantes :

« Lors de ce cycle de surveillance, la température de l'eau au canal de prise était dans l'ensemble conforme aux normales saisonnières depuis 1986, avec un pic de température (22,2°C) observé le 16 août 2022. L'année 2022 reste globalement au-dessus de la médiane annuelle de la série (+ 1,1°C) et confirme l'augmentation des températures observées depuis 2014. A titre indicatif, la valeur maximale mesurée au point Rejet pour la période novembre-mai 2022 était de 26,6°C (mi-mai), et de 29,7°C (mi-août) pour la période juin-octobre 2022. Le transit de l'eau dans la centrale s'est traduit par un échauffement moyen sur l'année de $6,9 \pm 2,1^\circ\text{C}$ sur base des mesures en surface hebdomadaires réalisées par Flandre Analyses, avec une valeur maximale de 10,5°C observée en mai pour l'année 2022. [...]

Les températures mesurées au point Référence n'ont pas indiqué un réchauffement des eaux par rapport au point Prise, et les profils de salinité ne montrent pas de stratification significative de la colonne d'eau, comme parfois au point Contrôle, indiquant que l'étendue du panache de rejet du CNPE reste toujours géographiquement limitée. De même, la turbidité de l'eau en surface est habituellement plus faible aux points Prise et Référence et plus importante aux points Rejet et Contrôle. Toutefois, ce schéma a été perturbé lors de la campagne de septembre qui a vu le retour de la pluie et des précipitations excédentaires à partir du 06 septembre, avec une remise en suspension des sédiments dans l'eau. Le suivi mensuel de ce paramètre a montré que la turbidité était plus importante en période hivernale par rapport au printemps où la turbidité était plus faible. En 2022, les concentrations en oxygène dissous sont restées conformes aux données historiques, hormis pour juin et les quatre derniers mois de l'année où les valeurs étaient assez faibles (< 9 mg.l-1) comme observé lors des deux campagnes pélagiques.

Le suivi hebdomadaire des paramètres hydrologiques réalisés en 2022 permet de mesurer l'influence du CNPE sur le réchauffement de l'eau à l'embouchure du canal de rejet qui est resté en dessous des limites autorisées par l'ASN. Les campagnes pélagiques montrent que le réchauffement des eaux s'estompe rapidement vers le large (point Référence).

Les rejets du CNPE n'affectent pas de façon générale la distribution et les variations saisonnières des paramètres étudiés autres que la température. Les campagnes pélagiques ont permis de mettre en évidence que ce réchauffement de l'eau reste géographiquement limité aux abords du point Rejet. Les résultats de la surveillance des paramètres hydrologiques, physico-chimiques et chimiques pour l'année 2022 mettent en évidence une variabilité spatio-temporelle cohérente avec celle du milieu naturel, qui ne peut donc pas être imputable à l'influence du fonctionnement du CNPE.

De plus, malgré des températures exceptionnellement élevées et un déficit pluviométrique important en 2022 (notamment durant l'été), aucun effet perceptible spécifique n'a été dénoté sur le compartiment hydrologique. »

2. Chimie des eaux de surface

Certaines substances chimiques issues du fonctionnement du CNPE sont recherchées (notamment les haloformes) au niveau de la station de contrôle, le canal d'amenée et le canal de rejet. Les résultats présentés dans le rapport annuel de l'IFREMER aboutissent aux conclusions suivantes :

« Le cycle saisonnier des composés azotés inorganiques dissous (DIN = ammonium, nitrites et nitrates) était conforme à ce que l'on observe habituellement en milieu côtier tempéré : reconstitution des stocks en périodes automnale et hivernale, et épuisement rapide des nutriments lors des poussées phytoplanctoniques printanières. En début d'année 2022, le renouvellement des stocks d'azotes inorganiques a été globalement dans la moyenne des observations historiques (avec tout de même des concentrations en nitrate inférieures aux 1er quartiles de janvier et février). Dès le démarrage de la poussée phytoplanctonique en mars, les concentrations de DIN ont rapidement baissé. La régénération de l'ammonium et des nitrates s'est amorcée dès la fin du bloom printanier, puis en fin d'été - début d'automne, soutenue par de fortes pluies. L'évolution saisonnière des concentrations en azote inorganique dissous aux canaux de prise et de rejet étaient globalement conformes aux données historiques, avec des concentrations légèrement excédentaires dans le canal de rejet par rapport au canal de prise pour l'ammonium ($+0,86 \pm 4,16 \mu\text{mol.l}^{-1}$) et pour les nitrates ($+0,85 \pm 8,13 \mu\text{mol.l}^{-1}$). Les concentrations en phosphate et silicate présentaient un cycle saisonnier, avec des concentrations qui ont diminué pendant la période de production phytoplanctonique (mars-mai). Les concentrations en phosphate et silicate étaient globalement similaires dans les canaux de prise et de rejet, avec des concentrations légèrement excédentaires dans le canal de rejet par rapport au canal de prise (respectivement $+0,16 \pm 0,15 \mu\text{mol.l}^{-1}$ et $+0,80 \pm 1,31 \mu\text{mol.l}^{-1}$).

Le procédé d'électrochloration du circuit de refroidissement permettant de lutter contre le développement de salissures biologiques a été mis en service durant 9 mois au cours de l'année 2022 (entre le 12/02/2022 et le 22/03/2022 alors que la température de l'eau au canal de prise était inférieure à 10°C, puis du 20/04/2022 au 31/12/2022). Le bromoforme est le principal produit dérivé des opérations d'électrochloration. Les concentrations mesurées au point Rejet n'ont été détectées qu'en période de chloration et sont restées inférieures à 50 $\mu\text{g.l}^{-1}$. Le dosage du bromoforme, outre son rôle de traceur de la chloration, permet d'estimer le taux de recirculation de l'eau de refroidissement entre les canaux de rejet et de prise, qui était de 6,6 % cette année. Les composés organohalogénés issus des opérations de chloration (bromophénols) représentaient en moyenne moins de 1 $\mu\text{g.l}^{-1}$, ce qui est largement en dessous de la limite autorisée (300 $\mu\text{g.l}^{-1}$). »

3. Surveillance biologique des eaux de surface

Une surveillance biologique des eaux de surface est réalisée chaque année sur la période du 1er juin au 30 septembre sur les eaux du canal d'amenée et du canal de rejet.

La décision ASN n°2018-DC-0647 demande le suivi des paramètres suivants : Escherichia Coli et entérocoques intestinaux. En complément, la campagne estivale intègre également les paramètres suivants : nitrites, nitrates, phosphates, ammonium, oxygène dissous, température, pH et salinité.

Les résultats relatifs à la campagne 2022 sont donnés **en annexe 3**.

IV. Surveillance écologique et halieutique

Chaque année, le CNPE confie la réalisation de la surveillance écologique et halieutique à l'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. Au contraire, les surveillances en conditions climatiques exceptionnelles et situations exceptionnelles ont plutôt pour objectif d'étudier la réponse à court terme de l'écosystème sous conditions de débits contraints et températures ambiantes élevées, le CNPE étant en fonctionnement.

1. Surveillance pérenne

La synthèse du rapport de surveillance, réalisée par l'IFREMER, est présentée ci-dessous. Le rapport complet est disponible sur demande auprès du CNPE de Gravelines.

Stratégie d'échantillonnage

La stratégie de surveillance doit permettre de suivre l'évolution naturelle du milieu marin et déceler une évolution anormale qui proviendrait du fonctionnement de la centrale. La surveillance écologique du milieu marin concerne les domaines pélagique, halieutique et benthique, et le suivi des substances chimiques dans l'environnement concerne le domaine pélagique (Figure 0-1). Le programme de surveillance actuel est fixé par la Décision n°2018-DC-0647 de l'Autorité de Sûreté Nucléaire du 16 octobre 2018. Certains paramètres font également l'objet de mesures complémentaires.

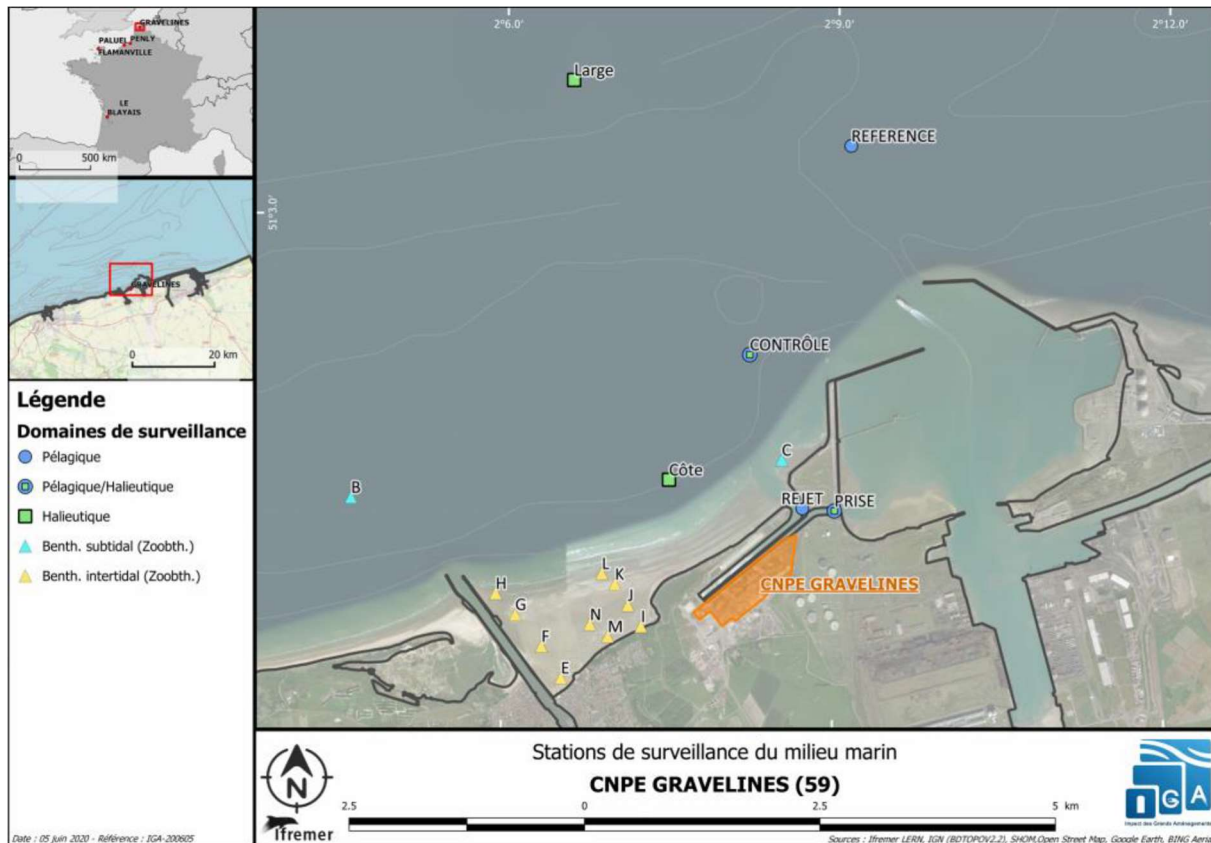


Figure 0-1 : Localisation des points suivis de la surveillance écologique du milieu marin autour du CNPE de Gravelines

Pour le **domaine pélagique**, la surveillance s'effectue depuis les berges aux canaux de prise d'eau et de rejet du CNPE, et au niveau de deux stations en mer, l'une dite de référence en dehors de la zone d'influence du rejet et l'autre dite de contrôle, où l'échauffement résiduel dû au panache de rejet est de l'ordre de 3 à 4°C. Deux campagnes annuelles de prélèvements sont effectuées, l'une au printemps/début d'été et l'autre en fin d'été (Tableau 0-1). Cette année, ces campagnes ont eu lieu les 28 juin et 08 septembre 2022. En complément, certains paramètres sont suivis hebdomadairement ou mensuellement aux points Prise et Rejet tout au long de l'année.

Pour le **domaine halieutique**, la surveillance concerne deux espèces ichtyoplanctoniques, les oeufs et larves de sole et de sprat, et une espèce de crustacé, la crevette grise. Le suivi s'effectue habituellement entre avril et mai et comprend deux campagnes en mer selon un gradient côte-large dans le milieu récepteur. Lors de ces campagnes, quatre points sont étudiés :

- le point Prise (situé à l'entrée du canal de prise d'eau de la centrale),
- le point Côte (situé à la côte, face à la plage du Petit-Fort-Philippe),
- le point Contrôle (avec échauffement résiduel de 3 à 4°C dans le panache de rejet),
- le point Large (situé au large, au-delà de la zone d'influence de la centrale).

En complément, deux prélèvements supplémentaires sont habituellement réalisés au point Prise, en alternance avec les campagnes en mer, pour couvrir au mieux la période de reproduction de la sole et du sprat. Il est à noter que ces deux mesures complémentaires ne sont pas exigées par Décision de l'ASN.

En 2022, ces campagnes en mer ont eu lieu les 29 mars et 28 avril 2022, et les prélèvements supplémentaires au point Prise, les 16 mars et 14 avril 2022.

Pour le **domaine benthique**, la macrofaune benthique de la zone intertidale, comprise entre l'estuaire de l'Aa et la route de Dunes (estran Petit-Fort-Philippe), est suivie en juin sur deux radiales de quatre points et une radiale de deux points, couvrant l'ensemble de la zone intertidale. Cette année la sortie a eu lieu le 16 juin 2022.

La macrofaune benthique subtidale est suivie lors de quatre campagnes saisonnières de deux points, l'un situé hors influence (point B), l'autre sous influence (point C) du rejet. Cette année, ces campagnes ont eu lieu les 02 mars, 17 mai, 01 août et 13 octobre 2022.

Tableau 0-1 : Liste des paramètres mesurés et fréquences d'échantillonnage dans le cadre de la surveillance des eaux autour du CNPE de Gravelines (dates des campagnes réalisées en 2022 en rouge)

Domaine	Compartiment	Paramètres	Points	Fréquence Dates campagnes réalisées en 2022
Pélagique	Hydrologie	Température	Prise, Rejet	Hebdomadaire
		Salinité		
	Physico-chimie / Chimie	Chlore résiduel	Prise, Rejet	Hebdomadaire
		Haloformes		
		Azotes (ammonium, nitrates, nitrites)		
		Phosphates	Prise, Rejet	Mensuel
		Silicates		
		Turbidité		
			Oxygène dissous	Rejet
		Bromophénols		
Microbiologie	Vibrions halophiles	Prise, Rejet	Hebdomadaire	
Phytoplancton	Biomasse chlorophyllienne	Prise	Hebdomadaire	
	Variations spatiales et temporelles des espèces microphytoplanctoniques			
Zooplancton	Biomasse sestoniques	Prise	Mensuel	
	Variations spatiales et temporelles des espèces mésozooplanctoniques			
Campagnes pélagiques	Tous	Température, Salinité, Nutriments, Turbidité, Oxygène dissous, Vibrions halophiles, Phytoplancton et Zooplancton	Prise, Rejet, Contrôle, Référence	28/06/2022 08/09/2022
Halieutique	Ichtyoplancton	Variations spatiales et temporelles (soles et sprats)	Prise, Côte, Contrôle, Large	16/03/2022 29/03/2022
	Larves de crustacés	Variations spatiales et temporelles (crevettes grises)		14/04/2022 28/04/2022
Benthique	Benthos intertidal	Sédiment (granulométrie)	Estran Petit-Fort-Philippe	15/06/2022
		Variations spatiales et temporelles de la macrofaune		
	Benthos subtidal	Sédiment (granulométrie)	B (hors influence) C (sous influence)	02/03/2022 17/05/2022
		Variations spatiales et temporelles de la macrofaune		01/08/2022 13/10/2022

Contexte environnemental

Sur le territoire métropolitain, 2022 a été l'année la plus chaude jamais enregistrée depuis le début des relevés en 1900 (très loin devant 2020 qui détenait jusqu'à présent le record), et exceptionnellement sèche, marquée par un déficit pluviométrique record de 25 % (2nd rang des années les moins pluvieuses depuis 1959).

Pour Dunkerque, l'année 2022 se place au 1er rang pour la température moyenne annuelle (13°C) sur la période 1986-2022, et devient la 9ème année consécutive où la température moyenne dépasse la valeur de référence 1981-2010. Cependant, grâce à des mois de septembre, novembre et décembre particulièrement excédentaires en précipitations, la pluviométrie annuelle est proche de la normale 1981-2010, représentant 98 % de la valeur de référence.

Le rayonnement cumulé mesuré en 2022 à la station de Calais-Marck (définie comme station de référence pour le CNPE de Gravelines) présente un excédent de presque 9 % par rapport à la moyenne 2012- 2018. La majorité des mois ont été plus ensoleillés que la normale à l'exception de septembre et décembre.

Sur la côte, l'année 2022 a été moins ventée que la normale (18,7 km/h contre 21,6 km/h), bien que la moyenne annuelle pourrait être sous-estimée en raison de l'absence de 5 valeurs en février, durant les passages des tempêtes « Dudley » (les 16 et 17 février), « Eunice » (le 18 février) et « Franklin » (les 20 et 21 février).

Le domaine pélagique

Le procédé d'électrochloration du circuit de refroidissement permettant de lutter contre le développement de salissures biologiques a été mis en service durant environ 8 mois (du 20/04/2022 au 31/12/2022). Les concentrations en oxydants résiduels et en composés organohalogénés volatils (haloformes, essentiellement le bromoforme) générées par ce procédé sont restées inférieures aux limites autorisées. Les résultats des mesures de concentration en bromoforme dans le canal de prise ont permis d'évaluer que le pourcentage d'eau de refroidissement qui passe une seconde fois dans la centrale était de 6,6 %.

Comme depuis 2014, les températures de l'eau au canal de prise au cours de ce cycle de surveillance étaient globalement au-dessus des normales observées depuis 1986, avec un écart moyen en 2022 d'environ 1,1°C. Néanmoins, aucune température de l'eau supérieure à 30°C de juin à octobre n'a été enregistrée au point Rejet au cours de cette période. De novembre à mai, seules les mesures du 17 et 27 mai, ainsi que celle du 07 novembre, présentaient des températures de l'eau supérieures à 25°C. Cependant, l'échauffement moyen hebdomadaire est toujours resté inférieur à 12 °C.

La température est le facteur principal expliquant la dynamique saisonnière des vibrions et leur multiplication entre les points Prise et Rejet. Le passage de l'eau de mer dans l'ensemble du système constitué par la centrale et les installations aquacoles installées sur le site de Gravelines, entraîne une multiplication du nombre de vibrions d'un facteur toujours plus important au printemps qu'aux autres saisons (de mai à juin, le facteur de multiplication des vibrions entre les points Prise et Rejet est supérieur à 100 en moyenne depuis 1997). En 2022, la moyenne mensuelle maximale a été atteinte en juin avec une valeur multipliée par 299 (ce qui est proche de la médiane mensuelle de juin sur la période 1997-2021). Si l'influence du réchauffement thermique des eaux sur la multiplication des vibrions reste importante dans le panache de rejet du CNPE (point Contrôle), les abondances redeviennent conformes, voire inférieures, à ce que l'on observe au point Prise dès que l'on se situe hors influence de la centrale (point Référence). Ce qui tend à montrer que l'influence liée à la température et à la concomitance des rejets de la ferme aquacole sur l'abondance des vibrions a une étendue assez limitée, et que la faible recirculation de l'eau entre les canaux de rejet et de prise (6,6 %) ne semble pas non plus être à l'origine d'une augmentation des abondances de vibrions dans le canal de prise.

Le cycle saisonnier des composés azotés inorganiques dissous (DIN = ammonium, nitrites et nitrates) était conforme à ce que l'on observe habituellement en milieu côtier tempéré : reconstitution des stocks en périodes automnale et hivernale, et épuisement rapide des nutriments lors des poussées phytoplanctoniques printanières. En début d'année 2022, le renouvellement des stocks d'azotes inorganiques a été globalement dans la moyenne des observations historiques (avec tout de même des concentrations en nitrate inférieures aux 1er quartiles en janvier et février). Dès le démarrage de la poussée phytoplanctonique à la mi-mars, les concentrations de DIN ont rapidement baissé. Cela a tout de même suffi à soutenir la production phytoplanctonique, caractérisée par la prolifération de la prymnésiofycée *Phaeocystis globosa* (accompagnée du groupe *Pseudo-nitzschia complex delicatissima* en concentrations assez élevées en 2022) de mi-mars à mi-mai, dans la moyenne des abondances observées ces dernières années. En 2022, la biomasse phytoplanctonique (estimée par la concentration en chlorophylle a) était encore globalement faible pour la région, avec tout de même un pic supérieur à la moyenne observée sur la période 1989-2021 en début

d'automne (avec une décroissance assez rapide) qui correspond à la période d'observation de la diatomée *Bellerochea horologicalis* pour la première fois sur le site du CNPE de Gravelines. Cette tendance n'est pas isolée à notre zone d'étude et cela s'observe depuis une dizaine d'années dans l'ensemble de la Manche.

Les résultats acquis lors des deux campagnes pélagiques 2022 ont montré que la biomasse chlorophyllienne, ainsi que le pourcentage de chlorophylle active, l'abondance et la diversité phytoplanctonique étaient plus faibles au point Rejet par rapport aux points Prise et Référence situés hors influence de la centrale. La hausse de la température, la chloration et les effets mécaniques lors du transit du phytoplancton dans la centrale, portent atteinte à la structure des cellules phytoplanctoniques (mortalité, rupture des colonies, cassure des appendices), cependant cette influence reste très localisée spatialement (comme l'ont montré les résultats au point Contrôle) et ne peut donc pas avoir de conséquence sur la dynamique des communautés phytoplanctoniques à l'échelle du fonctionnement de l'écosystème. La diversité et les abondances observées aux points Rejet, Contrôle et Référence sont restées conformes à l'existence d'un gradient croissant de la côte vers le large, ce qui reflète à la fois l'influence du transit dans le CNPE sur le phytoplancton et l'hétérogénéité de la distribution spatiale du phytoplancton dans l'eau. A noter cette année, en juin, des abondances en dinoflagellés plus élevées (ou a minima équivalentes) au point Rejet qu'au point Contrôle.

La comparaison avec le suivi DCE a montré que la dynamique saisonnière des abondances phytoplanctoniques au point Prise était tout à fait semblable à ce que l'on observe habituellement dans la région. Quant aux divergences constatées pour certains paramètres physico-chimiques, elles s'expliquent logiquement par la localisation de ces points, portuaire pour le point Prise, et dans la masse d'eau au large de Dunkerque pour le point DCE. Le même constat s'opère quand on compare l'abondance et la composition des espèces zooplanctoniques entre les points Prise et Référence. La situation géographique particulière du point Prise (Avant-Port Ouest de Dunkerque, avec un phénomène de rétention des eaux plus important) et du point Contrôle (situé dans le panache de rejet, zone de front thermique) par rapport au point Référence (situé plus au large), explique les différences d'abondances que l'on peut observer entre ces trois points lors des campagnes pélagiques, sans que cela soit en lien avec les activités du CNPE. Lors de la campagne pélagique de juin, les fortes concentrations de noctiluques sur le point Prise sont à relier avec les conditions hydroclimatiques, températures en hausses, absence ou vents faibles (faible brassage vertical) et la concentration par les courants de surface dans les zones frontales (Contrôle) et les secteurs confinés (Prise). La structure des communautés planctoniques ne présentait donc pas de caractéristiques pouvant mettre en cause l'activité du CNPE de Gravelines.

Les résultats de la surveillance du compartiment pélagique (hydrologie, physico-chimie, chimie, microbiologie, phytoplancton et zooplancton) opérée à Gravelines en 2022, ne présentent pas de caractéristiques ou de modifications majeures pouvant être reliées à l'activité du CNPE. De plus, malgré des températures exceptionnellement élevées et un déficit pluviométrique important en 2022 (notamment durant l'été), aucun effet perceptible spécifique n'a été dénoté sur le compartiment pélagique.

Le domaine benthique

Les sédiments de l'estran du Petit-Fort-Philippe restent toujours majoritairement constitués de sables fins et moyens. Aucune évolution majeure de la morphologie de l'estran

pouvant être liée aux activités du CNPE n'a été constatée. La répartition de la biomasse sur l'estran était conforme à ce qui peut être observé sur d'autres estrans à énergie modérée de la région, non soumis aux activités du CNPE. En 2022, la biomasse moyenne du macrozoobenthos était la 4ème plus importante enregistrée depuis 2000 (environ 2 fois supérieure à la moyenne du suivi), ce qui n'est plus dans la continuité de ce qui était observé depuis la fin des années 2010. Les analyses ont permis de distinguer des assemblages faunistiques caractéristiques qui correspondent à la zonation naturelle de l'estran. Cette zonation est principalement fonction des temps d'exondation, de l'influence des eaux douces (fleuve Aa et eaux de ruissellement), du substrat et de la compétition interspécifique. Les autres facteurs qui pourraient modifier cette zonation (enrichissement en matière organique, perturbation thermique liée au panache de rejet du CNPE, ...) ne l'ont pas modifié en 2022.

