



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

**2023**

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

# SOMMAIRE

<b>Partie I - Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité de Gravelines en 2023</b>	<b>4</b>
I. Contexte	4
II. Le CNPE de Gravelines	4
III. Modifications apportées au voisinage du CNPE de Gravelines	6
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
<b>Partie II - Prélèvements d'eau</b>	<b>9</b>
I. Prélèvement d'eau destinée au refroidissement	11
II. Prélèvement d'eau destinée à l'usage industriel	11
III. Prélèvement d'eau destinée à l'usage domestique	12
IV. Milieu de prélèvement : comparaison pluriannuelle, prévisionnel, valeurs limites et maintenance	12
<b>Partie III – Restitution et consommation d'eau</b>	<b>15</b>
I. Restitution d'eau	15
II. Consommation d'eau	15
<b>Partie IV - Rejets d'effluents</b>	<b>16</b>
I. Rejets d'effluents à l'atmosphère	16
II. Rejets d'effluents liquides	24
III. Rejets thermiques	47
<b>Partie VI - Surveillance de l'environnement</b>	<b>50</b>
I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement	50
II. Physico-chimie des eaux souterraines	59
III. Chimie et physico-chimie des eaux de surface	60
IV. Surveillance écologique et halieutique	62
V. Levées topographiques et bathymétriques	68
VI. Acoustique environnementale	69
<b>Partie VII - Évaluation de l'impact environnemental et sanitaire des rejets de l'installation</b>	

<b>Partie VIII - Gestion des déchets</b>	<b>73</b>
I. Les déchets radioactifs	73
II. Les déchets non radioactifs	77
<b>ABREVIATIONS</b>	<b>79</b>

## 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 2022 (IRSN)

**ANNEXE 3** – Résultats de la campagne estivale 2023 de contrôle des eaux du canal d'amenée et du canal de rejet

**ANNEXE 4** – Résultats des levées bathymétriques 2023, différentiel 2022/2023 « petite zone » et 2020/2023 « grande zone »

**ANNEXE 5** – Rapport du Prévisionnel de prélèvement et consommation d'eau et de rejets du CNPE pour l'année 2023

# Partie I - Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité de Gravelines en 2023

## 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 2023 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<sup>ère</sup> centrale de France en termes de puissance avec au total 5 400 mW de capacité de production, elle fournit près de 70% des besoins en électricité de la région Hauts de France. Entre 2021 et 2028 se déroulent les 4<sup>èmes</sup> visites décennales des 6 unités de production permettant d'exploiter nos unités de production 10 années supplémentaires.

La centrale nucléaire de Gravelines, actrice économique de premier plan sur le territoire dunkerquois, emploie en moyenne, 2 000 salariés EDF et 1 800 salariés permanents d'entreprises prestataires. Elle 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 2023, le parc nucléaire français a produit 320 milliards de TWh. La centrale de Gravelines a, quant à elle, produit 28,8 milliards de kWh d'électricité bas carbone, soit l'équivalent d'environ 60% de la consommation annuelle des Hauts de France.

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. 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 également les eaux réchauffées 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 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 2023, 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 est intégré 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 2023.