*En ce qui concerne le benthos subtidal, les sédiments au point B (hors influence de la centrale) sont composés majoritairement de sables fins à *Abra alba*, alors que ceux du point C (sous l'influence du panache de rejet du CNPE) sont composés essentiellement de sables moyens à fins. Le lessivage des fines du sédiment par les eaux rejetées par la centrale, parfaitement matérialisé par les analyses granulométriques, provoque la disparition des espèces vasicoles. Toutefois, comme pour la période hivernale de 2021, ce lessivage n'a pas eu cet effet aux périodes printanière et automnale puisque les sédiments fins étaient dominants (i.e. pélites et sables fins dominants), et un cortège spécifique habituellement rencontré au point B avec des espèces à affinité sablo-vaseuse, était présent. Contrairement à ce qui est observé habituellement chaque année sur le point C (à l'exception de l'hiver 2021), les peuplements benthiques subtidaux établis à ce point ne sont pas restés du type sabulicole, avec un recrutement exceptionnel de couteaux américains *Ensis leei*6 (14 fois plus important qu'au point B) et de *Lanice conchilega* (12 fois plus important qu'au point B).*

Malgré ces modifications, la qualité écologique du milieu au point C apparaît comme bonne avec une valeur moyenne d'indice biotique proche de celle du point B. En 2022, elle était similaire aux années antérieures évoquant un état écologique stable du milieu.

*Les résultats enregistrés en 2022 au point C restent donc difficiles à interpréter du fait de l'installation d'espèces à affinité sablo-vaseuse et des importants recrutements observés pour les couteaux américains et les lanices. En effet, depuis le début du suivi, le maintien d'un peuplement à *Nephtys cirrosa* permettait de confirmer à la fois l'influence de la centrale sur les communautés benthiques du champ proche de l'embouchure du canal de rejet, mais aussi la stabilité de cette influence au cours du temps. En 2022, il n'en est rien.*

Au vu des données disponibles pour le compartiment benthique en 2022 à Gravelines, il n'apparaît pas d'effet perceptible du fonctionnement du CNPE sur la morphologie de l'estran ainsi que sur les assemblages faunistiques associés. Cependant, il apparaît essentiel de poursuivre le suivi dans les prochaines années afin de voir si le changement de peuplement au point C reste exceptionnel ou s'il s'agit du début d'un changement à plus long-terme.

De plus, malgré des températures exceptionnellement élevées et un déficit pluviométrique important en 2022 (notamment durant l'été), aucun effet perceptible spécifique n'a été dénoté sur le compartiment benthique.

Le domaine halieutique

En 2022, les abondances d'oeufs et de larves de sole et de sprat étaient particulièrement faibles comparativement aux années précédentes. Une analyse rapide de toutes les espèces d'oeufs et de larves de poissons présentes dans les échantillons montre des quantités non négligeables d'autres espèces d'oeufs (motelles, limande, flet, sardine, anchois...) et de larves (hareng, flet) qui pourraient être prises en compte pour avoir une vision plus complète de la diversité ichtyoplanctonique présente sur le site de Gravelines. Pour la crevette grise, les abondances en 2022 étaient également inférieures de manière globale à celles observées durant les années précédentes.

Lors des deux campagnes en mer en 2022, les valeurs d'abondance de la sole, du sprat et de la crevette grise enregistrées aux différents points étaient globalement assez faibles au regard des abondances mesurées les années précédentes. Toutefois, l'influence éventuelle des rejets du CNPE de Gravelines sur ces populations reste difficile à évaluer. D'une part, l'échantillonnage tel qu'il est réalisé actuellement ne permet pas de couvrir entièrement la période de reproduction des trois espèces. Un échantillonnage deux fois par an pour les points Côte, Contrôle et Large reste très insuffisant et conduit à une variabilité élevée chaque année, ce qui rend difficile l'interprétation de l'évolution à long terme. Un échantillonnage plus fréquent et couvrant une plus grande partie de la saison permettrait de mieux suivre la dynamique des oeufs et larves de sole et de sprat, et de couvrir entièrement la période larvaire de la crevette grise. D'autre part, les abondances des phases planctoniques observées dans le milieu sont également déterminées par des interactions complexes entre les fluctuations naturelles de l'environnement (température, production primaire, communautés phytoplanctoniques et zooplanctoniques, ...) et les niveaux d'abondances et de qualité des géniteurs.

Au cours de l'année 2022, l'étude du compartiment de l'ichtyoplancton halieutique ne permet pas de conclure à l'existence d'un effet de l'activité du CNPE sur la communauté des soles, sprats et crevettes grises capturés pendant les campagnes expérimentales.

De plus, malgré des températures exceptionnellement élevées et un déficit pluviométrique important en 2022 (notamment durant l'été), aucun effet perceptible spécifique n'a été dénoté sur le compartiment halieutique.

Le suivi des paramètres physico-chimiques, microbiologiques et planctoniques aux points Prise et Référence ne montrent pas une évolution anormale du milieu marin qui serait imputable au fonctionnement du CNPE de Gravelines. Cette année, même si l'installation d'espèces à affinité sablo-vaseuse et les importants recrutements observés pour les couteaux américains et les lanices au point C ne permettent pas de confirmer l'influence courantologique du CNPE sur la communauté benthique subtidale, la qualité écologique du milieu apparaît comme bonne (similaire à celle du point B) et stable au regard des années antérieures.

En conclusion, la variabilité spatiale et temporelle des paramètres pélagiques, benthiques et halieutiques, suivis dans le cadre de la surveillance réglementaire du CNPE de Gravelines en 2022, ne montrent pas d'évolution ou de comportement atypique pouvant être mis en relation directe soit avec le fonctionnement du CNPE, soit avec le

contexte hydroclimatique exceptionnellement chaud et sec qui a caractérisé cette année.

V. Levées topographiques et bathymétriques

La décision ASN n°2018-DC-0647 prescrit une surveillance bathymétrique annuelle de la plage de Gravelines, afin de contrôler l'impact éventuel du rejet des eaux de refroidissement du CNPE sur le littoral.

A cet effet, deux zones ont été définies :

- une « petite zone » délimitée par la jetée « des Huttes » jusqu'à 2 km à l'ouest de l'émissaire de rejet du CNPE. Cette zone fait l'objet d'un contrôle annuel.
- une « grande zone » délimitée entre la jetée « des Huttes » à l'est, et la jetée « Est de Gravelines (embouchure de l'AA) » à l'ouest, et, étendue jusqu'à l'alignement des points de ces jetées. Elle fait l'objet d'un contrôle triennal.

Les contrôles de la « petite zone » ont été réalisés en septembre 2022. La « grande zone » avait été contrôlée en 2020 et n'a donc pas fait l'objet d'une nouvelle bathymétrie en 2022.

La bathymétrie de septembre 2022 montre un retour à l'érosion sur la zone de référence avec une moyenne de - 6 cm sur l'ensemble de la zone par rapport à la bathymétrie de 2021. Elle est donc faiblement significative par rapport à l'incertitude de mesure. Depuis 1996, la hauteur cumulée des dépôts est de + 50 cm en moyenne. La répartition des zones d'érosions et de dépôts sur l'ensemble de la zone s'alternent de façon naturelle jusqu'à la zone de rejet où un talus, déjà observé les années précédente et surplombant le canal de rejet, présente une forte déclivité.

La bathymétrie 2022 ainsi que les plans différentiels de de la « petite zone » entre 2021 et 2022 sont donnés en **annexe 4**.

VI. 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 Gravelines réalise des informations, par le biais de son site internet, de son compte Twitter, mais aussi en s'adressant directement aux mairies dans un rayon de 2 km, lors de la réalisation d'opérations pouvant générer du bruit, comme par exemple lors de la réalisation de certains essais périodiques sur l'installation.

Le site internet permet de retrouver toute l'actualité du CNPE de Gravelines : <https://www.edf.fr/centrale-nucleaire-gravelines>

Le compte Twitter permet également de retrouver toute l'actualité du CNPE de Gravelines : <https://twitter.com/EDFGravelines>

Pour toute information complémentaire, il est possible d'envoyer un email à l'adresse suivante : communication-gravelines@edf.fr

Partie VI - 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 Gravelines dans le cadre du programme de surveillance réglementaire et du suivi radioécologique du CNPE (cf. Partie VI Surveillance de l'environnement, I- Surveillance de la radioactivité dans l'environnement).

Les résultats de cette surveillance et des mesures associées montrent que la radioactivité mesurée dans l'environnement du CNPE est principalement d'origine naturelle. Les niveaux de radioactivité artificielle mesurés dans l'environnement du CNPE sont faibles et trouvent pour partie leur origine dans d'autres sources (rejets de l'usine ORANO La Hague, retombées atmosphériques des essais nucléaires, ...). L'analyse détaillée des résultats est présentée dans le rapport du suivi radioécologique annuel réalisé par l'IRSN, présenté en **annexe 2**.

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

https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/environnement/IRSN-ENV_Bilan-Radiologique-France-2018-2020.pdf

À partir des activités annuelles rejetées par radionucléide, une dose efficace³ est calculée en tenant compte des mécanismes de transfert de l'environnement jusqu'à l'homme. Cette dose permet de « mesurer » le niveau d'exposition attribuable aux rejets d'effluents radioactifs liquides et atmosphériques d'une installation et de le positionner par rapport à la limite réglementaire pour l'exposition de la population aux rayonnements ionisants conformément à l'article R1333-11 du Code de la Santé Publique.

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

Les principales hypothèses retenues sont les suivantes :

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

³ La dose efficace est la somme des doses absorbées par tous les tissus, pondérée d'un facteur radiologique WR (WR = Radiation Weighting factor, facteur de pondération du rayonnement) pour tenir compte de la qualité du rayonnement (α , β , γ ...) et d'un facteur de pondération tissulaire WT (WT = Tissue Weighting factor) correspondant à la radiosensibilité relative du tissu exposé. La dose efficace a pour objectif d'apprécier le risque total et s'exprime en sievert (Sv). Elle est appelée communément « dose ».

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 :

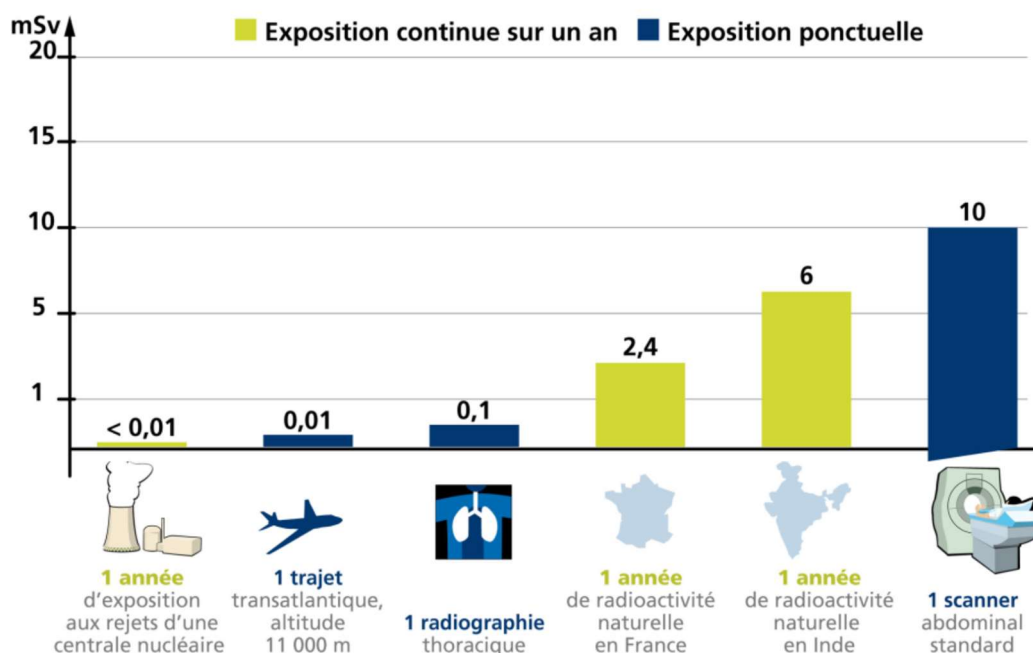


Figure 5 : Echelle des ordres de grandeur de doses résultant de situations courantes et comparaison aux seuils réglementaires (Source : EDF)

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 6 ci-après.

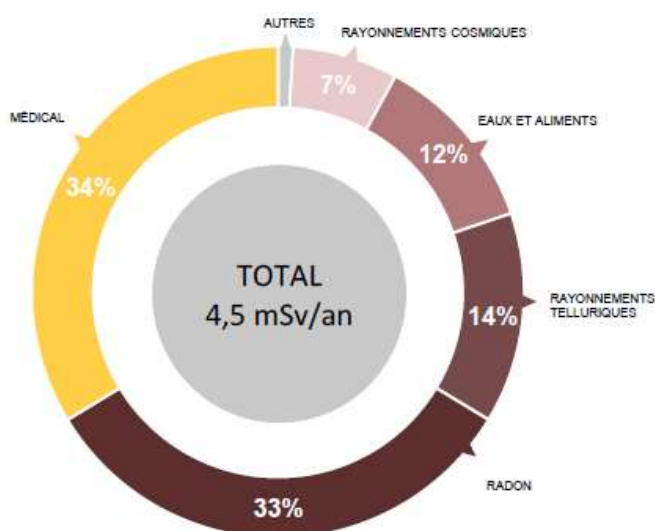


Figure 6 : Part relative des différentes sources d'expositions de la population française aux rayonnements ionisants (Source : Bilan IRSN 2021)

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

ADULTE	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	1,2E-06	3,8E-05	3,9E-05
Rejets d'effluents liquides	6,8E-04	6,4E-04	1,3E-03
Total	6,8E-04	6,8E-04	1,4E-03

ENFANT DE 10 ANS	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	1,2E-06	3,5E-05	3,7E-05
Rejets d'effluents liquides	1,0E-03	3,6E-04	1,4E-03
Total	1,0E-03	4,0E-04	1,4E-03

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

Les valeurs de doses calculées sont inférieures à 1.10^{-2} mSv/an pour l'adulte et l'enfant de 10 ans et 1.10^{-3} mSv/an pour l'enfant de 1 an.

Les valeurs de doses calculées pour l'adulte, l'enfant de 10 ans et l'enfant de 1 an, attribuables aux rejets d'effluents radioactifs de l'année 2022 sont plus de 100 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 VII - 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 Gravelines, 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 emplacements 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, cellulosiques				
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

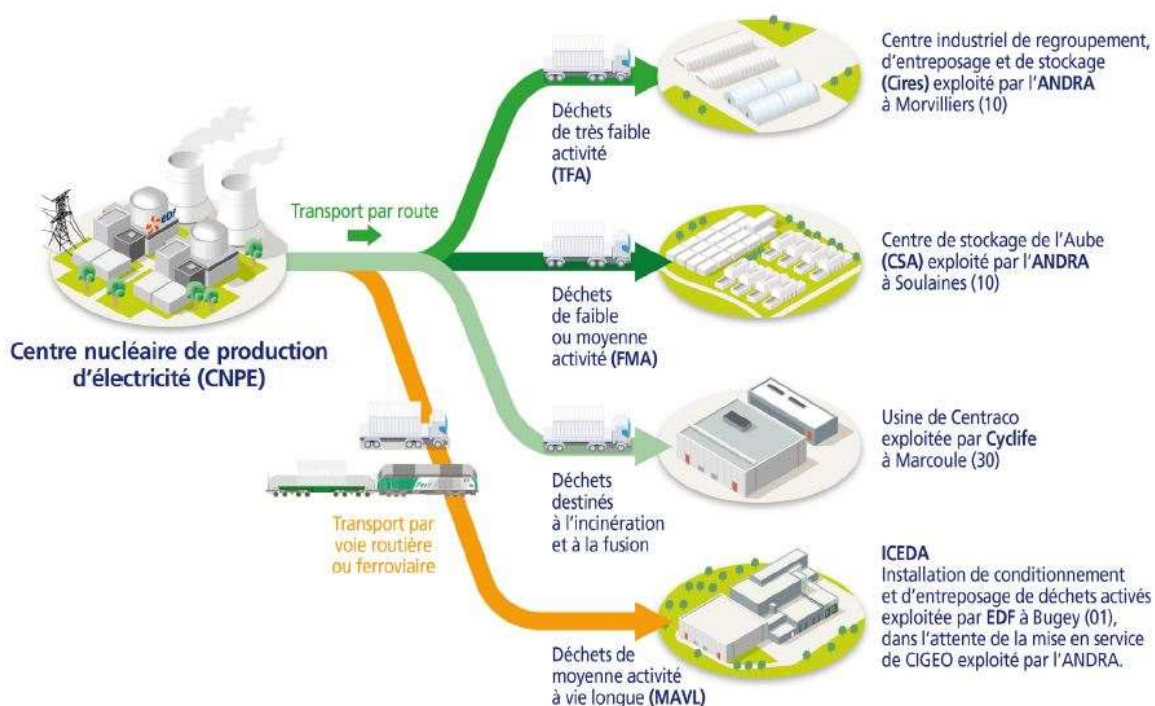


Figure 7 : Transport des déchets radioactifs (Source : EDF)

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

Le tableau suivant présente les quantités de déchets en attente de conditionnement au 31 décembre 2022 pour les 6 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Gravelines.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2022	Commentaires
TFA	294,646 tonnes	En conteneur sur l'aire TFA
FMAVC (Liquides)	15,546 tonnes	Effluents du lessivage chimique, huiles, solvants...
FMAVC (Solides)	434,647 tonnes	Localisation Bâtiment des Auxiliaires Nucléaire et Bâtiment Auxiliaire de Conditionnement (BAC)
MAVL	462 objets	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 2022 pour les 6 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Gravelines.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2022	Commentaires
TFA	298 colis	Tous types d'emballages confondus
FMAVC	83 colis	Coques béton
FMAVC	560 colis	Fûts (métalliques, PEHD)
FMAVC	26 colis	Autres (caissons, pièces massives...)

Le tableau suivant présente le nombre de colis évacués et les sites d'entreposage en 2022 pour les 6 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Gravelines.

Site destinataire	Nombre de colis évacués
Cires à Morvilliers	569
CSA à Soulaines	1383
Centraco à Marcoule	2928
ICEDA au Bugey	0

En 2022, 4880 colis ont été évacués vers les différents sites de traitement ou de stockage appropriés (Centraco et Andra).

II. Les déchets non radioactifs

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

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

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

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

Le tableau ci-dessous présente les quantités de déchets conventionnels produites en 2022 par les INB d'EDF.

Quantités 2022 en tonnes	Déchets dangereux		Déchets non dangereux non inertes		Déchets inertes		Total	
	produits	valorisés	produits	valorisés	produits	valorisés	produits	valorisés
Sites en exploitation	10 283	8 383	34 493	29 822	97 458	97 393	142 234	135 598
Sites en déconstruction	475	316	1 085	988	2 222	2 218	3 783	3 521

Concernant les déchets générés sur les sites en exploitation :

La production de déchets inertes reste conséquente en 2022 malgré une baisse par rapport à l'année 2021 du fait de la poursuite d'importants chantiers, liés notamment aux chantiers de modifications post Fukushima, au projet Grand Carénage, ainsi qu'à des chantiers de voirie, d'aménagement de zones d'entreposage, de parkings, de bâtiments tertiaires et des chantiers de rénovation des systèmes de traitement des eaux usées.

La production de déchets non dangereux non inertes est en légère baisse par rapport celle de l'année 2021. La production de déchets dangereux reste quant à elle relativement stable.

Concernant les déchets générés sur les sites en déconstruction :

En cohérence avec la typologie des chantiers réalisés sur les sites en déconstruction, la grande majorité des déchets produits en 2022 appartient aux catégories DI et DnDnl. Les tendances constatées par rapport à 2021 sont :

- une légère augmentation de la quantité totale de déchets ;
- une relative stabilité des quantités de déchets non dangereux non inertes ;
- une augmentation de la quantité de déchets inertes.

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

- la création en 2006 du Groupe Déchets Economie Circulaire, chargé d'animer la gestion des déchets conventionnels pour l'ensemble des entités d'EDF. Ce groupe, qui s'inscrit dans le cadre du Système de Management Environnemental certifié ISO 14001 d'EDF, est composé de représentants des Divisions/Métiers des différentes Directions productrices de déchets. Ses principales missions consistent à apporter de la cohérence en proposant des règles et outils de référence aux entités productrices de déchets,
- les entités productrices de déchets conventionnels disposent d'un outil informatique qui permet en particulier de maîtriser les inventaires de déchets et leurs voies de gestion,
- la définition depuis 2008 d'un objectif de valorisation pour l'ensemble des déchets valorisables. Cet objectif est actuellement fixé à 90% de l'ensemble des déchets conventionnels produits,
- 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 »,
- la création, en 2020, d'une plateforme interne de réemploi (EDF Reutiliz), visant à faciliter la seconde vie des équipements et matériels dont les sites n'ont plus l'usage ;
- le recensement annuel des actions de prévention de production des déchets.

En 2022, les 6 unités de production du CNPE de Gravelines ont produit 21 782 tonnes de déchets conventionnels : 98,2 % de ces déchets ont été valorisés ou recyclés.

ABREVIATIONS

ANDRA - Agence Nationale pour la gestion des Déchets RAdioactifs

ASN - Autorité Sûreté Nucléaire

CNPE - Centre Nucléaire de Production d'Électricité

COT - Carbone Organique Total

DBO5 - Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours

DCO - Demande Chimique en Oxygène

DUS – Diesel d'Ultime Secours

EBA - Ventilation de balayage en circuit ouvert tranche à l'arrêt

ESE - Évènement Significatif Environnement

FMA - Faible Moyenne Activité

ICPE - Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

INB - Installation Nucléaire de Base

IRSN - Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

ISO - International Standard Organization

KRT – Chaîne de mesure de radioactivité

MES - Matières En Suspension

PA – Produit d'Activation

PF – Produit de Fission

REX - Retour d'Expérience

SME - Système de Management de l'Environnement

SMP - Station Multi Paramètres

TAC – Turbine à Combustion

TEU - Traitement des Effluents Usés

TFA - Très Faible Activité

THE – Très Haute Efficacité

UFC - Unité Formant Colonie

ANNEXE 1

Résultats du suivi des rejets des miniblocs (épuration des eaux usées)

Janvier									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
MB1 bis	270	270	836	3	12	68	99%	96%	92%
MB3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB6	200	340	588	4	8,9	43	98%	97%	93%
MB7	170	290	678	3	2	21	98%	99%	97%
MB8	790	1100	2410	3	2	23	100%	100%	99%
MB9	310	390	926	3	6	42	99%	98%	95%
MB10	180	600	753	3	2	18	98%	100%	98%
MB11	290	240	846	20	25	83	93%	90%	90%

Février									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
MB1 bis	330	480	890	3	4,9	59	99%	99%	93%
MB3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB6	190	620	1110	3	7,9	52	98%	99%	95%
MB7	140	240	501	3	2	28	98%	99%	94%
MB8	260	260	681	3	2	14	99%	99%	98%
MB9	260	220	509	5	7,6	37	98%	97%	93%
MB10	140	206	492	3	2	33	98%	99%	93%
MB11	470	750	888	18	18	83	96%	98%	91%

Mars									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
MB1 bis	740	230	1050	12	8,6	51	98%	96%	95%
MB3	450	1400	2310	3	32	115	99%	98%	95%
MB4	290	1300	1370	3	46	130	99%	96%	91%
MB5	270	1500	3330	10	73	178	96%	95%	95%
MB6	150	330	620	21	30	93	86%	91%	85%
MB7	710	900	1960	14	19	70	98%	98%	96%
MB8	35	1030	390	3	4	29	91%	100%	93%
MB9	220	340	703	9	16	70	96%	95%	90%
MB10	130	75	331	4	7,4	30	97%	90%	91%
MB11	260	580	894	3	4	28	99%	99%	97%

Avril									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
MB1 bis	240	150	614	3	2	33	99%	99%	95%
MB3	390	260	1200	3	8	103	99%	97%	91%
MB4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB6	300	1500	2200	4	12	63	99%	99%	97%
MB7	190	400	1090	7	20	89	96%	95%	92%
MB8	460	170	1810	3	2,5	17	99%	99%	99%
MB9	690	1100	1670	14	12	69	98%	99%	96%
MB10	150	310	535	4	2	15	97%	99%	97%
MB11	740	280	1690	6	34	82	99%	88%	95%

Mai									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
MB1 bis	360	220	899	3	3,4	46	99%	98%	95%
MB3	160	170	537	3	30	104	98%	82%	81%
MB4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB6	140	500	416	6	9,8	63	96%	98%	85%
MB7	250	280	655	3	2,8	29	99%	99%	96%
MB8	640	310	1340	3	2	30	100%	99%	98%
MB9	540	1100	1540	3	3,8	55	99%	100%	96%
MB10	100	300	799	6	5,1	86	94%	98%	89%
MB11	590	1100	1270	6	26	81	99%	98%	94%

Juin									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
MB1 bis	280	300	751	3	2	26	99%	99%	97%
MB3	260	410	1620	4	7,8	84	98%	98%	95%
MB4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB6	150	260	488	3	5,9	55	98%	98%	89%
MB7	91	96	287	3	11	32	97%	89%	89%
MB8	830	64	1580	4	2	44	100%	97%	97%
MB9	330	390	1070	6	5,5	61	98%	99%	94%
MB10	360	380	988	3	2,1	102	99%	99%	90%
MB11	100	420	620	4	11	61	96%	97%	90%

Juillet									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
MB1 bis	160	170	601	3	2,9	33	98%	98%	95%
MB3	230	120	657	4	12	88	98%	90%	87%
MB4	220	400	1030	3	4,4	26	99%	99%	97%
MB5	190	130	698	8	62	279	96%	52%	60%
MB6	160	170	555	3	7	45	98%	96%	92%
MB7	110	97	400	3	3,2	22	97%	97%	95%
MB8	470	370	1380	3	3,1	12	99%	99%	99%
MB9	140	240	640	3	15	10	98%	94%	98%
MB10	93	150	339	5	4,1	71	95%	97%	79%
MB11	470	380	1620	3	5,8	10	99%	98%	99%

Août									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
MB1 bis	220	290	838	2	5,2	54	99%	98%	94%
MB3	110	250	474	3	4	49	97%	98%	90%
MB4	210	100	656	3	9,8	33	99%	90%	95%
MB5	230	290	968	3	4	46	99%	99%	95%
MB6	330	530	1520	3	2	26	99%	100%	98%
MB7	250	160	762	6	4	52	98%	98%	93%
MB8	700	380	1760	3	3,6	33	100%	99%	98%
MB9	270	530	944	3	5,9	37	99%	99%	96%
MB10	10	38	75	3	2,4	10	70%	94%	87%
MB11	270	660	1380	3	2,4	24	99%	100%	98%

Septembre									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
MB1 bis	95	83	313	6	2,1	34	94%	97%	89%
MB3	92	76	239	5	5,6	37	95%	93%	85%
MB4	260	300	972	3	4,5	16	99%	99%	98%
MB5	260	400	1120	3	3,7	38	99%	99%	97%
MB6	150	180	371	4	2	16	97%	99%	96%
MB7	420	290	1270	3	3,2	32	99%	99%	97%
MB8	710	450	1720	3	2	30	100%	100%	98%
MB9	490	960	1990	4	6,8	60	99%	99%	97%
MB10	120	49	407	13	26	91	89%	47%	78%
MB11	170	490	1180	3	3,6	24	98%	99%	98%

Octobre									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
MB1 bis	270	280	961	4	4	67	99%	99%	93%
MB3	34	59	152	1,5	4,3	21	96%	93%	86%
MB4	190	87	629	3	6,1	26	98%	93%	96%
MB5	210	200	792	3	9,2	66	99%	95%	92%
MB6	170	570	834	1,5	1	26	99%	100%	97%
MB7	140	240	714	1,5	1	23	99%	100%	97%
MB8	320	220	921	1,5	6	24	100%	97%	97%
MB9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB10	61	110	288	7	5,6	23	89%	95%	92%
MB11	150	150	580	1,5	27	44	99%	82%	92%

Novembre									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
MB1 bis	270	190	760	5	5	41	98%	97%	95%
MB3	47	77	210	7	12	49	85%	84%	77%
MB4	53	65	155	4	2	14	92%	97%	91%
MB5	220	130	593	3	5,9	47	99%	95%	92%
MB6	44	92	222	3	2	19	93%	98%	91%
MB7	260	210	804	3	2	23	99%	99%	97%
MB8	690	310	2050	3	3,1	25	100%	99%	99%
MB9	360	610	925	3	6,9	38	99%	99%	96%
MB10	73	44	227	3	8,2	13	96%	81%	94%
MB11	80	150	260	3	3,4	12	96%	98%	95%

Décembre									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
MB1 bis	710	350	1320	3	14	106	100%	96%	92%
MB3	410	240	1120	5	5,9	46	99%	98%	96%
MB4	26	26	48	3	2,2	10	88%	92%	79%
MB5	330	330	1010	4	13	53	99%	96%	95%
MB6	180	360	394	3	2	10	98%	99%	97%
MB7	210	230	684	3	6,9	44	99%	97%	94%
MB8	160	620	968	3	2	21	98%	100%	98%
MB9	270	470	864	5	12	80	98%	97%	91%
MB10	91	250	334	3	2,7	10	97%	99%	97%
MB11	180	770	1120	3	3,4	11	98%	100%	99%

ANNEXE 2

Suivi radio-écologique annuel des CNPE de la Manche et de la mer du Nord 2021 (IRSN)

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 27 page 166). 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).

La chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Gravelines est présentée sur la Figure 26 page 162. Les références bibliographiques sont présentées en pages 205 et suivantes.

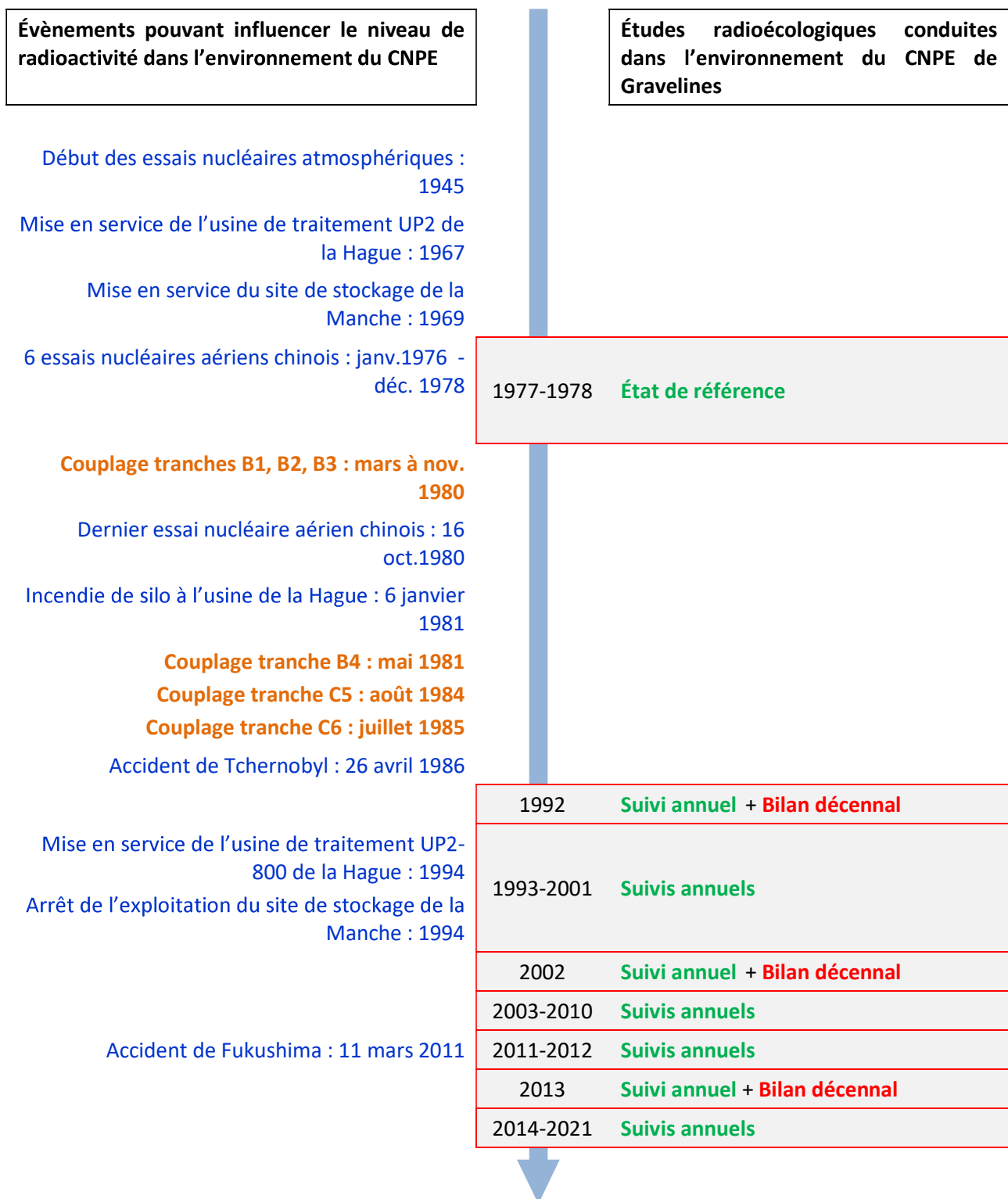


Figure 26 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Gravelines.

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 27 page 166. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 83 page 164. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique des sols de pâturage échantillonnés sont présentées dans le Tableau 97 page 189.

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 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 AS1, Loon-Plage et Dunkerque). La zone hors vents dominants (ZNI) se situe dans le secteur sud (Saint-Georges-sur-l'Aa, et Gravelines en champ proche du CNPE).

En 2021, 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. Concernant les prélèvements et analyses réglementaires, il n'a pas été possible de prélever une des trois salades demandées dans l'environnement du CNPE de Gravelines en 2021 (habituellement prélevée dans le secteur d'Offekerque). Le lait a 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.

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

Tableau 83 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique de 2021 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
6,76 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,14161	50,95320	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	31/08/2021	Gamma (Cendre)	8,07	16,01
6,76 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,14161	50,95320	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	31/08/2021	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	7,42	-
6,76 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,14161	50,95320	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	31/08/2021	C élémentaire (Sec)	7,42	-
6,76 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,14161	50,95320	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	31/08/2021	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	7,42	-
6,76 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,14161	50,95320	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	31/08/2021	H-3 lié (Sec)	7,42	-
6,76 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,14161	50,95320	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	31/08/2021	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	7,42	-
6,76 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,14161	50,95320	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	31/08/2021	H-3 libre (Liquide)	7,42	-
6,76 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,14161	50,95320	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm State 0-5 cm	31/08/2021	Gamma (Sec)	1,22	-
6,76 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,14161	50,95320	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm State 0-5 cm	31/08/2021	Granulométrie (Sec)	1,22	-
6,76 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,14161	50,95320	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm State 0-5 cm	31/08/2021	MO après combustion (Sec)	1,22	-
3,5 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (<5 km)	Gravelines	02,13499	50,98225	Légumes	Salade	Parties aériennes	30/08/2021	Gamma (Cendre)	20,64	4,54
3,5 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (<5 km)	Gravelines	02,13499	50,98225	Légumes	Salade	Parties aériennes	30/08/2021	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	16,90	-
3,5 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (<5 km)	Gravelines	02,13499	50,98225	Légumes	Salade	Parties aériennes	30/08/2021	C élémentaire (Sec)	16,90	-
3,5 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (<5 km)	Gravelines	02,13499	50,98225	Légumes	Salade	Parties aériennes	30/08/2021	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	16,90	-
3,5 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (<5 km)	Gravelines	02,13499	50,98225	Légumes	Salade	Parties aériennes	30/08/2021	H-3 lié (Sec)	16,90	-
3,5 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (<5 km)	Gravelines	02,13499	50,98225	Légumes	Salade	Parties aériennes	30/08/2021	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	16,90	-
3,5 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (<5 km)	Gravelines	02,13499	50,98225	Légumes	Salade	Parties aériennes	30/08/2021	H-3 libre (Liquide)	16,90	-
1,31 km ENE	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	02,14827	51,02083	Herbes	Herbe de prairie permanente	Entier	15/02/2021	Gamma (Cendre)	2,19	16,71
1,38 km ENE	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	02,14935	51,02084	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm State 0-5 cm	15/02/2021	Gamma (Sec)	1,23	-

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
1,38 km ENE	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	02,14935	51,02084	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm State 0-5 cm	15/02/2021	Granulométrie (Sec)	1,23	-
1,38 km ENE	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	02,14935	51,02084	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm State 0-5 cm	15/02/2021	MO après combustion (Sec)	1,23	-
1,41 km ENE	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	02,14916	51,02157	Autres végétaux	Lierre commun <i>Hedera helix</i>	Feuilles annuelles	15/02/2021	H-3 lié (Sec)	2,75	-
1,41 km ENE	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	02,14916	51,02157	Autres végétaux	Lierre commun <i>Hedera helix</i>	Feuilles annuelles	15/02/2021	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	2,75	-
1,41 km ENE	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	02,14916	51,02157	Autres végétaux	Lierre commun <i>Hedera helix</i>	Feuilles annuelles	15/02/2021	H-3 libre (Liquide)	2,75	-
4,09 km E	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Loon-Plage	02,18972	51,02310	Mousses terricoles	<i>Tortula ruralis</i>	Entier	15/02/2021	Gamma (Frais)	1,13	-
9,77 km E	Gravelines - Zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	02,27264	51,00783	Légumes	Salade	Parties aériennes	31/08/2021	Gamma (Cendre)	18,40	5,05
9,77 km E	Gravelines - Zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	02,27264	51,00783	Légumes	Salade	Parties aériennes	31/08/2021	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	14,92	-
9,77 km E	Gravelines - Zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	02,27264	51,00783	Légumes	Salade	Parties aériennes	31/08/2021	C élémentaire (Sec)	14,92	-
9,77 km E	Gravelines - Zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	02,27264	51,00783	Légumes	Salade	Parties aériennes	31/08/2021	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	14,92	-
9,77 km E	Gravelines - Zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	02,27264	51,00783	Légumes	Salade	Parties aériennes	31/08/2021	H-3 lié (Sec)	14,92	-
9,77 km E	Gravelines - Zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	02,27264	51,00783	Légumes	Salade	Parties aériennes	31/08/2021	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	14,92	-
9,77 km E	Gravelines - Zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	02,27264	51,00783	Légumes	Salade	Parties aériennes	31/08/2021	H-3 libre (Liquide)	14,92	-

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
9,77 km E	Gravelines - Eau phréatique hors aval hydraulique	Dunkerque	02,27264	51,00783	Eaux boisson	Eau de boisson	Entier	31/08/2021	H-3 libre (Liquide)	-	-

- : absence de traitement.

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

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



Figure 27 - Localisation de CNPE de Gravelines et des stations terrestres¹¹ échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2021.

¹¹ 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.

7.2.2. Résultats et interprétation

7.2.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine naturelle dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 98 page 190.

En 2021, 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, 24, 25]. La seconde composante, cosmogénique, est due au ^7Be , présent dans les végétaux dont la surface foliaire est propice à la captation des retombées atmosphériques.

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

Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine artificielle dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 99 page 191.

Dans les sols, le seul radionucléide d'origine artificielle quantifié est le ^{137}Cs . Ce radionucléide ne l'est pas dans les salades ni dans les mousses ni dans le lait. Dans l'herbe échantillonnée à proximité immédiate du CNPE, du ^{137}Cs et du ^{60}Co sont détectés. Les activités en ^{137}Cs détectées dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines en 2021 sont en accord avec les niveaux observés au cours des dix dernières années (Tableau 85 à Tableau 91, pages 177 et suivantes ; et Figure 28 page 168) 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. Le ^{60}Co détecté dans l'herbe échantillonnée à proximité de la côte, le fut également en 2016, 2017 et 2019. Ce marquage provient potentiellement des embruns et aérosols marins marqués par les rejets d'effluents liquides des INB de la Manche et de la Mer du Nord. 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.

7.2.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 100 et du Tableau 101 page 192, respectivement.

L'activité en tritium libre dans l'eau de boisson est inférieure au seuil de décision ($\leq 0,60 \text{ Bq.L}^{-1}$). Les activités en tritium libre et en tritium organiquement lié sont proches du bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence d'un apport industriel local (0,5 à 2 Bq.L^{-1} ED pour l'HTO et 0,37 à $1,8 \text{ Bq.L}^{-1}$ EC pour le TOL d'après [3]) pour la salade et le lait, ainsi que pour les feuilles de lierre (tritium libre). L'activité en tritium organiquement lié dans les feuilles de lierre est en revanche

supérieure à ce bruit de fond ($2,9 \pm 0,8 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ EC}$), et met en évidence une contribution local en champ proche du CNPE de Gravelines pour le lierre.

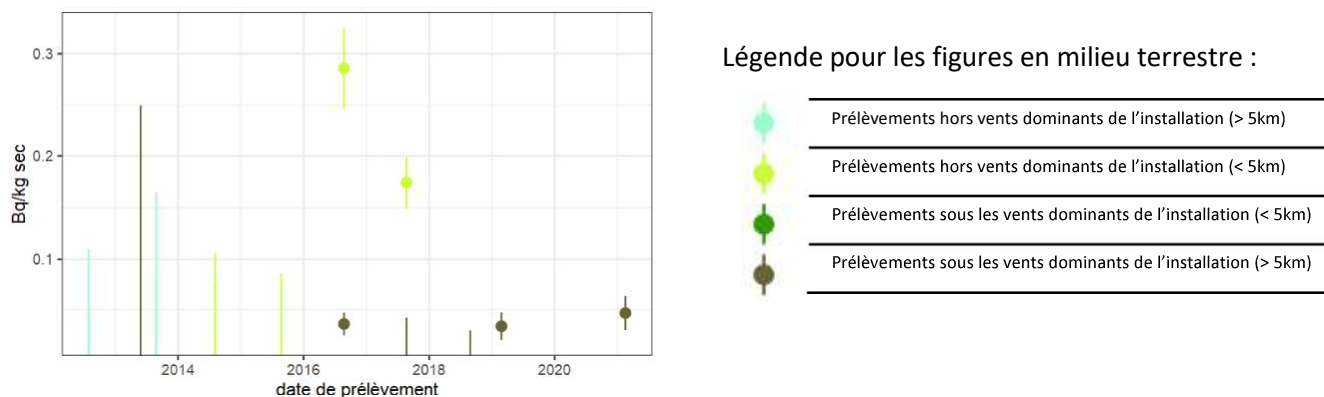


Figure 28 – Variation temporelle des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein de l'herbe échantillonnée dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines.

Carbone 14

Les résultats d'analyse des activités en ^{14}C dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 102 page 193.

Les activités en ^{14}C dans le lait échantillonné en champ lointain ($231 \pm 11 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de C) et dans les salades échantillonnées sous et hors vents (220 ± 11 et 222 ± 11 respectivement) sont comparables au bruit de fond sur le territoire métropolitain français hors influence industrielle locale ($223 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de C d'après [3]), et ne met en évidence aucun apport local dans l'environnement du site de Gravelines. En revanche, les résultats des quatre prélèvements trimestriels de feuilles de lierre de l'année 2020 (251 ± 12 à $264 \pm 13 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de C, Tableau 88 page 180) démontrent l'occurrence d'un apport local par les rejets à l'atmosphère du CNPE.

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 29 page 172. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 84 pages 169 et suivantes. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique des sédiments échantillonnés sont présentées dans le Tableau 103 page 194. 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 d'eau, Jetée des Huttes) et à Audinghen, où seuls des sédiments relativement grossiers ont pu être récoltés.

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 [2, 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]). 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 161). La zone marine potentiellement la plus influencée est située en champ proche (CP), un terme qui désigne des stations situées à proximité du ou des points de rejets d'effluents liquides du CNPE, et/ou dans la zone d'excursion du panache des rejets d'effluents liquides du CNPE, et qui sont donc potentiellement influencées par ces rejets. A 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).

En 2021, il n'a pas été possible de récolter de moules à la Jetée des Huttes, la ressource étant exceptionnellement absente. Le prélèvement de mollusques réglementaire à cette station a été remplacé par un prélèvement d'huîtres, abondantes en 2021. L'IRSN n'a rencontré aucune autre difficulté de prélèvement dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines

Tableau 84 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines en 2021 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
0,52 km	Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	02,13580	51,01810	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	16/02/2021	Gamma (Cendre)	3,03	26,96
0,52 km	Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	02,13580	51,01810	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	16/02/2021	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	3,47	-
0,52 km	Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	02,13580	51,01810	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	16/02/2021	C élémentaire (Sec)	3,47	-
0,52 km	Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	02,13580	51,01810	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	16/02/2021	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	3,47	-
0,52 km	Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	02,13580	51,01810	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	16/02/2021	H-3 lié (Sec)	3,47	-
0,52 km	Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	02,13580	51,01810	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	16/02/2021	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	3,47	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	17/02/2021	Gamma (Cendre)	5,11	3,75
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	17/02/2021	Gamma (Frais)	5,11	-

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/ Sec	Sec/ Cendres
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	17/02/2021	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	4,89	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	17/02/2021	C élémentaire (Sec)	4,89	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	17/02/2021	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	4,89	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	17/02/2021	H-3 lié (Sec)	4,89	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	17/02/2021	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	4,89	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	17/02/2021	H-3 libre (Liquide)	4,89	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	17/02/2021	Fe-55 par SL (Cendre)	5,11	3,75
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	17/02/2021	Ni-63 par Sc. Liq. (Cendre)	5,11	3,75
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	17/02/2021	Gamma (Sec)	1,22	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	17/02/2021	Granulométrie (Sec)	1,22	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	17/02/2021	MO après combustion (Sec)	1,22	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Mollusques	Moule	Chair	05/10/2021	Gamma (Cendre)	4,03	12,09
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Mollusques	Moule	Chair	05/10/2021	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	4,31	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Mollusques	Moule	Chair	05/10/2021	C élémentaire (Sec)	4,31	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Mollusques	Moule	Chair	05/10/2021	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	4,31	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Mollusques	Moule	Chair	05/10/2021	H-3 lié (Sec)	4,31	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Mollusques	Moule	Chair	05/10/2021	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	4,31	-
44,59 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen au large	01,52472	50,89583	Poissons	Flet <i>Platichthys flesus</i>	Muscle	05/08/2021	Gamma (Cendre)	4,51	16,79
1,54 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Prise d'eau	02,15134	51,02161	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	16/02/2021	Gamma (Cendre)	5,24	3,87
1,56 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Prise d'eau	02,15244	51,02079	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	16/02/2021	Gamma (Sec)	1,26	-
1,56 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Prise d'eau	02,15244	51,02079	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	16/02/2021	Granulométrie (Sec)	1,26	-
1,56 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Prise d'eau	02,15244	51,02079	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	16/02/2021	MO après combustion (Sec)	1,26	-
1,7 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12361	51,02778	Crustacés	Crabe	Entier	08/01/2021	Gamma (Cendre)	2,81	2,17
1,7 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12361	51,02778	Crustacés	Crabe	Entier	08/01/2021	H-3 lié (Sec)	3,02	-
1,7 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12361	51,02778	Crustacés	Crabe	Entier	08/01/2021	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	3,02	-

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/ Sec	Sec/ Cendres
2,16 km	Gravelines - Champ proche	Grand-Fort-Philippe	02,10500	51,00597	Algues brunes	Fucus <i>Fucus ceranoides</i>	Entier	16/02/2021	Gamma (Cendre)	8,38	4,47
2,21 km	Gravelines - Champ proche	Grand-Fort-Philippe	02,10551	51,00421	Sédiments	Sédiments	≤ 2 mm	16/02/2021	Gamma (Sec)	2,52	-
2,21 km	Gravelines - Champ proche	Grand-Fort-Philippe	02,10551	51,00421	Sédiments	Sédiments	≤ 2 mm	16/02/2021	Granulométrie (Sec)	2,52	-
2,21 km	Gravelines - Champ proche	Grand-Fort-Philippe	02,10551	51,00421	Sédiments	Sédiments	≤ 2 mm	16/02/2021	MO après combustion (Sec)	2,52	-
2,38 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15021	51,03227	Mollusques	Huître	Chair	16/02/2021	Gamma (Cendre)	8,72	4,10
2,38 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15021	51,03227	Mollusques	Huître	Chair	16/02/2021	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	7,92	-
2,38 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15021	51,03227	Mollusques	Huître	Chair	16/02/2021	C élémentaire (Sec)	7,92	-
2,38 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15021	51,03227	Mollusques	Huître	Chair	16/02/2021	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	7,92	-
2,38 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15021	51,03227	Mollusques	Huître	Chair	16/02/2021	H-3 lié (Sec)	7,92	-
2,38 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15021	51,03227	Mollusques	Huître	Chair	16/02/2021	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	7,92	-
2,39 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15062	51,03227	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	16/02/2021	Gamma (Sec)	1,21	-
2,39 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15062	51,03227	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	16/02/2021	Granulométrie (Sec)	1,21	-
2,39 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15062	51,03227	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	16/02/2021	MO après combustion (Sec)	1,21	-
2,65 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15078	51,03481	Algues brunes	Fucus <i>Fucus spiralis</i>	Entier	16/02/2021	Gamma (Cendre)	5,90	3,74
2,65 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15078	51,03481	Algues brunes	Fucus <i>Fucus spiralis</i>	Entier	16/02/2021	Gamma (Frais)	5,90	-
2,65 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15078	51,03481	Algues brunes	Fucus <i>Fucus spiralis</i>	Entier	16/02/2021	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	5,90	-
2,65 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15078	51,03481	Algues brunes	Fucus <i>Fucus spiralis</i>	Entier	16/02/2021	C élémentaire (Sec)	5,90	-
2,65 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15078	51,03481	Algues brunes	Fucus <i>Fucus spiralis</i>	Entier	16/02/2021	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	5,90	-
2,65 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15078	51,03481	Algues brunes	Fucus <i>Fucus spiralis</i>	Entier	16/02/2021	H-3 lié (Sec)	5,90	-
2,65 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15078	51,03481	Algues brunes	Fucus <i>Fucus spiralis</i>	Entier	16/02/2021	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	5,90	-
2,65 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15078	51,03481	Algues brunes	Fucus <i>Fucus spiralis</i>	Entier	16/02/2021	H-3 libre (Liquide)	5,90	-
2,65 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15078	51,03481	Algues brunes	Fucus <i>Fucus spiralis</i>	Entier	16/02/2021	Fe-55 par SL (Cendre)	5,90	3,74
2,65 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15078	51,03481	Algues brunes	Fucus <i>Fucus spiralis</i>	Entier	16/02/2021	Ni-63 par Sc. Liq. (Cendre)	5,90	3,74
3,11 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12056	51,04056	Poissons	Flet <i>Platichthys flesus</i>	Muscle	28/07/2021	Gamma (Cendre)	4,48	16,25
3,11 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12056	51,04056	Poissons	Flet <i>Platichthys flesus</i>	Muscle	28/07/2021	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	4,36	-
3,11 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12056	51,04056	Poissons	Flet <i>Platichthys flesus</i>	Muscle	28/07/2021	C élémentaire (Sec)	4,36	-

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
3,11 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12056	51,04056	Poissons	Flet <i>Platichthys flesus</i>	Muscle	28/07/2021	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	4,36	-
3,11 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12056	51,04056	Poissons	Flet <i>Platichthys flesus</i>	Muscle	28/07/2021	H-3 lié (Sec)	4,36	-
3,11 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12056	51,04056	Poissons	Flet <i>Platichthys flesus</i>	Muscle	28/07/2021	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	4,36	-

- : absence de traitement.