Typologie	Tranche	Date Déclaration ASN	Date de l'événement	Description de l'événement	Principales actions correctives
ESE9	0	06/07/2023	20/06/2023	Fuite d'eau tritiée supérieure à 10000 Bq/L dans la galerie "BAG"	<u>AC1</u> : poursuivre la rénovation de la tuyauterie 0SRE010TY de la laverie jusqu'à la galerie sous BAG <u>AC2</u> : apporter des précisions dans le dossier d'intervention des deux programmes de maintenance portant sur la vérification des tuyauteries SRE. <u>AC3</u> : présenter l'évènement aux intervenants qui réalisent la vérification des tuyauteries SRE et aux agents du service MSF, équipe TEM, qui vérifient les comptes rendus. <u>AC4</u> : présenter l'évènement aux équipes de quart du service Conduite.
ESE7	0	20/10/2023	16/10/2023	Déclenchement du portique C3 véhicules de sortie de site suite au passage d'une benne de déchets conventionnels	<u>AC1</u> : Diffuser à l'ensemble du personnel du service SPR la gamme d'intervention de prise en charge d'un C3V et la présenter en réunion de lancement et/ou d'équipe REAL. <u>AC2</u> : Installer des ralentisseurs de type routier devant le bâtiment BDS.
ESE2	9	25/10/2023	06/10/2023	Dépassement de la limite de concentration maximale autorisée en hydrocarbures lors de rejets de la fosse 9 SEO	<u>AC1</u> : Organiser une revue de pairs avec le national afin de collecter du rex d'exploitation, de conception sur les systèmes SEH/SEO et mettre en place un plan d'actions. <u>AC2</u> : Rédiger et mettre en place des Fiches reflexes.

Typologie	Tranche	Date Déclaration ASN	Date de l'événement	Description de l'événement	Principales actions correctives
					<p><u>AC3</u> : Etudier la possibilité de mettre une instrumentation et/ou un analyseur pour détecter la présence d'hydrocarbures dans les fosses SEH/SEO.</p> <p><u>AC4</u> : Etudier la mise en place d'un système de verrouillage des réglages de la vanne X SEH 008 VK</p>
ESE9	0	06/12/2023	03/12/2023	Dépassement du seuil 2 sur OKRT901MA et OKRT902MA lors d'un rejet de OKER003BA	<p><u>AC1</u> : définir un plan d'action pour traiter et rejeter la bache 0 KER 003 BA ou toute bache contenant des particules lourdes en tenant compte de ce REX.</p> <p><u>AC2</u> : présentation de cet évènement en ROP REX évènement environnement.</p>

## 2. Bilan des incidents de fonctionnement

En 2023, l'indisponibilité du dispositif de traitement des effluents radioactifs de la tranche 8 déjà présente en 2021 et 2022 s'est poursuivie. Ceci est lié à sa requalification au titre de la réglementation ESPN (Equipements Sous Pression Nucléaire). Cette indisponibilité n'a 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 cette indisponibilité 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.

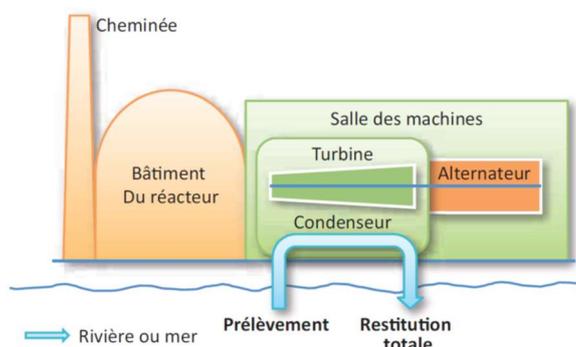
Dans un CNPE, l'eau est nécessaire pour :

- 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 m<sup>3</sup> 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 CO<sub>2</sub>. 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 m<sup>3</sup> 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 CNPE soient en fonctionnement ou à l'arrêt, la grande majorité de l'eau prélevée est restituée à sa source, c'est-à-dire au milieu naturel à proximité du point de prélèvement.

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

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

## 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 2023.

	Prélèvement d'eau (en millions de m <sup>3</sup> )
Janvier	649,73
Février	536,34
Mars	545,98
Avril	491,03
Mai	439,46
Juin	395,52
Juillet	451,45
Août	406,34
Septembre	427,72
Octobre	467,59
Novembre	489,59
Décembre	505,05
<b>TOTAL (en millions de m<sup>3</sup>)</b>	<b>5 805,80</b>