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

Prélèvements à la Ferme Aquacole de Gravelines, hors influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE
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 29 - Localisation du CNPE de Gravelines et des stations marines¹² échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2021.

7.3.2. Résultats et interprétation

7.3.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine naturelle dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 104 page 196.

En 2021, 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 (à des niveaux proches du seuil de détection pour ces derniers).

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

Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine artificielle dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 105 page 197.

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 et les mollusques

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). Bleu très clair : Ferme Aquacole de Gravelines, hors influence potentielle des rejets d'effluents liquides du CNPE ou de toute installation nucléaire.

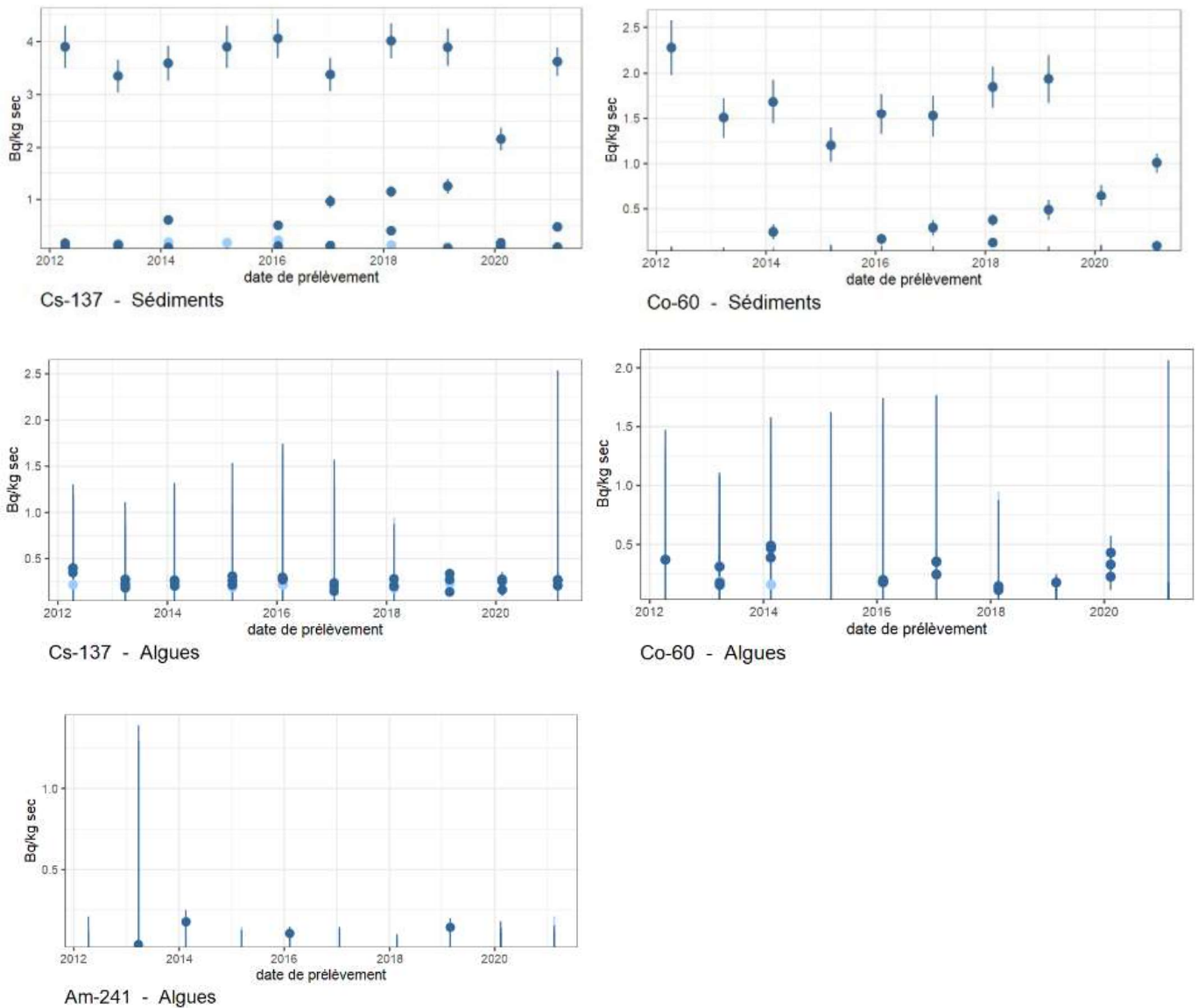
en champ proche), au ^{110m}Ag (dans les mollusques en champ proche) et à ^{241}Am (dans les sédiments en champ proche). Le ^{137}Cs est le plus fréquemment quantifié. L' ^{131}I recherché dans les algues mesurées en frais ne présente pas d'activité supérieure au seuil de décision. Les résultats de mesure par spectrométrie gamma obtenus en 2021 confirment ceux des années précédentes quant à la stabilité des niveaux d'activités en radionucléides artificiels mesurés dans les matrices environnementales marines proches du CNPE de Gravelines (Tableau 92 à Tableau 96, pages 184 et suivantes ; et Figure 30 et Figure 31 pages 174 et 175). Par ailleurs, le contexte régional (dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague en « amont » du CNPE de Gravelines) et hydrologique local rend difficile une discrimination du marquage spécifique par les rejets du CNPE de Gravelines sur l'environnement marin.

7.3.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 106 et du Tableau 107 page 198.

Les activités en tritium libre dans les algues et les activités en tritium organiquement lié dans les algues, les mollusques, les crustacés et les poissons correspondent aux valeurs attendues du fait des niveaux d'activités mesurables dans l'eau de mer en Manche (de l'ordre de $5 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ EC}$, et comprises entre 3,7 et $5,9 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ EC}$ à distance de l'usine ORANO [3, 26, 27]) et majoritairement imputables à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague. Ces résultats ne témoignent pas d'un marquage observable par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Gravelines en 2021.



Légende pour les figures des pages suivantes en milieu marin :

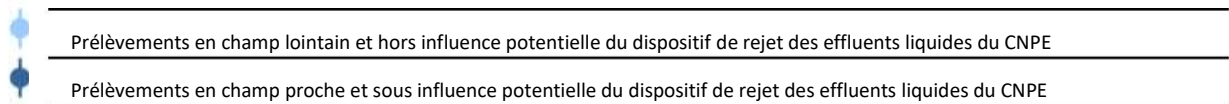


Figure 30 – Variation temporelle des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des sédiments et des algues échantillonnés dans l’environnement marin du CNPE de Gravelines.

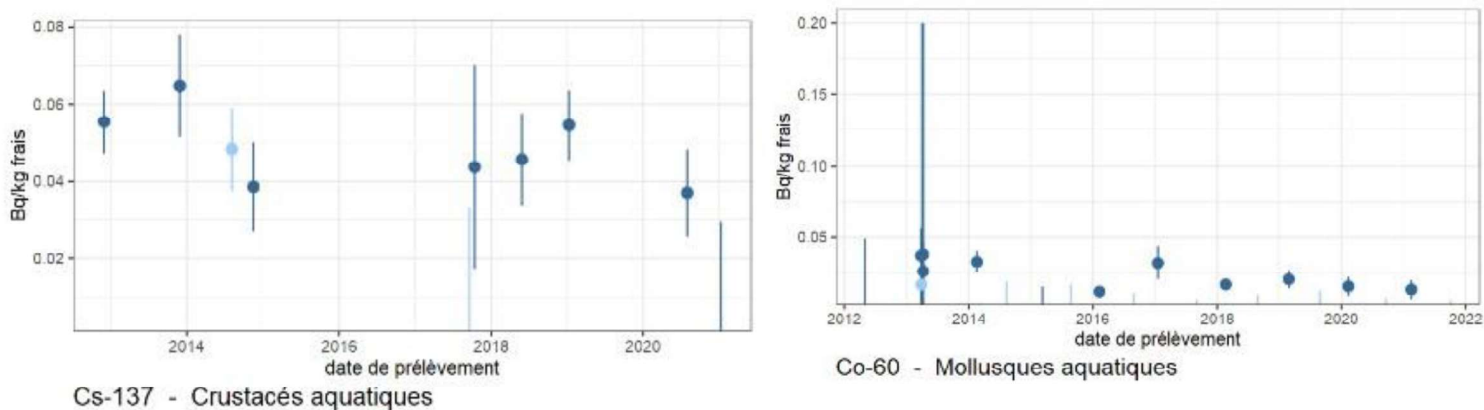


Figure 31 – Variation temporelle des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des mollusques et des crustacés échantillonnés dans l’environnement marin du CNPE de Gravelines.

Carbone 14

Les résultats d’analyse des activités en ^{14}C dans l’environnement marin du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 108 page 201.

L’activité en ^{14}C mesurée au sein des poissons prélevés à la Ferme Aquacole est comparable au bruit de fond en ^{14}C observé hors influence dans les matrices biologiques collectées en entrée de Manche ($233 \pm 5 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ en 2021 d’après nos mesures et d’après [3]). L’activité en ^{14}C quantifiée au sein des poissons échantillonnés en champ proche des rejets d’effluents liquides du CNPE de Gravelines, des mollusques et des algues échantillonnés en champ proche et en champ lointain ($252,6 \pm 1,4$ à $402,1 \pm 2,0 \text{ Bq.kg}^{-1}\text{C}$) est en revanche supérieure à ce bruit de fond, avec des activités significativement plus élevées en champ proche qu’en champ lointain au sein des algues et des mollusques. Elle est cependant cohérente avec la gamme des valeurs enregistrées par le passé du fait du marquage global par les INB de la Manche [3], et notamment de la proximité de l’usine ORANO La Hague.

Nickel 63 et Fer 55

Les résultats d’analyse des activités en ^{63}Ni et en ^{55}Fe dans l’environnement marin du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 109 et du Tableau 110 page 200, respectivement.

Le ^{63}Ni est détectable dans les algues en champ proche et lointain des rejets d’effluents liquides du CNPE de Gravelines, avec des activités supérieures en champ lointain en 2021. Les activités mesurées dans l’environnement du CNPE de Gravelines sont dans la même gamme que les valeurs mesurées depuis 2016 dans les algues.

Le ^{55}Fe , recherché dans les algues, n’y est pas décelable en 2021. La technique de mesure du ^{55}Fe 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 2021 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 majoritairement imputable au ^{137}Cs , présent dans les sols et l'herbe échantillonnés, 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. Du ^{60}Co est également quantifié dans l'herbe échantillonnée à proximité immédiate du CNPE de Gravelines. Les activités en tritium libre et en tritium organiquement lié mettent en évidence un apport local en tritium organiquement lié pour le lierre. L'activité en ^{14}C dans le lait est proche du bruit de fond sur le territoire français hors influence industrielle ($223 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ d'après [3]). Au vu des résultats obtenus dans le cadre du suivi radioécologique 2021, il apparaît que les rejets d'effluents à l'atmosphère ne donnent pas lieu à un marquage quantifiable de l'environnement terrestre du site de Gravelines, hormis pour le tritium dans le lierre, ainsi que pour le ^{14}C dans l'un des échantillons trimestriels de lierre.

En 2021, 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 et les mollusques), le $^{110\text{m}}\text{Ag}$ (dans les mollusques) et le ^{241}Am (dans les sédiments) 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. L' ^{241}Am , caractéristique des rejets d'effluents de l'usine ORANO La Hague, est quantifié dans les sédiments prélevés en champ proche du CNPE en 2021. 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 organiquement 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, sans qu'un marquage spécifique aux activités du CNPE de Gravelines ne soit démontré en 2021. Les activités en ^{14}C témoignent de l'influence globale des INB de la Manche [3], avec un marquage en ^{14}C dans les algues et les mollusques échantillonnés en champ proche du CNPE de Gravelines. Les activités en ^{63}Ni dans les algues sont dans la même gamme que les valeurs mesurées depuis 2016 et ne mettent pas en évidence de marquage spécifique lié aux activités du CNPE de Gravelines.

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 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Distance au site	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	1,4 et 6,9 km	1,4 et 6,8 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	2,5-5,1 (3/3)	3,1-8,7 (8/8)	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)	0,58-3,30 (2/2)	1,41-2,26 (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.	-
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.	1,1-3,2 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	1,9-2,3 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
¹⁴ C	n.a.	236-240 (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 86 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Distance au site	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	4,2 km	4,1 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ .sec)										
¹³⁴ Cs	0,6 (1/3)	0,05-0,15 (2/3)	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	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 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2021			
Fraction	Parties aériennes	Parties aériennes		Parties aériennes		Parties aériennes		Parties aériennes		Parties aériennes		Parties aériennes
Chronique	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)
Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)												
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	-	-	-	-	n.a.	0,286 (1/1)	0,036 (1/1)	0,174 (1/1)	-	-	0,034 (1/1)	0,047 (1/1)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	n.a.	-	0,072 (1/1)	-	0,105 (1/1)	-	0,058 (1/1)	0,038 (1/1)
^{110m} Ag	-	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	-	0,134 (1/1)	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁴ Sb	-	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁵ Sb	-	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Emetteurs beta (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 ; ⁹⁰ Sr : Bq.kg ⁻¹ sec)												
³ H libre	n.a.	1,60 (1/1)	1,60 (1/1)	n.a.	n.a.	1,60 (1/1)	n.a.	6,70 (1/1)	n.a.	1,89 (1/1)	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	1,7 (1/1)	2,0-2,1 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3,08 (1/1)	n.a.	n.a.
¹⁴ C	232,0 (1/1)	233,5 (1/1)	230,5-232,3 (2/2)	227 (1/1)	n.a.	222-271,2 (2/2)	n.a.	272,2 (1/1)	n.a.	268,0 (1/1)	n.a.	n.a.
⁹⁰ Sr	n.a.	n.a.	0,41 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Espèces concernées : Herbe de prairie permanente. 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 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2013		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Fraction	Feuilles annuelles		Feuilles annuelles	Feuilles annuelles	Feuilles annuelles	Feuilles annuelles	Feuilles annuelles	Feuilles annuelles	Feuilles annuelles
Chronique	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)
Emetteurs beta (^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	1,70 (1/1)	1,70 (1/1)	n.a.	7,80 (1/1)	n.a.	3,89 (1/1)	2,50 (1/1)	3,10 (1/1)	2,00 (1/1)
^3H lié	3,00 (1/1)	2,40 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	2,56 (1/1)	2,10 (1/1)	2,90 (1/1)	2,90 (1/1)
^{14}C	228,8 (1/1)	227,8 (1/1)	263-265 (4/4)	248-263 (4/4)	252-263 (4/4)	242-264 (4/4)	243-261 (4/4)	251-264 (5/5)	n.a.

Espèces concernées : Lierre commun.

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 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Distance au site	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	8,1 km	3,5 et 9,8 km
Nature	Salade	Salade, Choux-fleurs et Pommes de terre	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
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.	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)	-	2,1-2,4 (2/2)
³ H lié	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)	1,4 (1/1)	2,3-2,4 (2/2)
¹⁴ C	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)	225 (1/1)	220-222 (2/2)

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 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Fraction	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier	
Chronique	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	
Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.L ⁻¹)											
¹³⁴ Cs	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	
¹³⁷ Cs	-	-	n.a.	0,0077 (1/1)	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	
⁵⁸ Co	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	
⁶⁰ Co	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	
^{110m} Ag	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	
⁵⁴ Mn	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	
¹²⁵ Sb	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	
¹²⁵ Sb	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	
¹³¹ I	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Emetteurs beta (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 ; ⁹⁰ Sr : Bq.L ⁻¹)											
³ H libre	0,90 (1/1)	0,70-0,80 (2/3)	n.a.	-	n.a.	-	1,03 (1/1)	0,84 (1/1)	0,80 (1/1)	-	0,70 (1/1)
³ H lié	0,80 (1/1)	0,90-2,10 (3/3)	n.a.	1,00 (1/1)	n.a.	1,50 (1/1)	0,87 (1/1)	3,63 (1/1)	1,30 (1/1)	n.a.	1,00 (1/1)
¹⁴ C	157-247 (2/2)	232,8-255 (4/4)	276 (1/1)	224 (1/1)	229-237 (5/5)	227-240 (5/5)	233 (1/1)	250 (1/1)	234 (1/1)	229 (1/1)	231 (1/1)
⁹⁰ Sr	n.a.	0,0090 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Espèces concernées : Lait de vache.

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 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Fraction	Filtrat à 0.2 μ m	Filtrat à 0.2 μ m	Filtrat à 0.2 μ m	Filtrat à 0.2 μ m	Filtrat à 0.2 μ m	Filtrat à 0.2 μ m	Filtrat à 0.2 μ m	Filtrat à 0.2 μ m	Filtrat à 0.2 μ m	Filtrat à 0.2 μ m
Chronique	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)
Emetteurs beta (3 H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, 14 C : Bq.kg ⁻¹ C)										
3 H libre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14 C	n.a.	165,3 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Espèces concernées : Eau de boisson.

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 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021									
Fraction	≤ 2 mm		≤ 2 mm		≤ 2 mm		≤ 2 mm		≤ 2 mm										
Chronique	Gravelines - champ lointain	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ lointain	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ lointain	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ lointain	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ lointain	Gravelines - champ proche									
Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)																			
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
¹³⁷ Cs	0,150 (1/1)	0,120-3,90 (3/3)	0,160 (1/1)	0,120-3,35 (3/3)	0,190 (1/1)	0,090-3,59 (3/3)	0,180 (1/1)	3,90 (1/3)	0,225 (1/1)	0,117-4,06 (3/3)	0,095 (1/1)	0,127-3,38 (3/3)	0,138 (1/1)	0,408-4,01 (3/3)	0,102 (1/1)	0,078-3,89 (3/3)	0,110-2,16 (3/3)	0,105 (1/1)	0,094-3,62 (3/3)
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.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,190-1,86 (3/3)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	2,28 (1/2)	-	1,51 (1/3)	-	0,250-1,69 (2/3)	-	1,21 (1/3)	-	0,174-1,55 (2/3)	-	0,296-1,53 (2/3)	-	0,133-1,85 (3/3)	-	0,49-1,94 (2/3)	0,65 (1/3)	-	0,098-1,01 (2/3)
^{110m} Ag	-	-	-	0,22 (1/3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20 (1/3)	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁴ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁵ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Emetteurs beta (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.	3,40 (1/1)	3,80-5,90 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	n.a.	-	8,1 (1/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	304,7 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	232,1 (1/1)	307,3 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Espèces concernées : Sable de plage, Sédiments non identifiés. n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 93 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Distance au site	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 à 41 km	0,7 à 41 km	1,5 à 41,0 km	1,5 à 41,1 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹.sec)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	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)	0,16-0,28 (3/4)	0,211-0,264 (4/4)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	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)	0,23-0,43 (3/4)	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	0,18 (1/4)	-	0,11 (1/4)	-	-	0,15 (1/4)	-	-
¹²⁹ I	n.a.	1,8 (1/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
¹³¹ I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
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 ; ⁶³Ni : Bq.kg⁻¹ sec)										
³ H libre	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)	n.a.	3,6-4,4 (2/2)
³ H lié	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)	n.a.	3,8-3,9 (2/2)
¹⁴ C	n.a.	238-286 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	241-270 (2/2)	255-270 (2/2)	n.a.	252,6-266,1 (2/2)
⁶³ Ni	n.a.	0,23-0,50 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,56-0,68 (2/2)	0,39-0,41 (2/2)	n.a.	0,34-0,54 (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 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Distance au site	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	2,5 et 40,7 km	2,4 et 41,1 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ frais)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	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)	0,01-0,02 (2/2)	0,0084-0,0166 (2/2)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	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)	0,02 (1/2)	0,0134 (1/2)
^{110m} Ag	0,36 (1/2)	0,03-1,49 (3/5)	-	-	-	-	-	-	-	0,199 (1/2)
^{108m} Ag	-	0,02 (1/5)	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	0,04 (1/2)	-	-	-
²⁴¹ Am	-	0,008-0,014 (3/5)	0,01-0,02 (2/2)	-	0,01 (1/2)	-	0,01 (1/2)	-	0,01 (1/2)	-
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 ; ⁶³Ni : Bq.kg⁻¹ sec)										
³ H libre	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.	n.a.	n.a.
³ H lié	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)	3,5-6,3 (2/2)	4,4-4,8 (2/2)
¹⁴ C	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.	316,1-402,1 (2/2)
⁶³ Ni	n.a.	0,19 (1/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,016-0,021 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.

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 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2012	2013	2014		2017		2018		2019	2020	2021	
Fraction	Entier	Entier	Entier		Entier		Chair	Entier	Chair	Entier	Entier	Entier
Chronique	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ lointain	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ lointain	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ proche
Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ frais)												
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,0554 (1/1)	0,065 (1/1)	0,048 (1/1)	0,039 (1/1)	-	0,044 (1/1)	n.a.	0,046 (1/1)	n.a.	0,0545 (1/1)	0,037 (1/1)	-
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,025 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-
⁶⁰ Co	0,0186 (1/1)	-	-	-	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-
^{110m} Ag	0,221 (1/1)	0,245 (1/1)	-	0,050 (1/1)	-	-	n.a.	-	n.a.	0,063 (1/1)	0,035 (1/1)	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-
¹²⁵ Sb	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-
¹²⁵ Sb	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-
¹³¹ I	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Emetteurs beta (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.	6,30 (1/1)	4,60 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	7,5 (1/1)	5,20 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	6,4 (1/1)	n.a.	3,92 (1/1)	5,1 (1/1)	3,00 (1/1)	4,2 (1/1)
¹⁴ C	n.a.	561,5 (1/1)	308 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Espèces concernées : Araignée de mer, Crabe non identifié, Crevette grise.

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 2012 à 2021 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Distance au site	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	0,5 et 2,2 km	0,5 à 45 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ frais)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	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)	0,08-0,11 (2/2)	0,05-0,06 (3/3)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	0,02 (1/5)	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{108m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Date	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Distance au site	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	0,5 et 2,2 km	0,5 et 3,1 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.	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.	n.a.	n.a.
³ H lié	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)	4,0-6,4 (2/2)	3,4-4,8 (2/2)
¹⁴ C	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)	223-342 (2/2)	236-389 (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 2021.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Frais/sec	Fractions	%
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	15/02/2021	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	21/10/2021	sec	1,23	Matière organique	2,2±0,1
									Argile (< 2µm)	11,3±0,5
									Limons fins	5,8±0,4
									Limons grossiers	5,6±0,4
									Sables fins	32,6±0,8
Sables grossiers	44,7±1,4									
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	31/08/2021	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	21/10/2021	sec	1,22	Matière organique	4,7±0,2
									Argile (< 2µm)	22,5±0,9
									Limons fins	16,5±0,8
									Limons grossiers	21,9±1,1
									Sables fins	37,1±0,9
Sables grossiers	2,0±0,5									

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

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

Tableau 98 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2021.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{40}K	Famille du ^{232}Th	Famille de ^{238}U			^7Be	Unité
										^{228}Ac	^{232}Th	$^{234\text{m}}\text{Pa}$	^{210}Pb		
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	15/02/2021	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	Sec	1,23	10/05/2021	244±21	9,80±0,70	9,8±1,0	12,0±8,0	21,0±7,0	$\leq 2,0$	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	31/08/2021	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	Sec	1,22	11/10/2021	319±26	20,8±1,4	19,8±3,8	≤ 15	26,0±8,0	$\leq 1,5$	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - Zone hors vents dominants (<5 km)	Gravelines	30/08/2021	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	20,64	19/11/2021	2 360±200	0,46±0,24	$\leq 1,1$	≤ 13	4,9±1,0	49,1±4,0	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	31/08/2021	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	18,40	17/11/2021	2 060±180	$\leq 0,65$	$\leq 1,6$	≤ 22	5,7±1,4	60,5±5,0	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	15/02/2021	Herbes	Herbe de prairie permanente	Entier	Cendre	2,19	10/05/2021	113±10	0,898±0,096	$\leq 0,66$	$\leq 3,0$	138±15	712±60	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Loon-Plage	15/02/2021	Mousses terrestres	<i>Tortula ruralis</i> <i>Tortula ruralis</i>	Entier	Frais	1,13	19/02/2021	130±10	3,2±1,7	n.a.	n.a.	n.a.	668±36	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	31/08/2021	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	Cendre	8,07	25/11/2021	47,2±3,9	$\leq 0,028$	$\leq 0,054$	$\leq 0,85$	$\leq 0,054$	$\leq 0,093$	Bq.L ⁻¹

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 2021.

Chronique	Commune	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	Unité
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines	15/02/2021	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	Sec	1,23	10/05/2021	≤ 0,090	1,41± 0,15	≤ 0,21	≤ 0,11	≤ 0,14	≤ 0,13	≤ 0,21	≤ 0,27	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-IAa	31/08/2021	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	Sec	1,22	11/10/2021	≤ 0,11	2,26± 0,20	≤ 0,18	≤ 0,15	≤ 0,16	≤ 0,14	≤ 0,18	≤ 0,33	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - Zone hors vents dominants (<5 km)	Gravelines	30/08/2021	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	20,64	19/11/2021	≤ 0,092	≤ 0,11	≤ 0,22	≤ 0,13	≤ 0,13	≤ 0,11	≤ 0,20	≤ 0,22	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	31/08/2021	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	18,40	17/11/2021	≤ 0,14	≤ 0,14	≤ 0,30	≤ 0,22	≤ 0,22	≤ 0,18	≤ 0,28	≤ 0,32	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines	15/02/2021	Herbes	Herbe de prairie permanente	Entier	Cendre	2,19	10/05/2021	≤ 0,023	0,047± 0,017	≤ 0,054	0,038± 0,018	≤ 0,036	≤ 0,030	≤ 0,054	≤ 0,078	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Loon-Plage	15/02/2021	Mousses terrestres	Tortula ruralis	Entier	Frais	1,13	19/02/2021	≤ 0,28	≤ 0,36	≤ 0,33	≤ 0,36	≤ 0,29	≤ 0,33	≤ 0,29	≤ 0,79	≤ 0,37	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-IAa	31/08/2021	Aliments liq. non transformés	Lait de vache	Entier	Cendre	8,07	25/11/2021	≤ 0,0054	≤ 0,0054	≤ 0,013	≤ 0,0085	≤ 0,0085	≤ 0,0070	≤ 0,012	≤ 0,012	n.a.	Bq.L ⁻¹

n.a. : non analysé. * Du fait de sa courte période radioactive, l'¹³¹I 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 2021.

Chronique	Commune	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 sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Gravelines - Zone hors vents dominants (<5 km)	Gravelines	30/08/2021	Légumes	Salades	Parties aériennes	16,90	22/11/2021	2,4±0,8	2,26±0,75	Frais
Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	31/08/2021	Légumes	Salades	Parties aériennes	14,92	08/11/2021	2,1±0,7	1,96±0,65	Frais
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines	15/02/2021	Végétaux terrestre non consommés	Lierre commun <i>Hedera helix</i>	Feuilles annuelles	2,75	20/04/2021	2,0±0,7	1,27±0,45	Frais
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	31/08/2021	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,42	08/11/2021	0,7±0,7	0,61±0,61	Liquide
Gravelines - Eau phréatique hors aval hydraulique	Dunkerque	31/08/2021	Eaux de boisson	Eau de boisson	Filtrée 0,2µm	-	14/10/2021	≤ 0,6	≤ 0,60	Liquide

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 2021.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Gravelines - Zone hors vents dominants (<5 km)	Gravelines	30/08/2021	Légumes	Salades	Parties aériennes	16,90	11/11/2021	2,4±0,7	0,074±0,022	Frais
Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	31/08/2021	Légumes	Salades	Parties aériennes	14,92	11/11/2021	2,3±0,7	0,079±0,024	Frais
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines	15/02/2021	Végétaux terrestre non consommés	Lierre commun <i>Hedera helix</i>	Feuilles annuelles	2,75	29/04/2021	2,9±0,8	0,63±0,18	Frais
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	31/08/2021	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,42	01/11/2021	1,0±0,6	0,097±0,059	Liquide

Tableau 102 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2021.

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 sec ou Bq.L ⁻¹ d'ECH)	C_{TOT} (g.kg ⁻¹ frais ou sec ou g.L ⁻¹ d'ECH)	$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (‰)	pMC (%)	Unité
Gravelines - Zone hors vents dominants (<5 km)	Gravelines	30/08/2021	Légumes	Salades	Parties aériennes	Sec	16,90	18/04/2022	222±11	5,06±0,25	23	-29,24	99,1±4,9	Frais
Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	31/08/2021	Légumes	Salades	Parties aériennes	Sec	14,92	18/04/2022	220±11	5,84±0,29	27	-29,7	98,3±4,9	Frais
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	31/08/2021	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	Sec	7,42	08/02/2022	231±11	17,38±0,83	75	-28,17	102,9±4,9	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 2021.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Frais/sec	Fractions	%
Gravelines - champ proche	Gravelines, Prise d'eau	16/02/2021	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	21/10/2021	Sec	1,26	Matière organique	0,59±0,04
									Argile (< 2µm)	6,9±0,4
									Limons fins	2,9±0,3
									Limons grossiers	2,4±0,3
									Sables fins	35,3±0,9
Sables grossiers	52,5±1,5									
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	16/02/2021	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	21/10/2021	sec	1,21	Matière organique	0,36±0,03
									Argile (< 2µm)	2,7±0,3
									Limons fins	0,3±0,2
									Limons grossiers	0,1±0,1
									Sables fins	16,1±0,5
Sables grossiers	80,8±2,1									
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	16/02/2021	Sédiments	Sédiments	≤ 2 mm	21/10/2021	Sec	2,52	Matière organique	3,51±0,13
									Argile (< 2µm)	41,7±1,5
									Limons fins	32,2±1,4
									Limons grossiers	21,7±1,1
									Sables fins	4,2±0,3
Sables grossiers	0,2±0,2									
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	17/02/2021	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	21/10/2021	Sec	1,22	Matière organique	0,12±0,02
									Argile (< 2µm)	2,1±0,3
									Limons fins	0,1±0,1
									Limons grossiers	0,5±,02
									Sables fins	19,5±0,6
Sables grossiers	77,8±2,0									

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

Prélèvements à la Ferme Aquacole de Gravelines, hors influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE
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 104 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2021.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	⁴⁰ K	Famille du ²³² Th		Famille de ²³⁸ U				⁷ Be	Unité
										²²⁸ Ac	²³² Th	^{234m} Pa	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Pb		
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	16/02/2021	Algues	Fucus <i>Fucus ceranoides</i>	Entier	Cendre	8,38	10/05/2021	1 340±110	6,24±0,54	2,62±0,51	≤ 16	7,6±1,6	26,6±2,5	Bq.kg ⁻¹ sec		
Gravelines - champ proche	Gravelines, Prise d'eau	16/02/2021	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	Cendre	5,24	29/04/2021	1 160±100	4,72±0,41	7,07±0,72	≤ 15	3,0±1,0	18,3±2,1	Bq.kg ⁻¹ sec		
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	16/02/2021	Algues	Fucus <i>Fucus spiralis</i>	Entier	Cendre	5,90	18/02/2021	1 150±94	≤ 11	n.a.	n.a.	n.a.	≤ 14	Bq.kg ⁻¹ sec		
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	16/02/2021	Algues	Fucus <i>Fucus spiralis</i>	Entier	Frais	5,90	10/05/2021	1 092±88	3,34±0,29	4,71±0,54	≤ 13	≤ 1,9	12,3±1,3	Bq.kg ⁻¹ sec		
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	17/02/2021	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	Frais	5,11	18/02/2021	1 251±56	≤ 5,1	n.a.	n.a.	n.a.	22,0±7,7	Bq.kg ⁻¹ sec		
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	17/02/2021	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	Cendre	5,11	10/05/2021	1 320±120	4,51±0,37	5,20±0,64	≤ 19	2,6±1,1	19,2±2,1	Bq.kg ⁻¹ sec		
Gravelines - champ proche	Gravelines au large	08/01/2021	Crustacés aquatiques	Crabe	Entier	Cendre	2,81	18/11/2021	73,2±6,6	0,84±0,16	≤ 0,35	≤ 4,1	0,48±0,23	≤ 9,9	Bq.kg ⁻¹ frais		
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	16/02/2021	Mollusques	Huitre	Chair	Cendre	8,72	25/05/2021	39,1±3,4	≤ 0,034	0,414±0,045	≤ 1,1	0,257±0,078	0,36±0,11	Bq.kg ⁻¹ frais		
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	05/10/2021	Mollusques	Moule	Chair	Cendre	4,03	22/12/2021	65,4±5,7	0,049±0,012	0,353±0,047	≤ 0,57	0,56±0,10	0,517±0,055	Bq.kg ⁻¹ frais		
Gravelines - champ proche	Gravelines, Prise d'eau	16/02/2021	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,26	29/04/2021	241±20	5,61±0,42	9,80±0,80	9,0±5,0	19,0±4,4	9,2±1,3	Bq.kg ⁻¹ sec		
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	16/02/2021	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,21	29/04/2021	192±16	4,41±0,35	4,90±0,60	≤ 9,0	10,9±2,7	1,50±0,70	Bq.kg ⁻¹ sec		
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	17/02/2021	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,22	29/04/2021	160±14	3,58±0,28	5,70±0,60	≤ 11	9,6±2,3	2,10±0,60	Bq.kg ⁻¹ sec		
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	16/02/2021	Sédiments	Sédiments	≤ 2 mm	Sec	2,52	29/04/2021	328±26	16,0±1,0	34,7±2,4	32,0±9,0	74±15	61,3±4,7	Bq.kg ⁻¹ sec		
Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	16/02/2021	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	Cendre	3,03	25/05/2021	121,0±9,8	≤ 0,034	≤ 0,086	≤ 1,1	≤ 0,11	≤ 0,15	Bq.kg ⁻¹ frais		
Gravelines - champ proche	Gravelines au large	28/07/2021	Poissons	Flet <i>Platichthys flesus</i>	Muscle	Cendre	4,48	15/11/2021	112,6±9,6	≤ 0,043	≤ 0,11	≤ 1,8	≤ 0,12	≤ 0,21	Bq.kg ⁻¹ frais		
Gravelines - champ lointain	Audinghen au large	05/08/2021	Poissons	Flet <i>Platichthys flesus</i>	Muscle	Cendre	4,51	24/11/2021	110,9±9,2	≤ 0,042	≤ 0,092	≤ 1,5	≤ 0,11	≤ 0,21	Bq.kg ⁻¹ frais		

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 2021.

Chronique	Commune	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	²⁴¹ Am	¹³¹ I	Unité
Gravelines - champ proche	Gravelines, Prise d'eau	16/02/2021	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,26	29/04/2021	≤ 0,070	0,480± 0,070	≤ 0,13	0,098± 0,041	≤ 0,090	≤ 0,090	≤ 0,13	≤ 0,17	0,370± 0,100	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	16/02/2021	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,21	29/04/2021	≤ 0,060	0,094± 0,040	≤ 0,11	≤ 0,080	≤ 0,080	≤ 0,080	≤ 0,12	≤ 0,16	0,190± 0,080	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	17/02/2021	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,22	29/04/2021	≤ 0,050	0,105± 0,033	≤ 0,100	≤ 0,060	≤ 0,070	≤ 0,060	≤ 0,100	≤ 0,13	≤ 0,13	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	16/02/2021	Sédiments	Sédiments	≤ 2 mm	Sec	2,52	29/04/2021	≤ 0,100	3,62± 0,27	≤ 0,19	1,01± 0,11	≤ 0,15	≤ 0,13	≤ 0,21	≤ 0,31	1,86± 0,19	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ proche	Gravelines	16/02/2021	Algues	Fucus <i>Fucus ceranoides</i>	Entier	Cendre	8,38	10/05/2021	≤ 0,11	0,264± 0,063	≤ 0,25	≤ 0,18	≤ 0,16	≤ 0,16	≤ 0,22	≤ 0,27	≤ 0,16	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ proche	Gravelines	16/02/2021	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	Cendre	5,24	29/04/2021	≤ 0,11	0,271± 0,067	≤ 0,23	≤ 0,18	≤ 0,18	≤ 0,13	≤ 0,21	≤ 0,26	≤ 0,13	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	16/02/2021	Algues	Fucus <i>Fucus spiralis</i>	Entier	Frais	5,90	18/02/2021	≤ 1,7	≤ 2,5	≤ 2,2	≤ 2,1	≤ 2,0	≤ 2,1	≤ 1,8	≤ 4,1	n.a.	≤ 1,9	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	16/02/2021	Algues	Fucus <i>Fucus spiralis</i>	Entier	Cendre	5,90	10/05/2021	≤ 0,094	0,206± 0,054	≤ 0,21	≤ 0,13	≤ 0,13	≤ 0,11	≤ 0,21	≤ 0,21	≤ 0,12	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	17/02/2021	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	Frais	5,11	18/02/2021	≤ 0,82	≤ 1,1	≤ 1,0	≤ 1,1	≤ 0,87	≤ 1,1	≤ 0,87	≤ 2,0	n.a.	≤ 0,77	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	17/02/2021	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	Cendre	5,11	10/05/2021	≤ 0,11	0,211± 0,064	≤ 0,24	≤ 0,19	≤ 0,16	≤ 0,13	≤ 0,24	≤ 0,29	≤ 0,21	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ proche	Gravelines au large	08/01/2021	Crustacés aquatiques	Crabe	Entier	Cendre	2,81	18/11/2021	≤ 0,036	≤ 0,030	≤ 0,62	≤ 0,046	≤ 0,082	≤ 0,058	≤ 0,99	≤ 0,099	≤ 0,033	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	16/02/2021	Mollusques	Huître	Chair	Cendre	8,72	25/05/2021	≤ 0,0075	0,0084± 0,0045	≤ 0,020	0,0134± 0,0067	0,199± 0,020	≤ 0,0092	≤ 0,020	≤ 0,020	≤ 0,011	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	05/10/2021	Mollusques	Moule	Chair	Cendre	4,03	22/12/2021	≤ 0,0041	0,0166± 0,0027	≤ 0,0090	≤ 0,0059	≤ 0,0062	≤ 0,0047	≤ 0,0088	≤ 0,0098	≤ 0,0059	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	16/02/2021	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	Cendre	3,03	25/05/2021	≤ 0,0073	0,0599± 0,0073	≤ 0,020	≤ 0,011	≤ 0,011	≤ 0,0098	≤ 0,018	≤ 0,017	≤ 0,0098	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Gravelines - champ proche	Gravelines au large	28/07/2021	Poissons	Flet <i>Platichthys flesus</i>	Muscle	Cendre	4,48	15/11/2021	≤ 0,0082	0,0563± 0,0069	≤ 0,026	≤ 0,014	≤ 0,014	≤ 0,011	≤ 0,026	≤ 0,022	≤ 0,011	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Gravelines - champ lointain	Audinghen au large	05/08/2021	Poissons	Flet <i>Platichthys flesus</i>	Muscle	Cendre	4,51	24/11/2021	≤ 0,0092	0,0501± 0,0066	≤ 0,028	≤ 0,015	≤ 0,015	≤ 0,012	≤ 0,026	≤ 0,021	≤ 0,0092	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais

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 2021.

Chronique	Commune	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 sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Gravelines - champ proche	Gravelines	16/02/2021	Algues	Fucus <i>Fucus spiralis</i>	Entier	5,90	20/04/2021	3,6±0,7	2,99±0,58	Frais
Gravelines - champ lointain	Audinghen	17/02/2021	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	4,89	20/04/2021	4,4±0,8	3,50±0,64	Frais

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 2021.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Gravelines - champ proche	Gravelines	16/02/2021	Algues	Fucus <i>Fucus spiralis</i>	Entier	5,90	25/04/2021	3,8±0,8	0,285±0,062	Frais
Gravelines - champ lointain	Audinghen	17/02/2021	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	4,89	25/04/2021	3,9±0,8	0,349±0,075	Frais
Gravelines - champ proche	Gravelines	08/01/2021	Crustacés	Crabe	Entier	3,02	01/11/2021	4,2±0,8	0,57±0,11	Frais
Gravelines - champ proche	Gravelines	16/02/2021	Mollusques	Huître	Chair	7,92	30/05/2021	4,4±0,8	0,291±0,055	Frais
Gravelines - champ lointain	Audinghen	05/10/2021	Mollusques	Moule	Chair	4,31	11/11/2021	4,8±0,9	0,67±0,13	Frais
Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	16/02/2021	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	3,47	30/05/2021	3,4±0,8	0,67±0,16	Frais
Gravelines - champ proche	Gravelines	28/07/2021	Poissons	Flet <i>Platichthys flesus</i>	Muscle	4,36	11/11/2021	4,8±0,9	0,69±0,13	Frais

Tableau 108 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2021.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure ^{14}C	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ C)	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais)	C_{tot} (g.kg ⁻¹ sec ou frais)	$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (‰)	pMC (%)	Unité
Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	16/02/2021	Algues brunes	Fucus <i>Fucus spiralis</i>	Entier	5,90	23/07/2021	266,1±1,8	14,246±0,096	54	-20,08	116,58±0,79	Frais
Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	17/02/2021	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	4,89	23/07/2021	252,6±1,4	16,405±0,091	65	-19,23	110,48±0,61	Frais
Gravelines - champ proche	Gravelines	16/02/2021	Mollusques	Huître	Chair	7,92	23/07/2021	402,1±2,0	19,453±0,097	48	-19,29	175,89±0,87	Frais
Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	05/10/2021	Mollusques	Moule	Chair	4,31	15/06/2022	316,1±1,4	31,51±0,14	100	-18,67	138,10±0,61	Frais
Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	16/02/2021	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	3,47	13/12/2021	236±12	34,5±1,8	150	-20,69	103,5±5,3	Frais
Gravelines - champ proche	Gravelines	28/07/2021	Poissons	Flet <i>Platichthys flesus</i>	Muscle	4,36	22/12/2021	389±19	41,8±2,0	110	-15,96	169,0±8,3	Frais

Tableau 109 - Activités en ⁶³Ni mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2021.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Qualité	Date de mesure ⁶³ Ni	⁶³ Ni (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Ni (g.kg ⁻¹ sec ou frais ou g.L ⁻¹)	Unité
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	16/02/2021	Algues	Fucus <i>Fucus spiralis</i>	Entier	5,90	Cendre	23/09/2021	0,342±0,075	0,19	Sec
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	17/02/2021	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	5,11	Cendre	23/09/2021	0,542±0,099	0,361	Sec

Tableau 110 - Activités en ⁵⁵Fe mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2021.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	⁵⁵ Fe	Unité
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	16/02/2021	Algues	Fucus <i>Fucus spiralis</i>	Entier	Cendre	5,90	09/10/2021	≤ 5,4	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	17/02/2021	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	Cendre	5,11	09/10/2021	≤ 5,3	Bq.kg ⁻¹ sec

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 (18 fois sur 34). L'activité la plus élevée ($9,5\pm 0,8 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) 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 22). Du ^{60}Co est également détecté dans l'herbe échantillonnée en champ proche du CNPE de Gravelines ($0,04\pm 0,02 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$).

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

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

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

À la vue des résultats obtenus dans le cadre du suivi radioécologique 2021, il apparaît que les rejets d'effluents à l'atmosphère des CNPE français côtiers de la Manche et de la Mer du Nord ne donnent pas lieu à un marquage mesurable de l'environnement terrestre, hormis pour les échantillons d'herbe, de salade, de lait et de lierre échantillonnés à proximité immédiate des CNPE, pour lesquels le marquage par les rejets d'effluents atmosphériques des CNPE est visible pour le ^3H (libre et/ou organiquement lié), et/ou pour le ^{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 ^{134}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 32 page 203).

Le ^{137}Cs est le radionucléide artificiel le plus fréquemment détecté au sein des matrices échantillonnées (44 fois sur 50). Les activités en ^{137}Cs sont relativement homogènes de Flamanville à Gravelines (Figure 33 page 204). Néanmoins, les apports de l'usine ORANO La Hague contribuent à doubler les activités en ^{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 $\text{mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$ de matière fraîche. L' ^{131}I recherché dans les algues n'est pas détecté à des niveaux supérieurs au seuil de décision, hormis en champ lointain du CNPE de Penly (Port de Dieppe).

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

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

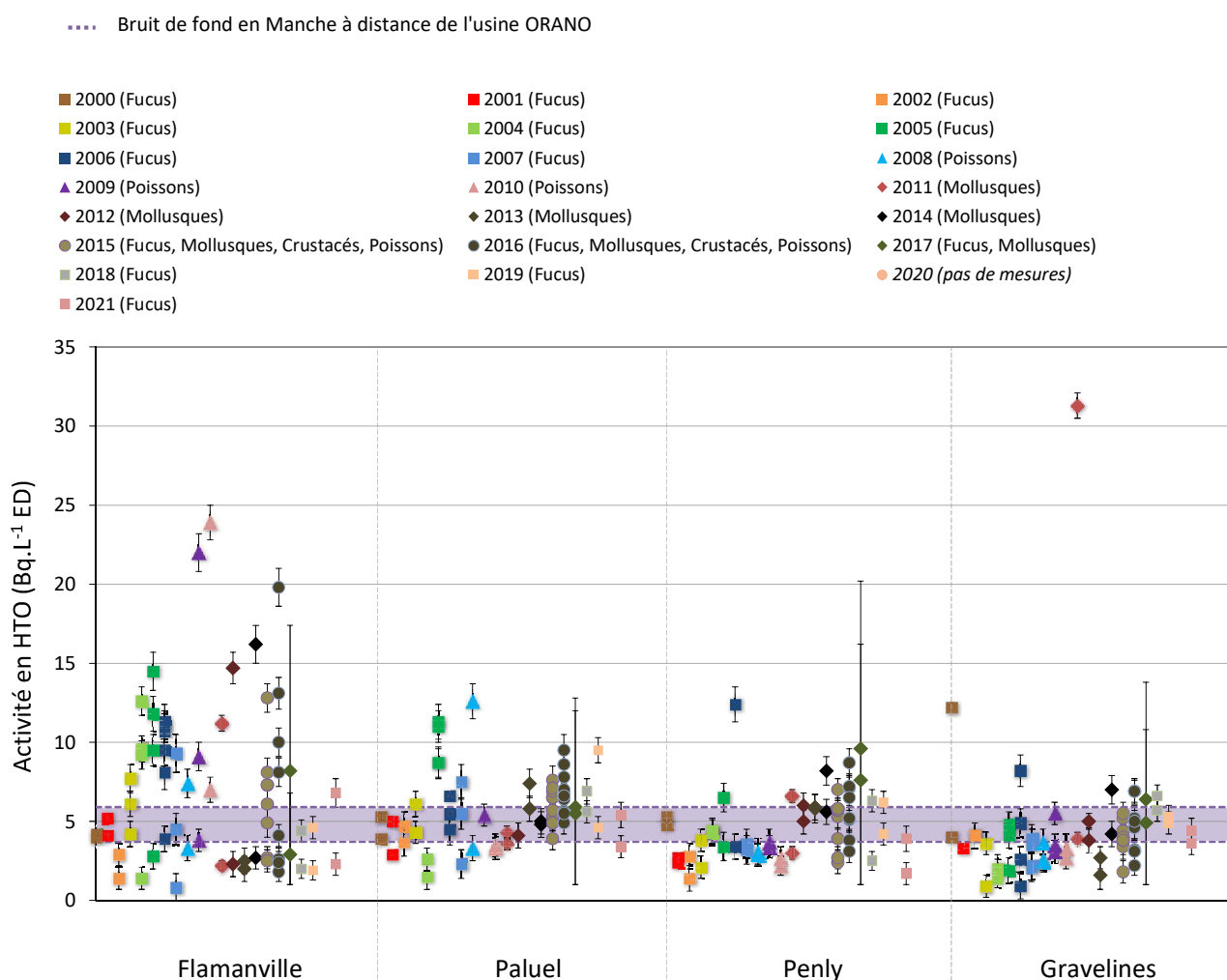


Figure 32 - Activités en tritium libre (Bq.L $^{-1}$ ED) mesurées dans les algues, les mollusques, les crustacés et les poissons échantillonnés dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord depuis 2000. La zone violette indique le bruit de fond attendu en entrée de Manche (i.e. entre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

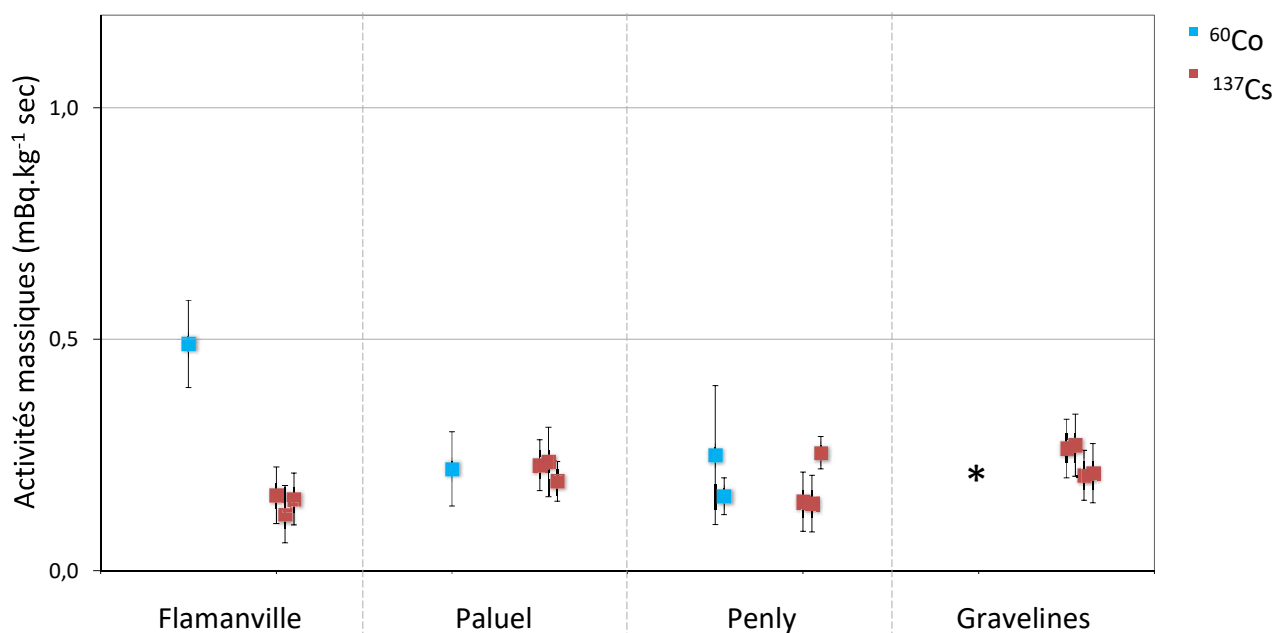


Figure 33 - Activités en ^{60}Co et en ^{137}Cs mesurées dans les algues échantillonnées en 2021 dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord.