## 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 2023.

	Consommation d'eau (en m <sup>3</sup> )	eau de mer (en m <sup>3</sup> )	eaux industrielles du réseau (en m <sup>3</sup> )
Janvier	1 888 775	1 794 046	94 729
Février	1 637 490	1 573 262	64 228
Mars	1 865 359	1 805 477	59 882
Avril	1 757 916	1 695 028	62 888
Mai	1 784 289	1 722 137	62 152
Juin	1 705 037	1 641 455	63 582
Juillet	1 985 857	1 914 977	70 880
Août	1 817 641	1 726 497	91 144
Septembre	1 745 861	1 672 326	73 535
Octobre	1 859 903	1 786 528	73 375
Novembre	1 710 113	1 645 507	64 606
Décembre	1 806 114	1 728 403	77 711
<b>TOTAL (en m<sup>3</sup>)</b>	<b>21 564 355</b>	<b>20 705 643</b>	<b>858 712</b>

### 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 2023.

	Prélèvement d'eau (en m <sup>3</sup> )
Janvier	12 335
Février	11 284
Mars	11 202
Avril	9 237
Mai	9 833
Juin	10 435
Juillet	9 872
Août	10 644
Septembre	10 448
Octobre	11 167
Novembre	7 927
Décembre	6 053
<b>TOTAL (en m<sup>3</sup>)</b>	<b>120 437</b>

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

#### 1. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel des prélèvements d'eau pour 2023

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de prélèvement des années 2021 à 2023 avec la valeur du prévisionnel 2023.

Année	Milieu	Volume (milliers de m <sup>3</sup> )
2021	Eaux marines pour le refroidissement	6 118 078
2022		5 755 579
2023		5 805 796
Prévisionnel 2023		5 980 000
2021	Eaux marines à usage industriel	24 512
2022		20 226
2023		20 706
Prévisionnel 2023		-
2021	Eaux douces du réseau pour un usage industriel	897
2022		1 043
2023		859
Prévisionnel 2023		850

Année	Milieu	Volume (milliers de m <sup>3</sup> )
2021	Eau potable du réseau à usage domestique	87,989
2022		100,583
2023		120 437
Prévisionnel 2023		-
2021	Eaux douces souterraines	0
2022		2,211
2023		3,579
Prévisionnel 2023		78

**Commentaires** : La consommation d'eau industrielle en 2023 est redescendue à une valeur habituelle, après l'année 2022 qui avait été marquée par une surconsommation due à l'utilisation d'unités mobiles durant des travaux de rénovation de la station de décarbonation.

La consommation en eau potable a augmenté notamment du fait de l'apparition de fuites importantes qui n'ont pu être réparées rapidement. Néanmoins, la consommation mensuelle a fortement baissé en fin d'année suite aux travaux menés sur le réseau de distribution.

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 se sont poursuivis en 2023.

## 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	78,0	m <sup>3</sup> /s
	Volume journalier	2 160	370,5	m <sup>3</sup>
	Volume annuel	35 000	3 579,5 *	m <sup>3</sup>

\*Correspond au volume annuel prélevé

**Commentaires** : Ces prélèvements ont été réalisés de manière discontinue, dans le cadre des travaux de création des puits de pompage 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 2023 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.

#### **4. Opérations exceptionnelles de prélèvements**

Le CNPE de Gravelines n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de prélèvement d'eau dans le milieu en 2023.

## Partie III – Restitution et consommation d'eau

### I. Restitution d'eau

La restitution d'eau du CNPE de Gravelines pour l'année 2023 est présentée dans le tableau ci-dessous.

	Restitution d'eau				Unité
	Eau de refroidissement	Rejet radioactifs	Rejets industriels	TOTAL (en m <sup>3</sup> )	
Janvier	649 726 156	9 922	1 864 328	651 600 407	m <sup>3</sup>
Février	536 344 028	6 570	1 614 533	537 965 131	
Mars	545 982 725	4 819	1 848 771	547 836 315	
Avril	491 025 038	5 363	1 736 498	492 766 899	
Mai	439 460 599	6 665	1 757 709	441 224 973	
Juin	395 515 890	6 947	1 684 298	397 207 135	
Juillet	451 448 459	8 978	1 956 859	453 414 297	
Août	406 341 572	10 213	1 784 300	408 136 085	
Septembre	427 722 438	6 796	1 721 282	429 450 516	
Octobre	467 593 790	6 654	1 849 215	469 449 659	
Novembre	489 588 045	6 216	1 729 883	491 324 144	
Décembre	505 047 494	10 828	1 789 399	506 847 720	
<b>TOTAL</b>	5 805 796 235	89 971	21 337 075	5 827 223 280	
<b>Restitution globale</b>	<b>5 827 233 280</b>				m <sup>3</sup>
<b>Pourcentage de restitution d'eau globale par rapport au prélèvement</b>	<b>99,996%</b>				%

### 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 2023.

	Consommation d'eau (en milliers de m <sup>3</sup> )
Janvier	27 798
Février	28 186
Mars	22 971
Avril	25 292
Mai	29 967
Juin	24 228
Juillet	30 306
Août	34 981
Septembre	28 230
Octobre	15 201
Novembre	-18 059
Décembre	12 223
<b>TOTAL</b>	<b>229 909</b>

## 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  $\beta$  ou  $\gamma$ , correspondent principalement au césium et au cobalt.

#### a. Règles spécifiques de comptabilisation

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

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

radionucléides dont l'activité mesurée est inférieure au seuil de décision<sup>1</sup> 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	<sup>41</sup> Ar
	<sup>85</sup> Kr
	<sup>131m</sup> Xe
	<sup>133</sup> Xe
	<sup>135</sup> Xe
Tritium	<sup>3</sup> H
Carbone 14	<sup>14</sup> C
Iodes	<sup>131</sup> I
	<sup>133</sup> I
Produits de fission et d'activation	<sup>58</sup> Co
	<sup>60</sup> Co
	<sup>134</sup> Cs
	<sup>137</sup> Cs

### c. Cumul mensuel

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

<sup>1</sup> 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			
	<sup>41</sup> Ar (GBq)	<sup>85</sup> Kr (GBq)	<sup>131m</sup> Xe (GBq)	<sup>133</sup> Xe (GBq)	<sup>135</sup> Xe (GBq)	<sup>131</sup> I (GBq)	<sup>133</sup> I (GBq)	<sup>58</sup> Co (GBq)	<sup>60</sup> Co (GBq)	<sup>134</sup> Cs (GBq)	<sup>137</sup> Cs (GBq)
<b>Janvier</b>	3,83	0,01	0,00	274,90	55,49	0,002	0,008	0,00026	0,00031	0,00022	0,00031
<b>Février</b>	5,75	0,00	0,00	89,62	17,71	0,001	0,004	0,00024	0,00034	0,00021	0,00043
<b>Mars</b>	3,46	0,42	0,05	32,06	9,97	0,001	0,003	0,00016	0,00018	0,00014	0,00015
<b>Avril</b>	4,90	0,42	0,00	36,27	11,31	0,001	0,002	0,00011	0,00015	0,00009	0,00011
<b>Mai</b>	19,42	0,11	0,01	32,98	12,23	0,003	0,002	0,00044	0,00014	0,00010	0,00013
<b>Juin</b>	4,32	0,87	0,01	34,28	12,20	0,002	0,002	0,00018	0,00018	0,00010	0,00011
<b>Juillet</b>	2,83	0,01	0,00	35,73	10,46	0,000	0,002	0,00010	0,00014	0,00008	0,00012
<b>Août</b>	2,65	0,10	0,00	34,37	10,75	0,000	0,003	0,00016	0,00019	0,00012	0,00016
<b>Septembre</b>	1,97	0,31	0,00	38,58	12,65	0,001	0,002	0,00012	0,00016	0,00009	0,00012
<b>Octobre</b>	2,64	0,07	0,00	31,79	9,83	0,000	0,002	0,00011	0,00015	0,00009	0,00012
<b>Novembre</b>	3,05	0,02	0,00	29,31	10,24	0,000	0,002	0,00012	0,00018	0,00010	0,00013
<b>Décembre</b>	4,57	0,08	0,00	32,61	10,30	0,001	0,002	0,00012	0,00030	0,00010	0,00014
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>59,37</b>	<b>2,44</b>	<b>0,08</b>	<b>702,50</b>	<b>183,14</b>	<b>0,014</b>	<b>0,034</b>	<b>0,00211</b>	<b>0,00240</b>	<b>0,00145</b>	<b>0,00203</b>
	<b>947,53</b>					<b>0,0486</b>		<b>0,00798</b>			