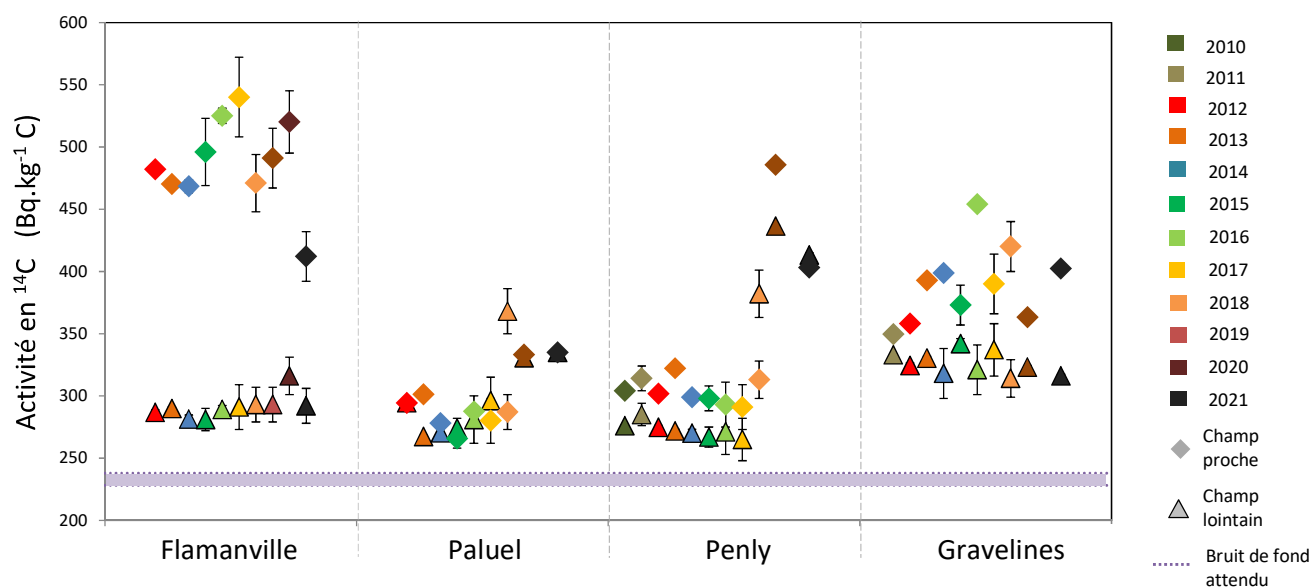


Figure 34 - Activités en ^{14}C ($\text{Bq.kg}^{-1}\text{ C}$) dans les mollusques (patelles et moules) échantillonnés depuis 2010 dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord. Le graphique distingue les prélèvements fait en champ proche de chaque CNPE (losanges) de ceux effectués en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

ANNEXE 3

Résultats de la campagne estivale 2022 de contrôle des eaux du canal d'amenée et du canal de rejet

Contrôle des eaux du canal d'amenée

date		Entérocoques intestinaux	Escherichia coli	Ammonium	Nitrates	Nitrites	Orthophosphates	Oxygène dissous	pH instantané in situ	Salinité	Température de l'eau
jour	heure	/100 mL	/100 mL	mg/L (NH4)	mg/L (NO3)	mg/L (NO2)	mg/L (PO4)	mg/L O2	/	ups	°C
17/05/2022	10h30	< 10	< 10	0,14	0,10	< 0,005	< 0,03	8,1	7,9	34	16,0
02/06/2022	08h10	10	< 10	0,07	< 0,10	0,009	< 0,03	8,3	7,9	33,9	15,8
09/06/2022	08h35	< 10	< 10	0,11	< 0,10	0,009	0,03	7,6	7,9	33,8	16,4
16/06/2022	09h45	< 10	< 10	0,06	< 0,10	0,017	< 0,03	8	8,6	34,3	17,7
23/06/2022	10h00	< 10	< 10	0,04	0,140	0,012	< 0,03	7,8	8,1	34	19,1
30/06/2022	10h15	< 10	< 10	0,04	0,11	0,009	< 0,03	7,3	7,9	34	18,6
07/07/2022	12h05	10	< 10	0,02	< 0,10	0,013	< 0,03	7,4	8,4	34,2	18,7
15/07/2022	09h20	< 10	< 10	0,03	< 0,10	0,047	< 0,03	7	8,4	34,7	19,9
21/07/2022	10h15	< 10	< 10	0,11	< 0,10	0,008	< 0,03	8,6	8,1	33,8	20,3
28/07/2022	09h30	< 10	< 10	0,14	0,13	0,010	< 0,03	7,9	7,8	33,9	20,3
04/08/2022	11h20	< 10	< 10	0,04	0,12	0,027	< 0,03	6,9	8,4	34,1	21,0
11/08/2022	13h30	< 10	10	0,03	0,22	< 0,005	< 0,03	7,44	8,4	34,8	22,1
18/08/2022	09h55	< 10	10	0,03	< 0,10	0,006	< 0,03	6,1	8	34,1	21,3
28/08/2022	09h45	< 10	< 10	0,06	< 0,10	0,005	< 0,03	8,3	7,9	33,9	22,1
01/09/2022	09h30	< 10	10	0,02	0,28	< 0,005	0,03	6,9	7,9	34,1	20,3
08/09/2022	10h30	20	10	0,08	0,382	< 0,005	< 0,03	6,9	8,4	34,6	20,3
15/09/2022	11h05	10	< 10	0,06	0,29	< 0,005	< 0,03	6,3	8,6	34,5	19,7
22/09/2022	10h50	< 10	< 10	0,06	0,38	0,007	< 0,03	7,9	8,5	34,3	17,6
29/09/2022	15h20	< 10	< 10	0,08	< 0,10	0,010	0,04	7,5	8,7	33,3	16,7
06/10/2022	10h22	< 10	< 10	0,11	0,26	0,013	0,05	7,5	8,1	33,5	16,6
13/10/2022	15h00	< 10	10	0,10	0,25	0,019	0,06	7,1	7,9	34,5	16,9

Contrôle des eaux du canal de rejet

date		Entérocoques intestinaux	Escherichia coli	Ammonium	Nitrates	Nitrites	Orthophosphates	Oxygène dissous	pH instantané in situ	Salinité	Température de l'eau
jour	heure	/100 mL	/100 mL	mg/L (NH4)	mg/L (NO3)	mg/L (NO2)	mg/L (PO4)	mg/L O2	/	ups	°C
27/05/2022	10h45	< 10	< 10	0,07	0,47	0,084	0,08	7,8	7,9	34	23,1
02/06/2022	08h35	< 10	< 10	0,02	0,25	0,076	0,05	8,3	7,9	33,9	24,1
09/06/2022	09h00	< 10	< 10	0,04	0,235	0,094	0,06	7,9	8	33,9	23,3
16/06/2022	10h00	< 10	< 10	0,02	< 0,10	0,033	0,04	6	8,3	34,3	25,1
23/06/2022	09h30	< 10	< 10	0,02	0,250	0,063	0,04	6	7,3	34,1	28,0
30/06/2022	10h30	< 10	< 10	0,03	0,14	0,045	0,05	6,8	8,3	33,9	25,4
07/07/2022	12h15	< 10	< 10	0,01	0,194	0,060	0,05	6,73	8,3	34,1	24,3
15/07/2022	09h40	< 10	10	< 0,01	0,31	0,029	0,04	5,9	8	34,8	26,6
21/07/2022	10h50	< 10	< 10	0,08	0,19	0,042	0,06	8,9	8	33,9	27,2
28/07/2022	09h40	< 10	< 10	0,08	0,18	0,037	0,04	8,3	7,9	34	27,2
04/08/2022	11h50	< 10	< 10	< 0,01	0,21	0,036	0,05	6,42	8,3	34,2	27,3
11/08/2022	13h50	< 10	10	0,02	0,34	0,051	0,05	6,41	8,3	34,9	27,2
18/08/2022	10h10	< 10	< 10	0,01	< 0,10	< 0,005	< 0,03	6,4	7,9	34,2	27,2
25/08/2022	09h40	< 10	< 10	0,02	0,38	0,042	0,08	6,9	7,8	33,9	26,9
01/09/2022	09h55	< 10	< 10	0,01	< 0,10	0,012	0,04	7,5	8	34	26,3
08/09/2022	08h50	< 10	< 10	0,01	< 0,10	0,008	0,03	7,2	8,5	34,7	25,7
15/09/2022	11h25	< 10	< 10	0,04	0,14	0,018	< 0,03	6,7	8,6	34,7	28,0
22/09/2022	10h20	< 10	< 10	0,03	0,14	0,031	0,04	7,4	8,6	34,4	26,8
29/09/2022	14h50	< 10	< 10	0,05	0,26	0,036	0,06	6,9	8,3	33,4	25,1
06/10/2022	10h34	< 10	< 10	0,05	0,23	0,039	0,06	7,6	8,5	33,6	24,0
13/10/2022	14h50	< 10	< 10	0,04	0,25	0,036	< 0,03	7,3	7,9	34,5	22,9

ANNEXE 4

Résultats des levées bathymétriques 2022, différentiel 2021/2022 « petite zone »

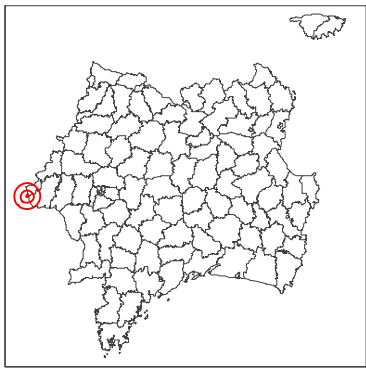


DIMENSION PRODUCTION INGENIERIE
DTG

CNPE de Gravelines Zone de rejet - Petite zone sur la Manche

État en septembre 2022

Plan d'assemblage

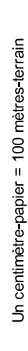


Légende



Echelle : 1 / 10000

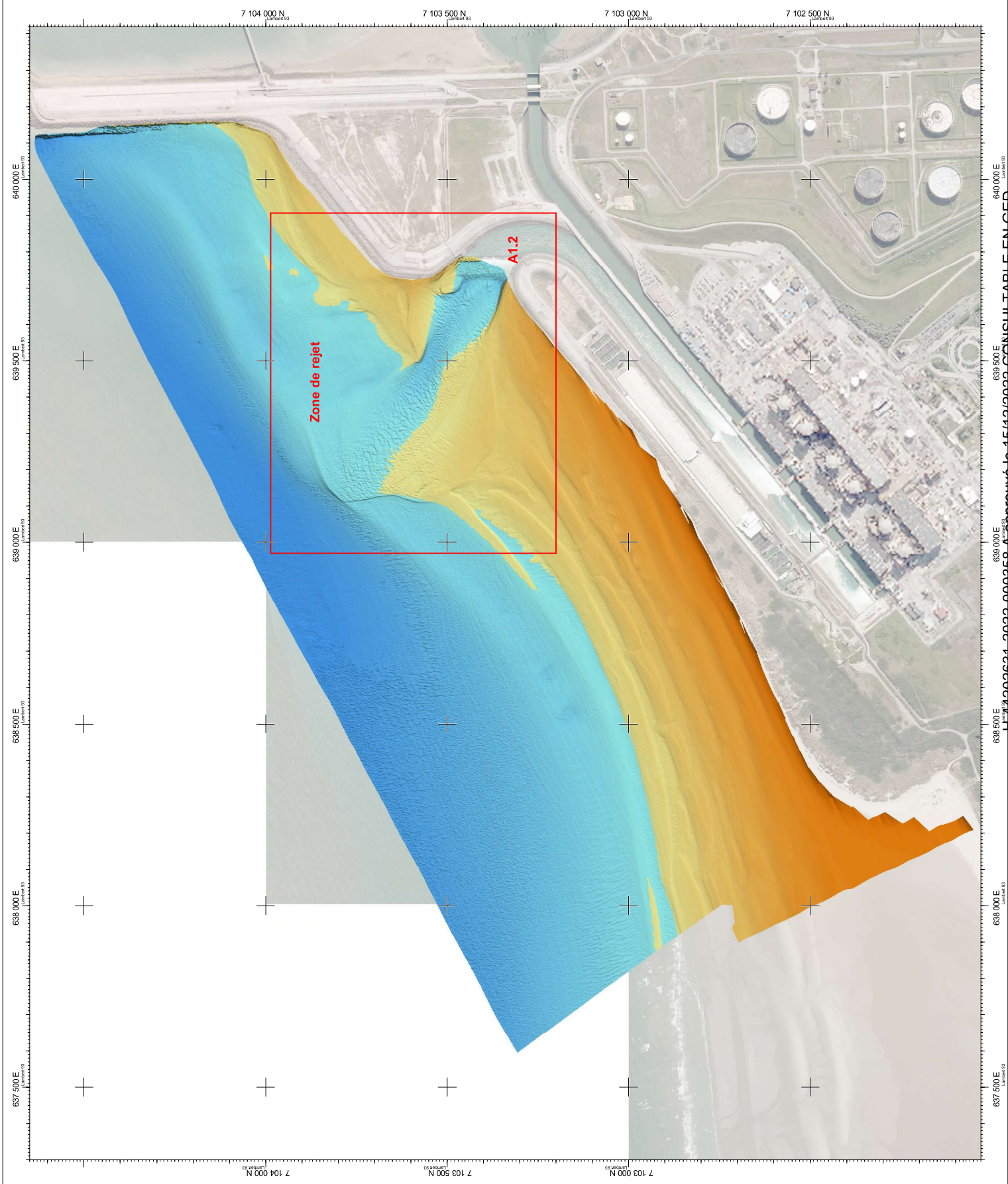
Un centimètre-papier = 100 mètres-terrain



Alt. : Références géographiques
Plani. : Lambert 93

H-44202631-2022-000358
Référence documentaire
A 1.0

Origine des données : GEOxyz
Édition du 10 novembre 2022
Paul VELUT

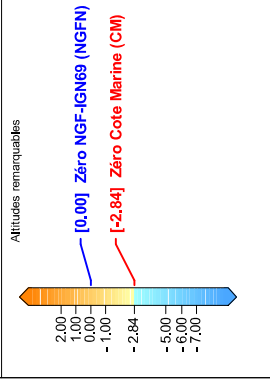
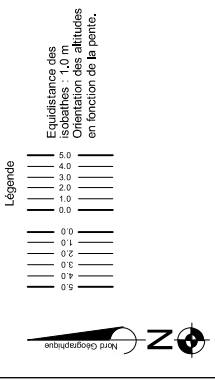
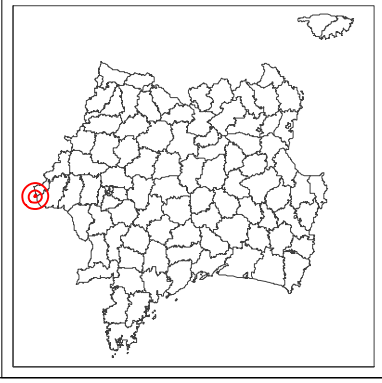


H-44202631-2022-000358 A approuvé le 15/12/2022 CONSULTABLE EN LIGNE
Édité par la Direction de l'Énergie et du Climat
Plan IGN BDORTHO®

**CNPE de Gravelines
Zone de rejet - Petite zone
sur la Manche**

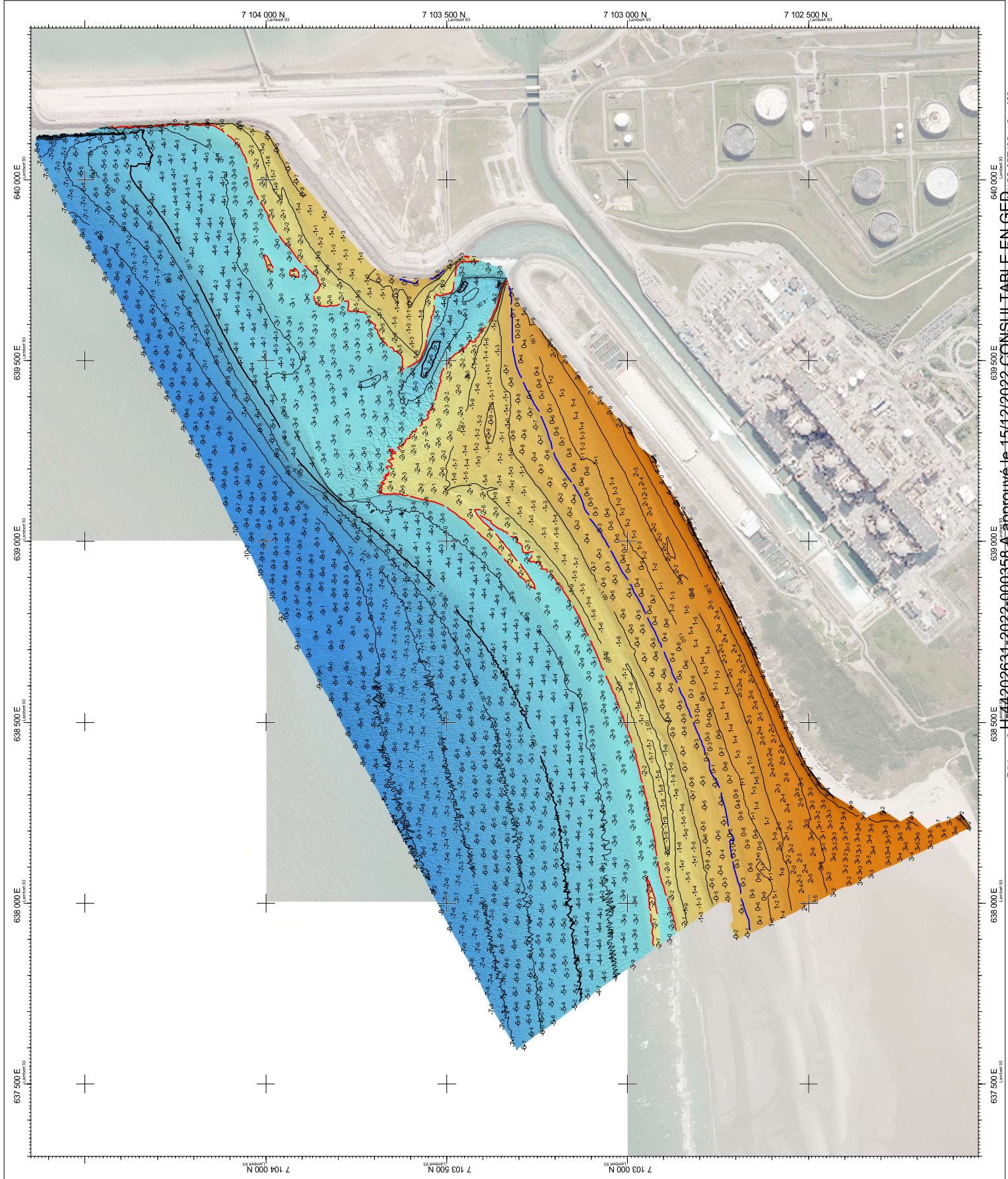
État en septembre 2022

Principales altitudes
Courbes isobathes



Echelle : 1 / 10000
Un centimètre-papier = 100 mètres-terrain

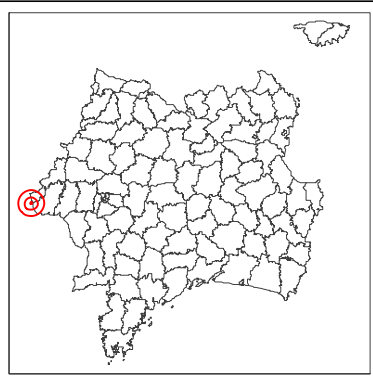
Références géographiques
Alt. : NGF IGN69 (NGFN) Plan. : Lambert 93
Alt. NGFN = Alt. CM - 2.84 m
Référence documentaire
H-44202631-2022-000358
A 1.1
Origine des données
GEOxyz
Édition du 10 novembre 2022
Paul VELUT



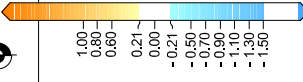
CNPE de Gravelines Zone de rejet - Petite zone sur la Manche

Evolution entre sept 2021 et sept 2022

Principales différences d'altitudes



Légende



Altitudes remarquables

Echelle : 1 / 10000



Un centimètre-papier = 100 mètres-terrain

Alii. : Aucune

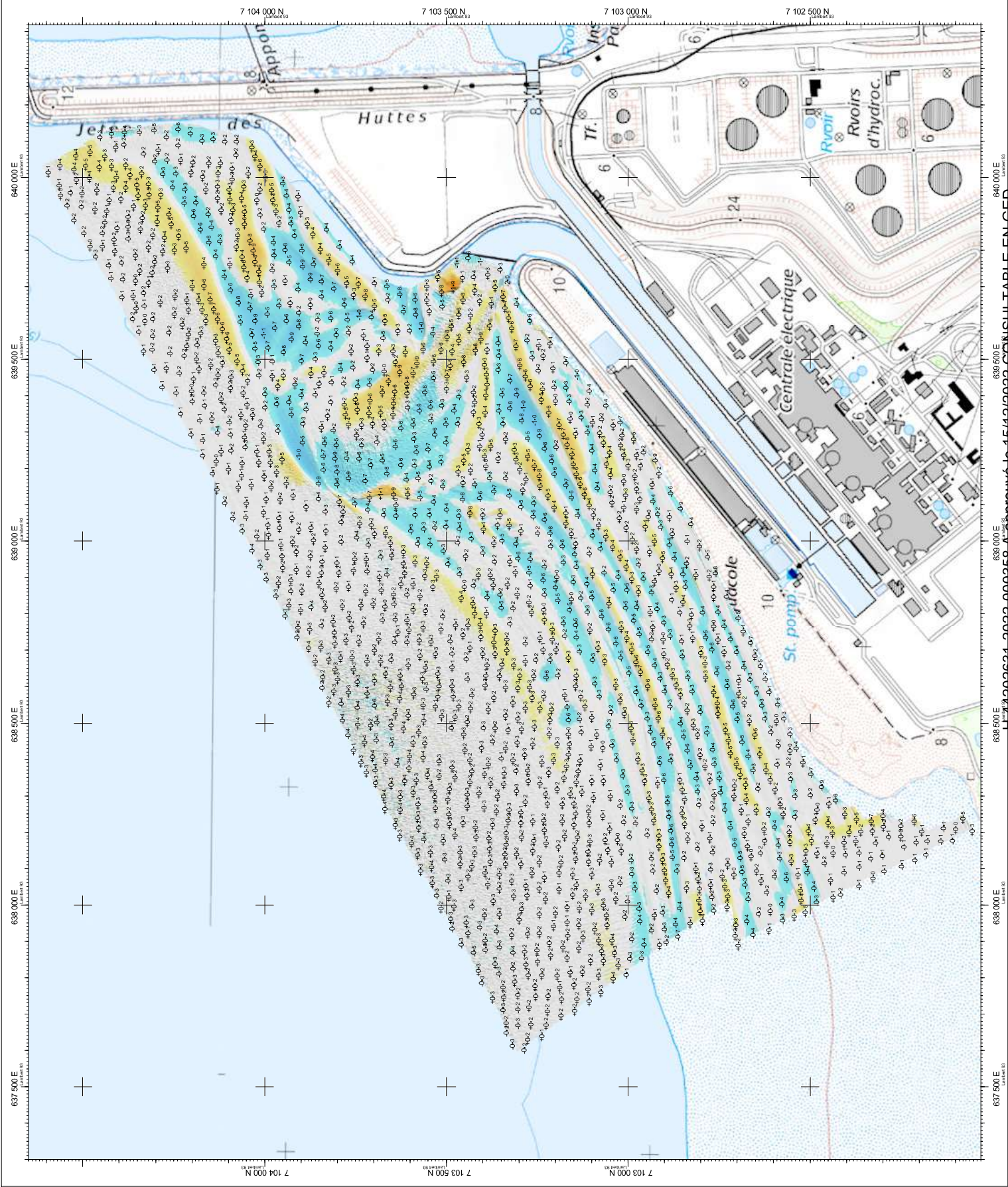
Références géographiques
Plani. : Lambert 93

H-44202631-2022-000358

Référence documentaire
A 2.1

Origine des données
GEOxyz

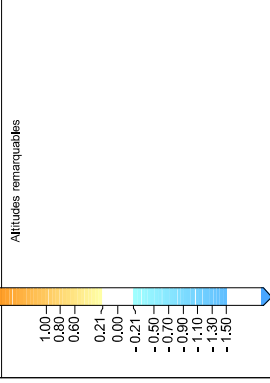
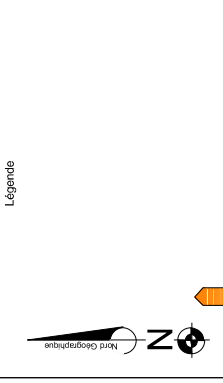
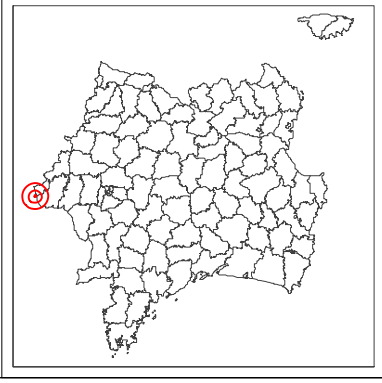
Édition du 10 novembre 2022
Paul VELUT



CNPE de Gravelines
Zone de rejet - Petite zone
sur la Manche

Évolution entre sept 2021 et sept 2022

Principales différences d'altitudes
Courbes isobathes différentielles



Echelle : 1 / 3000
Un centimètre-papier = 30 mètres-terrain



639 750 E
639 600 E
639 450 E
639 300 E
639 150 E
Lambert 93
Édité avec CartesMagis
H-44202631-2022-000358 A approuvé le 15/12/2022 CONSULTABLE EN LIGNE
639 750 E
639 600 E
639 450 E
639 300 E
639 150 E
Lambert 93
Édité avec CartesMagis
© IGN, BRUNO BOIRTHO et eScanz®

ANNEXE 5

Rapport du Prévisionnel de prélèvement et consommation d'eau et de rejets du CNPE pour l'année 2022

Prévisionnel de prélèvement et consommation d'eau et de rejets
pour l'année 2022 du CNPE de Gravelines

28 janvier 2022

1. Sommaire

1. Sommaire.....	2
2. Introduction.....	2
3. Les prélèvements et consommations d'eau.....	3
4. Les rejets.....	4
4.1 Les rejets radioactifs.....	4
4.1.1 Les rejets radioactifs gazeux.....	7
4.1.2 Les rejets radioactifs liquides.....	8
4.2 Les rejets chimiques.....	10
4.2.1 Substance chimique utilisée pour le contrôle de la réaction nucléaire.....	11
4.2.2 Substances chimiques utilisées pour le conditionnement des circuits.....	12
4.2.3 Substances chimiques utilisées pour le conditionnement des circuits.....	14
4.2.4 Substances chimiques issues de la production d'eau déminéralisée.....	14
4.2.5 Substances chimiques issues du traitement des eaux usées du site.....	14
4.2.6 Substances chimiques issues du traitement biocide circuit de refroidissement par électrochloration.....	14

2. Introduction

L'article 4.4.3-I de l'arrêté du 7 février 2012 modifié (dit « arrêté INB »), dispose qu' « à partir de la programmation des activités ou des opérations susceptibles de provoquer des rejets d'effluents*, l'exploitant définit annuellement une prévision chiffrée des prélèvements et consommations d'eau et des rejets d'effluents auxquels il compte procéder. »

Conformément à ce même article, « cette prévision est communiquée à l'Autorité de sûreté nucléaire et à la commission locale d'information au plus tard le 31 janvier de chaque année. »

Depuis le début de l'année 2019, le CNPE de Gravelines est soumis aux prescriptions des décisions suivantes réglementant les prélèvements et rejets du site :

- La Décision n°2017-DC-0588 du 6 avril 2017 dite « décision Modalités Parc »,
- La Décision n°2018-DC-0647 du 16 octobre 2018 dite « décision Modalités Site »,
- La Décision n°2018-DC-0646 du 16 octobre 2018 dite « décision Limites Site ».