	Activités gaz rares (GBq)	Activité Tritium (GBq)	Activités Iodes (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Volumes rejetés (m <sup>3</sup> )
Janvier	334,23	70,91	0,0101	0,0011	254,10	6,15E+08
Février	113,08	73,08	0,0053	0,0012		5,29E+08
Mars	45,95	92,90	0,0033	0,0006		6,24E+08
Avril	52,90	96,69	0,0031	0,0005	384,20	6,31E+08
Mai	64,75	122,40	0,0054	0,0008		6,03E+08
Juin	51,68	151,40	0,0040	0,0006		5,95E+08
Juillet	49,03	201,70	0,0028	0,0004	310,30	6,30E+08
Aout	47,87	194,50	0,0030	0,0006		6,15E+08
Septembre	53,51	204,60	0,0035	0,0005		5,93E+08
Octobre	44,34	164,80	0,0024	0,0005	187,40	5,98E+08
Novembre	42,63	113,00	0,0024	0,0005		5,61E+08
Décembre	47,56	98,77	0,0033	0,0007		6,24E+08
<b>TOTAL ANNUEL</b>	947,53	1 584,75	0,0486	0,0080	1 136,00	7,22E+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/m<sup>3</sup>.

#### d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2023 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2023.

Année	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)				
	Gaz rares	Tritium	Carbone 14	Iodes	Autres produits de fission et d'activation
2021	1 361	1 635	1 319	0,070	0,009
2022	1 313	1 758	1 281	0,064	0,014
2023	947	1 585	1 136	0,049	0,008
Prévisionnel 2023	2 000	2 000	1 400	0,100	0,010

**Commentaires :** Les rejets de gaz rares sont en baisse, l'année 2023 n'ayant pas été marquée par des inétanchéités de gaines combustibles. Les rejets radioactifs à l'atmosphère sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2023.

#### e. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2023 avec les valeurs limites de rejets fixées par la 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		947,53
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 <sup>7</sup>	8,37.10 <sup>5</sup>	
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 <sup>7</sup>	7,51.10 <sup>5</sup>	
	Cheminée n° 3	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 <sup>7</sup>	7,36.10 <sup>5</sup>	
Carbone 14	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	3 300		1 136,00
Tritium	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	12 000		1 584,75
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 <sup>6</sup>	4,80.10 <sup>4</sup>	
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 <sup>6</sup>	3,82.10 <sup>4</sup>	
	Cheminée n° 3	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 <sup>6</sup>	3,35.10 <sup>4</sup>	
Iodes	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	2,4		0,05
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 <sup>2</sup>	1,84	
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 <sup>2</sup>	1,46	
	Cheminée n° 3	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 <sup>2</sup>	3,25	
Autres produits de fission et produits d'activation	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	2,4		0,008
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 <sup>2</sup>	0,347	
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 <sup>2</sup>	0,178	
	Cheminée n° 3	Débit instantané (Bq/s)	3,3.10 <sup>2</sup>	0,543	

\*Correspond à l'activité annuelle rejetée

**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 2023.

## 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	75,68	4,87
Février	0,00	0,00	49,50	3,06
Mars	0,00	0,00	40,58	0,00
Avril	0,00	0,00	74,91	0,00
Mai	0,00	0,00	86,75	0,00
Juin	0,00	0,00	90,12	0,17
Juillet	0,00	0,00	70,09	0,00
Août	0,00	0,00	45,00	0,00
Septembre	0,00	0,00	54,88	0,00
Octobre	0,00	0,00	64,68	0,00
Novembre	0,00	0,00	65,06	0,00
Décembre	0,00	0,00	79,69	0,00
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>796,95</b>	<b>8,11</b>