Ces trois décisions remplacent l'arrêté du 7 novembre 2003.

En application des exigences réglementaires ci-dessus, ce document présente, en tenant compte du programme des activités et des opérations susceptibles de provoquer des rejets, et sur la base des éléments prévisibles et connus à la date de sa publication, une prévision chiffrée des prélèvements et consommations d'eau et des rejets d'effluents encadrés par la réglementation pour l'année 2022 pour le CNPE de Gravelines.

A noter que certains paramètres de cette prévision sont soumis à des facteurs extérieurs difficilement prévisibles, tels que les conditions climatiques par exemple.

En application de l'article 3.2.7 de la décision ASN 2013-DC-0360 modifiée, une nouvelle règle de comptabilisation est appliquée pour la comptabilisation des rejets de substances chimiques des CNPE. Cette nouvelle règle, spécifique aux INB, consiste à comptabiliser une quantité rejetée égale à la limite de quantification divisée par deux quand la mesure est en dessous de la limite de quantification des moyens métrologiques. La conséquence de l'application de cette règle est une possible sur-évaluation peu maîtrisable des rejets de substances chimiques, dont la prise en compte depuis 2015 peut introduire certaines incertitudes supplémentaires sur les prévisions. En effet, indépendamment de l'évolution des rejets réels, les quantités comptabilisées peuvent augmenter avec le nombre de mesures réalisées, si elles sont majoritairement inférieures aux limites de quantification.

Les termes techniques, suivis d'un astérisque (*), sont précisés dans le lexique en fin de document.

3. Les prélèvements et consommations d'eau

Le refroidissement des condenseurs* et des circuits auxiliaires est assuré par de l'eau brute prélevée en mer constituant la « source froide ». Les quantités d'eau prélevées sont fonction du type de circuit de refroidissement. Le circuit de refroidissement du CNPE de Gravelines fonctionne en circuit ouvert : l'eau prélevée au milieu parcourt l'intérieur des tubes du condenseur en s'échauffant à leur contact puis retourne directement au milieu aquatique.

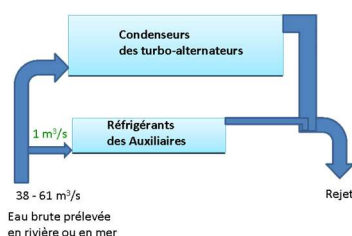


Fig. 1 : Schéma simplifié d'une unité de production refroidie en circuit ouvert

Les eaux industrielles et domestiques proviennent d'un réseau de distribution.

A partir de 2022, le CNPE prélèvera de l'eau en nappe dans le cadre des essais de mise en service de quatre puits de pompage pour l'installation d'appoint ultime en eau.

La prévision de prélèvement et consommation d'eau peut être évaluée de la façon suivante en tenant compte du programme prévisionnel de production et d'arrêt de tranche de la centrale pour l'année 2022 :

- Prélèvements en mer : **6 100 000** milliers de m³
- Prélèvements d'eaux de réseaux de distribution : **850** milliers de m³
- Prélèvements d'eau de nappe : **35** milliers de m³

4. Les rejets

L'exploitation d'une centrale nucléaire entraîne la production d'effluents radioactifs et chimiques. Chaque centrale est équipée de dispositifs de collecte, de traitement et de contrôle des effluents avant rejet. Par ailleurs, une gestion optimisée des effluents est mise en place. Elle consiste à :

- réduire à la source la production d'effluents, notamment par le recyclage,
- éliminer les rejets des substances radioactives ou chimiques au moyen de traitements appropriés,
- valoriser, si possible, les résidus de traitement.

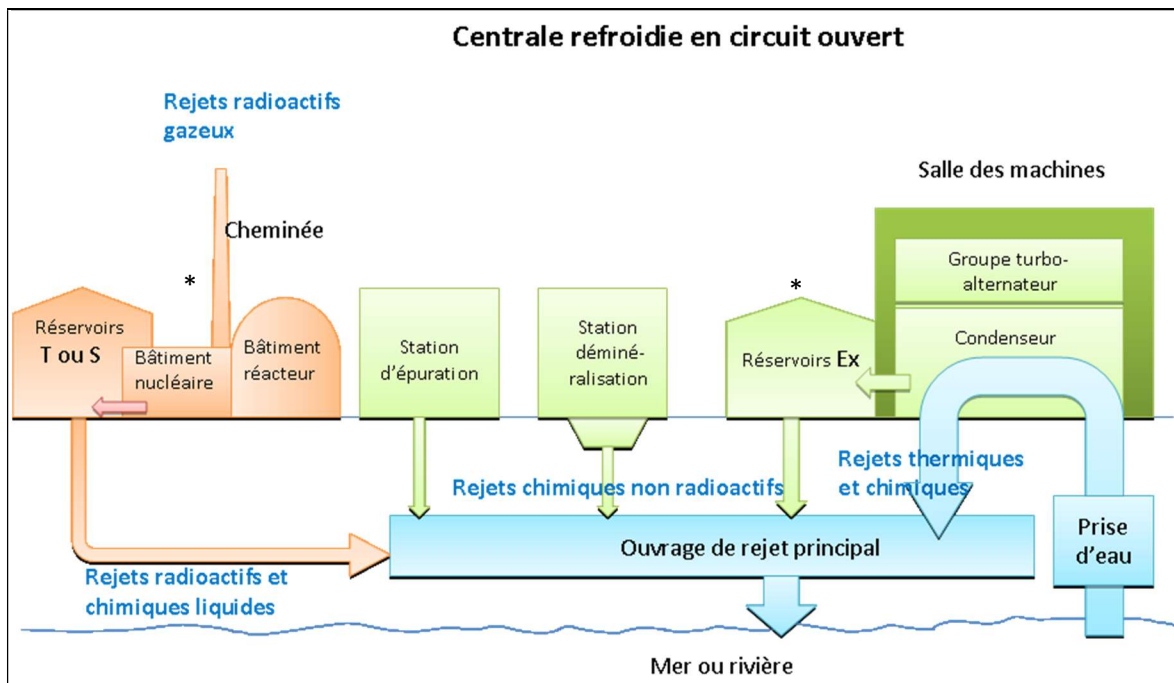


Fig. 2 : Schéma de principe des circuits de rejets d'une centrale nucléaire

4.1 Les rejets radioactifs

En fonctionnement normal, le réacteur nucléaire est le siège de la formation d'éléments radioactifs (produits de fission, produits d'activation) dont seule une infime partie se retrouve dans les effluents gazeux et liquides rejetés dans l'environnement. Qu'ils soient rejetés par voie atmosphérique (à la cheminée) ou par voie liquide (vidange de réservoirs), les effluents radioactifs sont systématiquement collectés et traités selon leur nature afin de retenir l'essentiel de leur radioactivité. Leur rejet est contrôlé par des analyses préalables ainsi qu'au moyen de dispositifs de mesure de la radioactivité en continu pendant le rejet :

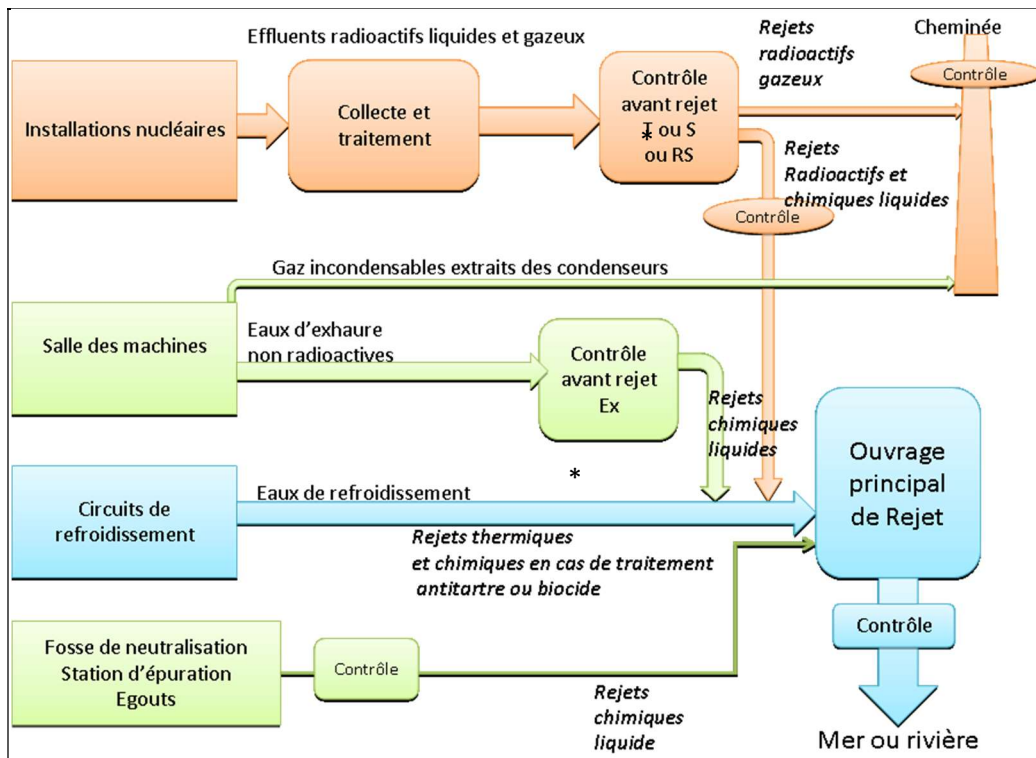


Fig. 3 : Collecte, traitement et contrôle des effluents (radioactifs et/ou chimiques) : principe

Depuis la mise en exploitation des premières centrales dans les années 1980, des améliorations ont été apportées aux systèmes de collecte et de traitement des effluents, et une gestion optimisée a été mise en œuvre tant en phase de fonctionnement qu'en phase d'arrêt pour maintenance ou renouvellement du combustible.

Par ces actions conjuguées, les rejets d'activité de gaz rares ont été réduits de plus d'un facteur 50 et les rejets liquides hors tritium et carbone 14 l'ont été de plus d'un facteur 100. Les rejets radioactifs ont ainsi atteint un niveau qualifié de « plancher » traduisant la volonté de l'exploitant d'agir pour réduire les rejets d'effluents « aussi bas que raisonnablement possible, compte tenu des aspects économiques et sociaux », en vertu du principe d'optimisation.

NB : les radionucléides retenus par les systèmes de traitement des effluents liquides et gazeux sont évacués vers le Centre de stockage de l'ANDRA sous forme de déchets solides.*

Parmi les substances radioactives susceptibles d'être présentes dans les effluents en fonctionnement normal, on distingue :

- les produits créés dans le combustible par fission* des atomes d'uranium ou de plutonium. Les radionucléides dits produits de fission (PF), tels que les iodés 131 et 133, les césiums 134 et 137, le krypton 85, le tritium, le carbone 14, le strontium 90 restent en quasi-totalité confinés dans le combustible. Ils peuvent toutefois migrer dans l'eau du circuit primaire*, en fonction des caractéristiques d'étanchéité du gainage du combustible, et donc se retrouver dans les effluents.
- les produits créés à l'extérieur du combustible par l'action des neutrons de fission sur les structures en acier du réacteur (cuve, tuyauteries, grappes de commandes ou sources de neutrons) ainsi que sur les éléments chimiques contenus dans l'eau du circuit primaire, tels que le bore et le lithium. On les appelle les produits d'activation (PA) dont les principaux sont les cobalts 58 et 60, le manganèse 54, l'antimoine 124, l'argent 110m mais aussi le tritium et le carbone 14.

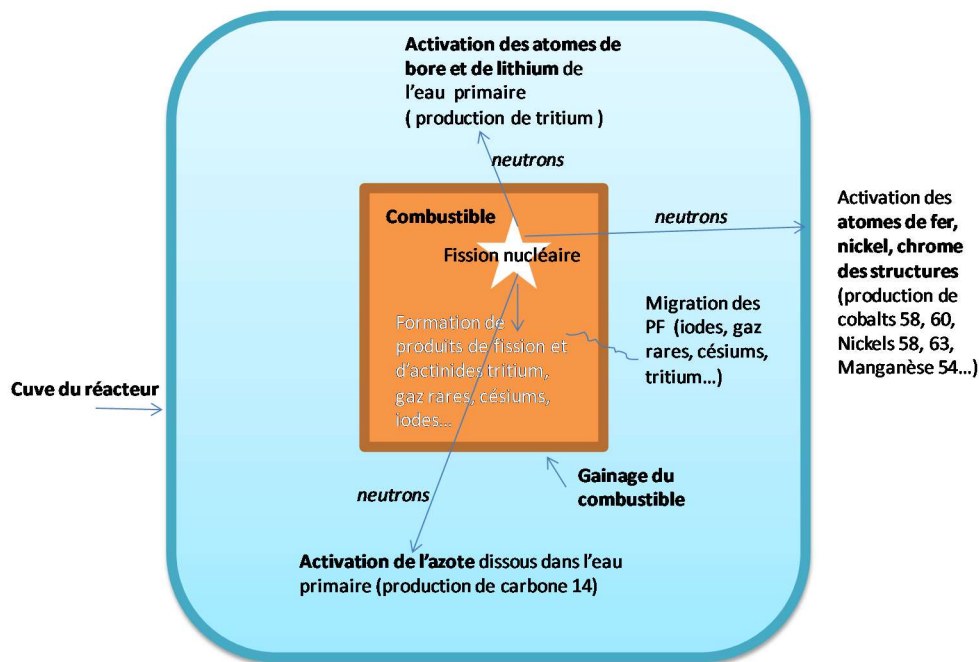


Fig.4 : Produits de fission et produits d'activation dans l'eau du circuit primaire

La comptabilisation des rejets par catégories de radionucléides est établie sur la base des mesures réalisées dans le cadre des contrôles réglementaires et des règles de comptabilisation fixées par l'administration (cf. encart).

Règles de comptabilisation des rejets radioactifs :

Ces règles s'appuient sur la définition de « spectres de référence », en fonction du type de rejet (liquide : réservoir T, réservoir Ex ; gazeux : rejets permanents ou ponctuels...). Ces spectres consistent en une liste de radionucléides généralement identifiés dans plus de 90% des analyses. Des radionucléides, présents à l'état de trace comme l'iode figurent également dans cette liste pour des raisons historiques.

Tous les radionucléides détectés sont systématiquement comptabilisés, mais les radionucléides appartenant aux spectres de référence sont comptabilisés au seuil de décision même s'ils n'ont pas été physiquement détectés. En conclusion, **si ces radionucléides ne sont pas détectés, ils sont néanmoins comptabilisés comme ayant une activité volumique égale au « seuil de décision », ce qui a pour effet de majorer les rejets.**

Impact de ces rejets radioactifs

L'impact des rejets radioactifs exprimé en dose (unité : le Sievert, Sv) est calculé avec des modèles de transfert des radionucléides dans l'environnement. La personne du public la plus exposée aux rejets radioactifs du CNPE reçoit une dose de rayonnement représentant moins de 0,01 mSv par an (0,00001 Sv/an) que l'on peut comparer à la limite réglementaire fixée à 1 mSv par an pour les expositions d'origine artificielle pour le public. Cette dose est inférieure aux fluctuations naturelles de la radioactivité en France (quelques mSv/an) et se situe bien en-deçà du niveau d'exposition moyen dû à la radioactivité naturelle, à savoir 2,4 mSv/an en France.

4.1.1 Les rejets radioactifs gazeux

Les cinq catégories de radionucléides réglementées dans les rejets gazeux sont : les gaz rares, le tritium gazeux, le carbone 14 gazeux, les iodures et les produits de fission (PF) et produits d'activation (PA).

- Les gaz rares (krypton, xénon) : ce sont des gaz inertes, ils ne sont donc pas retenus par les systèmes de filtration (filtres très haute efficacité THE et pièges à iodures). Ces rejets peuvent varier en fonction des caractéristiques d'étanchéité du gainage du combustible.

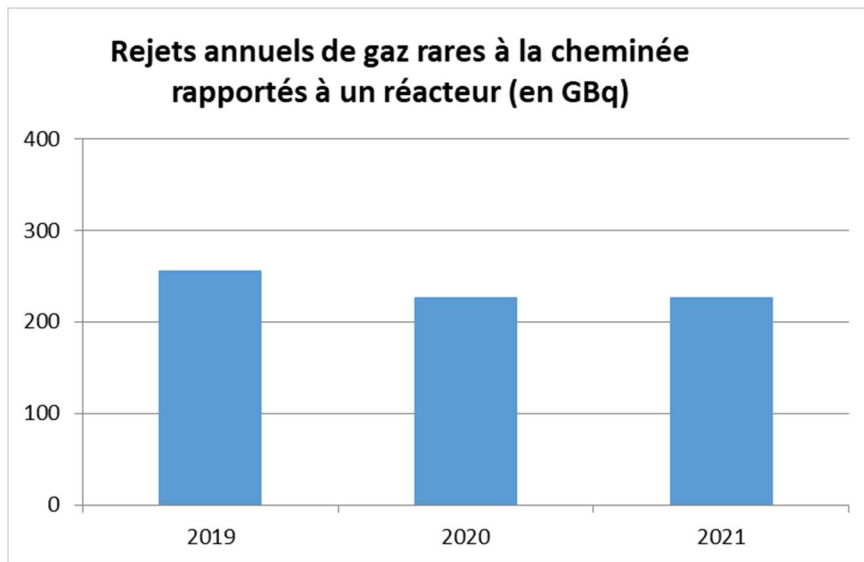


Fig. 5 : Historique des rejets annuels de **gaz rares** à la cheminée rapporté à un réacteur

- Le tritium gazeux. Il provient de l'évaporation au niveau des piscines de stockage du combustible ainsi que du dégazage de l'eau du circuit primaire. En effet, l'activation du bore 10 et du lithium 6 produit du tritium.

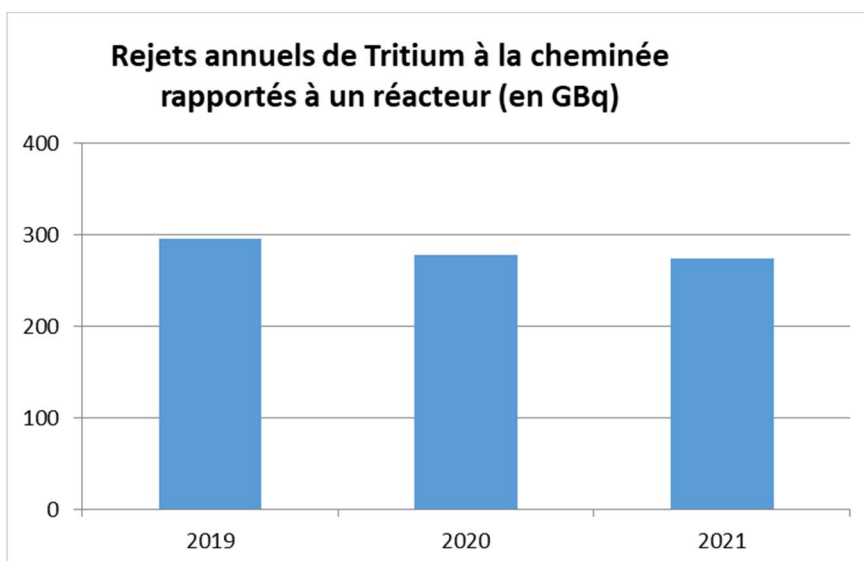


Fig. 6 : Historique des rejets annuels de **tritium gazeux** à la cheminée rapporté à un réacteur

- Le carbone 14 est essentiellement rejeté à la cheminée sous la forme de méthane (CH₄) et de gaz carbonique (CO₂). Le carbone 14 est mesuré sur un prélèvement réalisé par un tamis moléculaire.
- Les rejets d'iodes sont infimes compte tenu du bon confinement des circuits nucléaires et de l'efficacité des systèmes de piégeage en cas de fuite. Ces rejets sont généralement inférieurs à 0,1 GBq/réacteur, mais peuvent varier en fonction des caractéristiques d'étanchéité du gainage du combustible.
- Les rejets de produits de fission (PF) et de produits d'activation (PA) émetteurs β ou γ, présents sous forme de poussières (aérosols), sont, comme les rejets d'iodes, extrêmement faibles.

La prévision de rejets radioactifs gazeux pour l'ensemble du site peut être évaluée de la façon suivante en tenant compte de la connaissance des caractéristiques de l'étanchéité du combustible et du programme prévisionnel de production et d'arrêt de tranche de la centrale pour l'année 2022 :

- Rejets de gaz rares : **3 000** GBq
- Rejets gazeux de tritium : **2 200** GBq
- Rejets gazeux de carbone 14 : **1 200** GBq
- Rejets gazeux d'iodes : **0,10** GBq
- Rejets gazeux d'autres produits de fission et d'activation¹ : **0,01** GBq

4.1.2 Les rejets radioactifs liquides

Les rejets radioactifs liquides effectués par la vidange des réservoirs (T) ou (S) représentent un volume annuel moyen par unité de production de 13 000 m³ environ (cf. fig. 7).

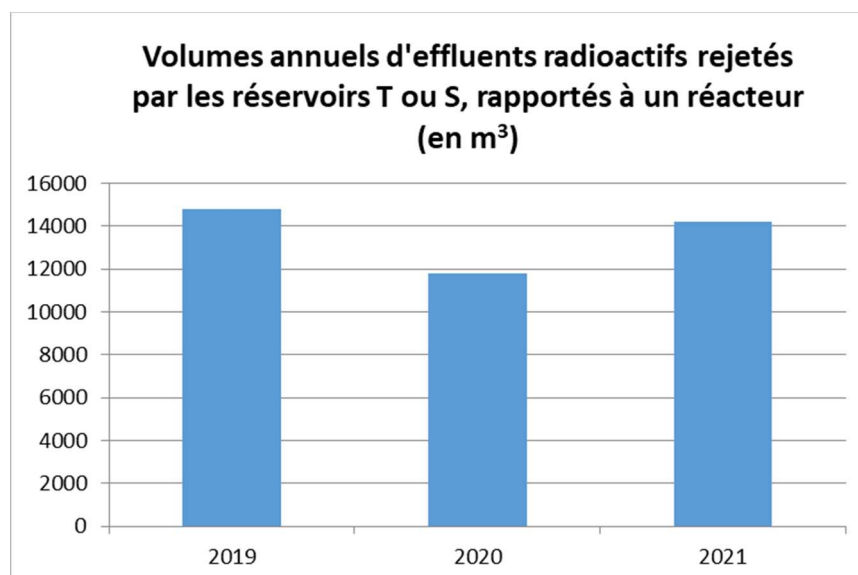


Fig. 7 : Historique des volumes annuels d'effluents radioactifs rejetés par les réservoirs T ou S, rapporté à un réacteur

¹ Les radionucléides pris en compte dans les « autres produits de fission et d'activation » sont : Mn54, Co58, Ni63, Co60, Ag110m, Te123m, Sb124, Sb125, Cs134, Cs137.