### 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 (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) de ces matériels de petites puissances sont faibles sachant qu'ils ne fonctionnent que peu de temps (moins de 50 h/an par diesel) lors des essais périodiques ou d'incidents.
- Les émissions de fluides frigorigènes. En effet, un CNPE est équipée de groupes frigorifiques pour assurer la production d'eau glacée et pour la réfrigération des locaux techniques et administratifs. Ces matériels utilisent des produits pouvant accroître l'effet de serre. Le fonctionnement des matériels et les opérations de maintenance conduisent à des émissions de fluides frigorigène. Ces émissions sont

réglementairement déclarées et comptabilisées et des actions sont prises pour remédier à la situation.

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

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

La quantité annuelle évaluée d'oxyde de soufre (SOx) et d'azote (NOx) rejetée dans l'atmosphère lors du fonctionnement périodique des groupes électrogènes de secours (moteurs Diesels) ayant fonctionné pendant 318 heures et des diesels d'ultime secours (DUS) ayant fonctionné pendant 84 heures, au total sur les 6 tranches pour 2023 est de :

Paramètre	Unité	Groupes électrogènes	DUS	TOTAL
SOx	kg	3	1	4
NOx	kg	32 283	9 096	41 379

#### b. Rejets de formaldéhyde et de monoxyde de carbone

En 2023, 9,99 m<sup>3</sup> 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 <sup>3</sup>	Formaldéhyde	1,09.10 <sup>-3</sup>	2,59.10 <sup>-5</sup>
		Monoxyde de carbone	1,02.10 <sup>-3</sup>	2,42.10 <sup>-5</sup>

#### 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	524
Ethanolamine		30

#### 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 <sub>2</sub>
Hydrogène-fluoro-carbone (HFC)	70,940	147,3
Hexafluorure de soufre (SF <sub>6</sub> )	72,482	1 761,3
<b>Total des émissions de GES en tonne équivalent CO<sub>2</sub></b>		<b>1 908,6</b>

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 CO<sub>2</sub> 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 2023, les émissions liées à cette activité représentent 530,3 tonnes équivalent CO<sub>2</sub>.

L'équivalent CO<sub>2</sub> total des émissions de GES du CNPE constituées des pertes de fluides frigorigène et SF<sub>6</sub> et de la combustion des diesels de secours, représente 0,085 gCO<sub>2</sub> / kWh électrique produit, la production annuelle nette d'électricité ayant été de 28,8 TWh sur l'année 2023.

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

L'année 2023 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 2023.

## II. Rejets d'effluents liquides

### 1. Rejets d'effluents liquides radioactifs

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

- Les effluents provenant du circuit primaire dits « effluents primaires hydrogénés » contiennent des gaz de fission (xénon, iode, césium, ...) et des produits d'activation (cobalt, manganèse, tritium, carbone 14...) et de fission. Ces effluents sont essentiellement produits en phase d'exploitation du fait des mouvements d'eau primaire effectués lors des variations de puissance ou de l'ajustement des paramètres chimiques de l'eau du réacteur.
- Les effluents issus des circuits auxiliaires dits « effluents usés » constituent le reste des effluents. Ils résultent principalement des opérations de maintenance nécessitant des vidanges de circuit (filtres, déminéraliseurs, échangeurs...), des opérations

d'évacuation du combustible usé et de conditionnement des résines usées, des actions de maintien de la propreté des installations (lavage du sol et du linge).