La déclaration des activités rejetées est établie, par catégories de radionucléides, sur la base des mesures réalisées dans le cadre des contrôles réglementaires et des règles de comptabilisation fixées par l'Administration.

- Le tritium du circuit primaire se retrouve dans les effluents sous forme d'eau tritiée. Ne pouvant pas être éliminé par traitement contrairement à d'autres radionucléides, étant très peu radiotoxique (émetteur bêta de faible énergie) et étant présent en faible concentration, le tritium est rejeté dans l'environnement. L'historique des rejets de tritium liquide du CNPE sont présentés dans la figure 8.

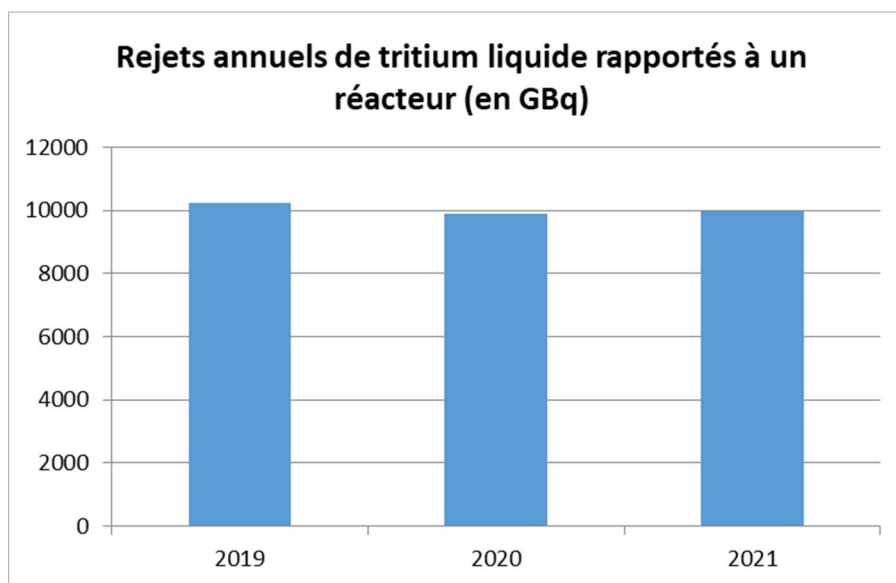


Fig. 8 : Historique des rejets annuels de **tritium liquide**, rapporté à un réacteur

- Le carbone 14 est présent dans les effluents sous forme de CO₂ dissous.
- Les rejets d'iodes sont infimes compte tenu du bon confinement des circuits nucléaires et de l'efficacité des systèmes de piégeage en cas de fuite. Cependant, ils peuvent varier en fonction des caractéristiques d'étanchéité du gainage du combustible.
- Les produits de fission (PF) et d'activation (PA) sont éliminés en grande partie par les systèmes de traitement. Les rejets d'activité de ces radionucléides par unité de production ont diminué d'un facteur 100 depuis la mise en service du parc nucléaire d'EDF. Les améliorations apportées aux circuits de collecte et de traitement et les efforts réalisés par l'exploitant pour réduire à la source la production d'effluents expliquent ce résultat.

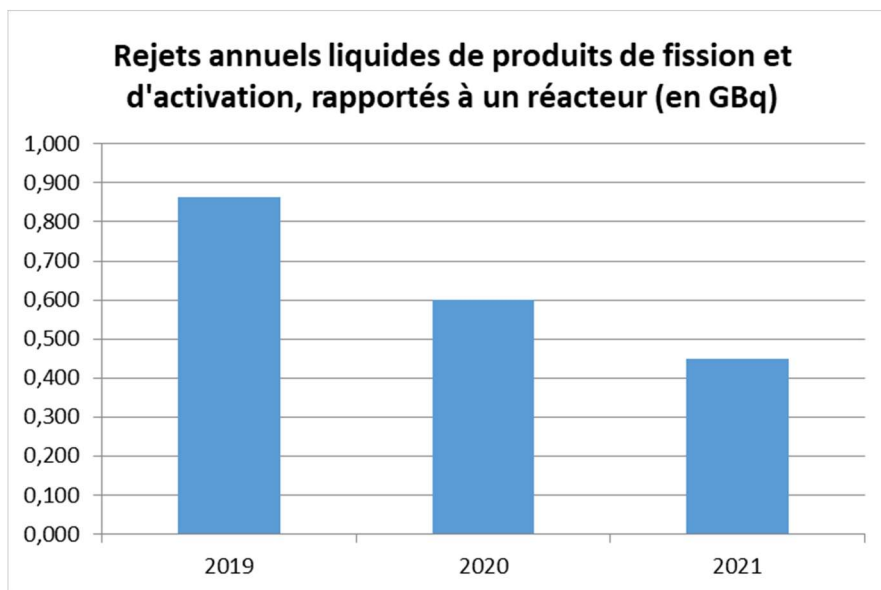


Fig. 9 Historique des rejets annuels de **produits de fission et d'activation**, rapporté à un réacteur

La prévision de rejets radioactifs liquides pour l'ensemble du site peut être évaluée de la façon suivante en tenant compte de la connaissance des caractéristiques d'étanchéité du gainage du combustible et du programme prévisionnel de production et d'arrêt de tranche de la centrale pour l'année 2022 :

- Rejets liquides de tritium : **84 000** GBq
- Rejets liquides de carbone 14 : **50** GBq
- Rejets liquides d'iodes : **0,05** GBq
- Rejets liquides d'autres produits de fission et d'activation : **3,30** GBq

4.2 Les rejets chimiques

Le fonctionnement d'une centrale nucléaire nécessite l'utilisation de substances chimiques et donne lieu à des rejets chimiques par voie liquide dans l'environnement et, dans une moindre mesure, à des rejets gazeux non radioactifs.

Chaque substance chimique assure une fonction bien précise tant en phase d'exploitation (contrôle de la réaction nucléaire, protection des circuits contre la corrosion, lutte contre le tartre et le développement de micro-organismes, production d'eau déminéralisée...), que lors des opérations de maintenance (lessivage chimique, détartrage...).

Les eaux issues du circuit secondaire* (non radioactif) et les eaux des puisards des salles des machines contiennent des substances chimiques utilisées pour le conditionnement du circuit secondaire contre la corrosion telles que l'éthanolamine et l'hydrazine.

4.2.1 Substance chimique utilisée pour le contrôle de la réaction nucléaire

L'acide borique (H_3BO_3), en solution dans l'eau du circuit primaire, participe, avec les grappes de commande, au contrôle de la réaction nucléaire. Seul le bore 10, isotope* présent à hauteur de 20% environ dans le bore naturel, permet d'absorber les neutrons en formant du tritium (radioactif) ou du lithium 7 (stable). C'est un acide faible qui se retrouve dans les effluents radioactifs lorsqu'il est déchargé du circuit primaire. La concentration en bore dans l'eau du circuit primaire varie au cours du cycle de fonctionnement du réacteur². La teneur en bore en début de cycle est déterminée en fonction de paramètres neutroniques et de la longueur de cycle souhaitée. Sa concentration est ensuite progressivement abaissée, au cours du cycle, pour compenser l'épuisement du combustible ; elle évolue, à titre d'exemple, de 1 200 mg/kg (ppm) en début de cycle à presque 0 mg/kg (ppm) en fin de cycle (cf. fig.10).

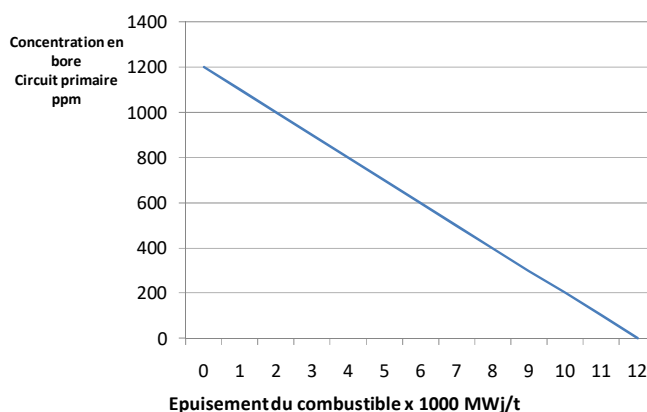


Fig. 10 : Evolution de la concentration en bore en fonction de l'épuisement du combustible

Réduction des rejets d'acide borique (cf. fig. 11) : Une partie des effluents radioactifs borés issus du circuit primaire peuvent être, après traitement, recyclés, c'est-à-dire réutilisés comme eau d'appoint au circuit primaire. Mais le recyclage se heurte à des difficultés en raison de la teneur en silice présente à l'état de trace dans l'effluent à recycler. Comme celui-ci subit un traitement sur évaporateur qui concentre l'acide borique mais aussi la silice, la teneur en silice dans l'eau à recycler peut atteindre la limite fixée par les spécifications radiochimiques définies pour l'eau d'appoint au réacteur. Dans ce cas, le recyclage de l'eau borée n'est pas possible, elle doit donc être rejetée. C'est ce qui explique en grande partie les variations des rejets d'acide borique. Sur le CNPE de Gravelines, ce processus de désiliciage est en cours depuis plusieurs années, expliquant les rejets plus élevés en acide borique en particulier depuis 2019, et se poursuivra en 2022.

L'acide borique non recyclé est soit rejeté sous forme liquide, soit enfûté en coque béton ou incinéré à l'usine Centraco de Marcoule comme un déchet radioactif.

² Cycle de fonctionnement : un réacteur à eau sous pression doit être rechargé en combustible périodiquement. La durée de fonctionnement du réacteur entre deux rechargements de combustible est appelée « cycle de fonctionnement » ; il peut varier de 12 mois à 18 mois.

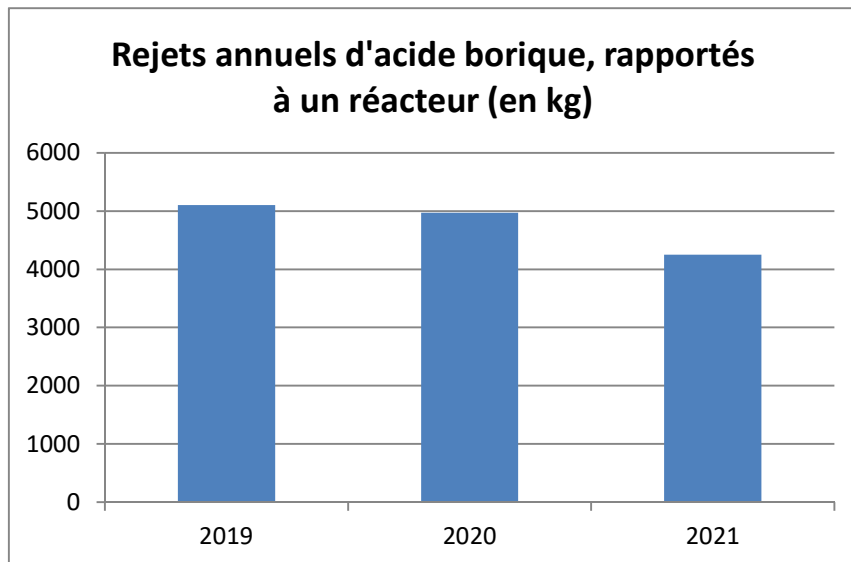


Fig. 11 : Historique des rejets annuels d'acide borique, ramenés à une unité de production

4.2.2 Substances chimiques utilisées pour le conditionnement des circuits

- *Conditionnement chimique du circuit primaire*

La Lithine (LiOH) est utilisée en faible quantité (quelques dizaines de kilos par an et par réacteur) pour assurer un pH de moindre corrosion des structures métalliques du circuit primaire. La lithine est enrichie en lithium 7 (>99.9%) pour éviter la formation de tritium par activation du lithium 6 présent dans lithium naturel.

L'hydrazine (N_2H_4) est injectée, sous forme d'hydrate d'hydrazine (N_2H_4OH), pendant la phase de démarrage du réacteur (palier chimique) afin d'éliminer toute trace d'oxygène dissous dans l'eau du circuit primaire.

- *Conditionnement du circuit secondaire (eau-vapeur) en fonctionnement*

Le conditionnement du circuit secondaire vise à éviter la corrosion des matériels par l'utilisation de substances chimiques choisies pour leur efficacité mais aussi pour leur moindre impact sur la santé et l'environnement.

- L'hydrazine (N_2H_4) est une base faible utilisée en fonctionnement et, en arrêt de tranche, pour la conservation en eau des matériels. Elle permet de minimiser la corrosion des matériaux en réagissant avec l'oxygène dissous dans l'eau. Injectée sous forme d'hydrate d'hydrazine ($N_2H_4.H_2O$), l'hydrazine se décompose en ammoniac (NH_4OH) qui joue un rôle sur le pH de l'eau du circuit secondaire. L'hydrazine agit donc tant sur l'oxygène dissous que sur le pH de l'eau du circuit.

Élimination de l'hydrazine : Lorsque la centrale est en fonctionnement, l'hydrazine du circuit secondaire (eau-vapeur) chemine par les purges des circuits jusqu'aux réservoirs d'entreposage T ou Ex de stockage avant rejet. Dans ces réservoirs, l'hydrazine se décompose au contact de l'oxygène de l'air ambiant. De ce fait, les rejets d'hydrazine sont faibles (quelques kilos par réacteur et par an). En arrêt de tranche, le conditionnement à l'hydrazine des générateurs de vapeur (côté secondaire) et

du poste d'eau pouvait être à l'origine de rejets plus importants (jusqu'à quelques dizaines de kilos d'hydrazine par jour) lors de la vidange des circuits. Pour réduire ces rejets, les actions suivantes ont été engagées :

- le poste d'eau peut être conservé à sec sous air chaud après avoir été vidangé en début d'arrêt de tranche alors que la teneur en hydrazine dans le circuit est faible (environ 0,1 mg/L),
- l'hydrazine des effluents produits par la vidange des générateurs de vapeur en fin d'arrêt (300 et 400 m³ à la concentration de quelques centaines de mg/L) est éliminée en quasi-totalité dans les réservoirs d'entreposage par un bullage à l'air comprimé ou par la mise en brassage prolongé des réservoirs. Par ailleurs, les matériels (pompes d'injection,...) véhiculant de l'hydrazine concentrée font l'objet d'une attention particulière afin de déceler toute fuite de produit et d'y remédier. Les rejets d'hydrazine représentent ainsi au total moins d'un kilogramme par réacteur et par an (cf. fig 12).

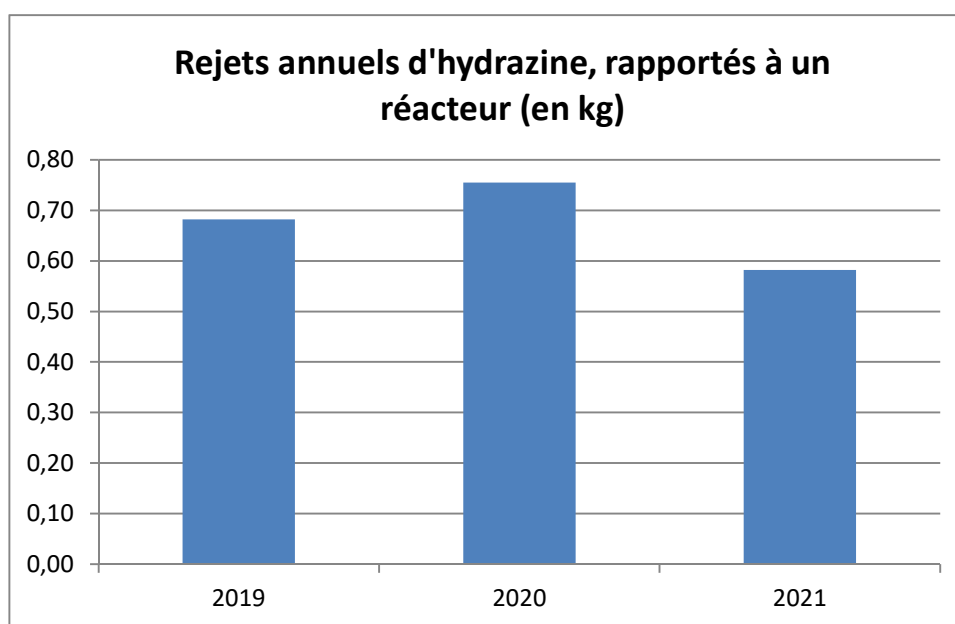


Fig. 12 : Historique de rejets annuels d'hydrazine, ramenés à une unité de production

- L'éthanolamine (C₂H₇NO) est une amine volatile qui peut être employée pour maintenir le bon pH dans le circuit secondaire. Elles complètent l'action de l'hydrazine. Le conditionnement du circuit secondaire fait l'objet de spécifications chimiques. Celles-ci sont établies en tenant compte notamment de la nature des matériaux à protéger contre la corrosion (acier noir, acier inoxydable, alliage cuivreux) mais aussi des questions d'environnement, car ces substances et leurs dérivés se retrouvent en partie dans les rejets. L'éthanolamine constitue une alternative intéressante à la morpholine, utilisée précédemment, en particulier pour la protection des pièces internes des générateurs de vapeur et des purges des sècheurs-surchauffeurs de la turbine. En 2017, le site de Gravelines a terminé son passage d'un conditionnement en morpholine à un conditionnement en éthanolamine.

Les **métaux** que l'on peut rencontrer dans les rejets liquides associés aux effluents radioactifs sont ceux qui entrent dans la composition des aciers dont sont constitués les circuits (fer, manganèse, nickel, chrome) et dans certains équipements (zinc, cuivre, aluminium et plomb). Ils sont présents à l'état de traces dans les réservoirs et proviennent de la corrosion et de l'érosion des circuits. Le bon conditionnement chimique est un paramètre

majeur pour en limiter la production. Malgré la filtration et le traitement des effluents sur résines échangeuses d'ions, une faible quantité de ces métaux se retrouve dans les réservoirs de rejet.

- *Conditionnement des circuits de refroidissement intermédiaires*
 - Le phosphate trisodique (Na_3PO_4) est utilisé pour le conditionnement des circuits de refroidissement intermédiaires. Ces circuits sont dits « intermédiaires » car ils assurent l'échange de chaleur entre un circuit radioactif (circuit primaire par exemple) et un circuit d'eau brute ouvert sur l'environnement. En cas d'inétanchéité des échangeurs, ce circuit intermédiaire peut être contaminé en particulier par le tritium. Lorsque la radioactivité du circuit dépasse la limite des spécifications radiochimiques, une intervention pour réparation doit être entreprise. L'eau du circuit peut également être le siège d'une carbonatation du fait de la présence de gaz carbonique dans l'air du réservoir tampon. Dans les deux cas, une vidange du circuit est nécessaire, ce qui produit des effluents phosphatés.

4.2.3 Substances chimiques utilisées pour le conditionnement des circuits

Le lavage du linge utilisé par le personnel en zone contrôlée fait appel à des lessives commerciales. Les fabricants de lessive sont tenus, par le cahier des charges, de fournir des lessives biodégradables, exemptes de phosphates et produits chélatants tels que l'EDTA et le NTA. Les effluents issus du linge sont filtrés ce qui permet de retenir la radioactivité mais pas les détergents. Ces effluents ainsi traités sont ensuite aiguillés vers les réservoirs T de contrôle avant rejet. Les quantités de détergents rejetées varient en fonction du volume de linge lavé. Elles peuvent atteindre en pointe environ 250 kg par jour ramenés à une unité de production.

4.2.4 Substances chimiques issues de la production d'eau déminéralisée

Les ateliers de traitement d'eau industrielle pour la production d'eau déminéralisée produisent des effluents lors de la régénération des chaînes de déminéralisation. Les effluents de régénération sont composés essentiellement de sulfates. Ils sont aiguillés vers la fosse de neutralisation pour y être analysés et, le cas échéant, neutralisés avant rejet.

4.2.5 Substances chimiques issues du traitement des eaux usées du site

Les eaux usées d'origine domestique (sanitaires, eaux vannes) sont collectées par un réseau particulier puis dirigés en fonction de leur position sur le site vers l'une des 10 micro-stations d'épuration (appelés miniblocs) avant rejet dans le réseau d'eaux pluviales. Le traitement est assuré biologiquement par culture bactérienne et oxygénation. Les eaux épurées sont renvoyées dans le réseau d'eaux pluviales et contrôlées avant rejet tandis que les boues récupérées sont éliminées comme déchets.

4.2.6 Substances chimiques issues du traitement biocide circuit de refroidissement par électrochloration

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. Ce traitement conduit à des rejets de composés organohalogénés dont le principal est le bromoforme.

La prévision de rejets de substances chimiques pour l'ensemble du site, utilisées pour le contrôle de la réaction nucléaire et le conditionnement des circuits, peut être évaluée de la façon suivante en tenant compte du programme prévisionnel de production et d'arrêt de tranche de la centrale pour l'année 2022 :

Rejets issus des réservoirs T, S et Ex :

- Rejets d'acide borique : **25 200** kg
- Rejets d'hydrazine : **3,6** kg
- Rejets d'éthanolamine : **100** kg
- Rejets d'ammonium : **6000** kg
- Rejets de phosphate : **300** kg
- Rejets de détergents : **55** kg
- Rejets en métaux totaux : **100** kg
- Rejets en Aluminium : **15** kg

Rejets issus de la station de déminéralisation :

- Rejets en sulfates : **390 000** kg

Rejets issus des micro-stations d'épuration :

- Rejets en Azote Kjeldhal : **700** kg
- Rejets en phosphates : **500** kg

Rejets issus du traitement biocide du circuit de refroidissement :

- Rejets en bromoformes : **65 000** kg
- Rejets en oxydants résiduels : **75 000** kg

Synthèse du prévisionnel pour l'année 2022 CNPE de Gravelines

Prélèvements en eau :

- Prélèvements en mer : **6 100 000** milliers de m³
- Prélèvements d'eaux de réseaux de distribution : **850** milliers de m³
- Prélèvements d'eau de nappe : **35** milliers de m³

Rejets radioactifs gazeux :

- Rejets de gaz rares : **3 000** GBq
- Rejets gazeux de tritium : **2 200** GBq
- Rejets gazeux de carbone 14 : **1 200** GBq
- Rejets gazeux d'iodes : **0,10** GBq
- Rejets gazeux d'autres produits de fission et d'activation : **0,01** GBq

Rejets radioactifs liquides :

- Rejets liquides de tritium : **84 000** GBq
- Rejets liquides de carbone 14 : **50** GBq
- Rejets liquides d'iodes : **0,05** GBq
- Rejets liquides d'autres produits de fission et d'activation : **3,30** GBq

Rejets chimiques issus des réservoirs T, S et Ex :

- Rejets d'acide borique : **25 200** kg
- Rejets d'hydrazine : **3.6** kg
- Rejets d'éthanolamine : **100** kg
- Rejets d'ammonium : **6000** kg
- Rejets de phosphate : **300** kg
- Rejets de détergents : **55** kg
- Rejets en métaux totaux : **100** kg
- Rejets en Aluminium : **15** kg

Rejets chimiques issus de la station de déminéralisation :

- Rejets en sulfates : **390 000** kg

Rejets chimiques issus des micro-stations d'épuration :

- Rejets en Azote Kjeldhal : **700** kg
- Rejets en phosphates : **500** kg

Rejets chimiques issus du traitement biocide du circuit de refroidissement :

- Rejets en bromoformes : **65 000** kg
- Rejets en oxydants résiduels : **75 000** kg

Lexique

Becquerel (Bq) : unité de mesure de l'activité radiologique. Un becquerel correspond à la désintégration d'un radionucléide par seconde. 1 GBq = 1 000 000 000 Bq et 1 TBq = 1 000 000 000 000 Bq.

Biocide : substance chimique capable de détruire la biomasse pathogène.

Condenseur : élément d'une centrale nucléaire permettant de condenser de la vapeur d'eau (état gazeux) pour obtenir de l'eau sous forme liquide.

Circuit primaire : circuit d'eau transportant de l'énergie sous forme de chaleur du cœur du réacteur jusqu'au générateur de vapeur.

Circuit secondaire : circuit d'eau permettant de faire tourner les turbines de production d'électricité.

Effluent : eau résiduaire urbaine ou industrielle.

Fission nucléaire : phénomène par lequel un atome est divisé en deux atomes plus petits.

Isotope : forme différente d'un atome.

Radionucléide : élément chimique possédant une radioactivité naturelle ou artificielle.

Réservoir Ex : réservoir SEK = réservoir des effluents du circuit secondaire.

Réservoir RS : réservoir TEG = réservoir des effluents gazeux.

Réservoir S : réservoir TER = réservoir de santé.

Réservoir T : réservoir KER = réservoir des effluents de l'îlot nucléaire.

Turbo-alternateur : ensemble comprenant une turbine et un alternateur et permettant, dans une centrale nucléaire, de transformer de l'énergie sous forme de chaleur en énergie électrique.



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 – Direction Production Ingénierie et Thermique
Centre Nucléaire de Production d'Electricité de
Gravelines
Route de la Digue Level
59 820 Gravelines
03.28.68.42.30