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

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

Les effluents liquides oxygénés recueillis dans les puisards des différents locaux sont dirigés vers le circuit de Traitement des Effluents Usés (TEU) où ils sont traités. Collectés sélectivement suivant plusieurs catégories (résiduaire, 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 décision<sup>2</sup> 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	<sup>3</sup> H
Carbone 14	<sup>14</sup> C
Iodes	<sup>131</sup> I
Produits de fission et d'activation	<sup>54</sup> Mn
	<sup>63</sup> Ni
	<sup>58</sup> Co
	<sup>60</sup> Co
	<sup>110m</sup> Ag
	<sup>123m</sup> Te
	<sup>124</sup> Sb
	<sup>125</sup> Sb
	<sup>134</sup> Cs
	<sup>137</sup> Cs

### c. Cumul mensuel

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

<sup>2</sup> 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	<sup>54</sup> Mn (MBq)	<sup>58</sup> Co (MBq)	<sup>60</sup> Co (MBq)	<sup>110m</sup> Ag (MBq)	<sup>123m</sup> Te (MBq)	<sup>124</sup> Sb (MBq)	<sup>125</sup> Sb (MBq)	<sup>134</sup> Cs (MBq)	<sup>137</sup> Cs (MBq)	Autres (MBq)	TOTAL (en m³)
janvier	5,39	9,62	107,20	37,16	4,92	4,84	14,64	4,97	8,47	0,61	197,82
février	5,75	11,80	71,96	28,16	3,13	7,92	9,45	3,31	4,16	0,00	145,64
mars	4,58	9,42	73,33	24,86	3,04	2,36	6,66	2,33	2,69	0,00	129,27
avril	2,75	4,31	67,85	22,48	2,20	2,11	6,41	2,07	2,74	0,00	112,91
mai	2,81	40,29	70,63	49,29	4,20	2,63	7,71	2,63	3,18	14,69	198,06
juin	3,63	27,73	72,91	34,77	5,57	3,31	7,14	2,67	3,00	3,71	164,45
juillet	7,13	42,16	110,60	50,35	7,29	3,83	9,25	3,30	4,40	2,35	240,66
août	11,01	82,58	59,31	26,99	4,55	4,01	11,22	3,90	5,10	13,93	222,59
septembre	5,35	66,94	57,82	48,96	3,27	2,78	6,61	2,28	2,69	28,32	225,02
octobre	4,32	28,99	48,52	253,10	3,28	8,14	8,42	2,87	3,54	7,66	368,85
novembre	4,71	30,97	71,32	388,10	3,49	17,71	8,80	2,89	3,70	5,69	537,38
décembre	5,24	24,82	159,20	209,60	4,27	4,46	12,91	4,40	6,60	0,61	432,12
<b>TOTAL ANNUEL</b>	62,67	379,63	970,65	1 173,82	49,23	64,10	109,21	37,61	50,25	77,58	2 974,74

	Volumes rejetés (m <sup>3</sup> )	Activité Tritium (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Iodes (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)	Activité <sup>63</sup> Ni (GBq)
Janvier	54 140	6758	12,54	0,00855	0,19720	0,01101
Février	34 195	4362	11,1	0,00546	0,14620	0,01263
Mars	29 945	3130	4,54	0,00235	0,12900	0,01132
Avril	28 560	6545	6,265	0,00223	0,11300	0,01802
Mai	29 107	6025	4,55	0,00258	0,19800	0,01706
Juin	32 505	4632	8,386	0,00280	0,16440	0,01035
Juillet	34 223	3594	6,34	0,00324	0,24070	0,02262
Août	40 990	1726	2,70	0,00376	0,22260	0,00613
Septembre	39 241	1783	1,725	0,00231	0,22500	0,01580
Octobre	35 774	2995	4,85	0,00281	0,36890	0,00865
Novembre	39 561	3069	4,616	0,00285	0,53740	0,03480
Décembre	42 450	4914	5,898	0,00448	0,43200	0,04548
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>440 692</b>	<b>49 533</b>	<b>73,512</b>	<b>0,043413</b>	<b>2,9744</b>	<b>0,213868</b>

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

**Commentaires** : Trois réservoirs SEK rejetés entre le 4 et le 22 juin 2023 ont présenté une activité volumique > 400 Bq/l (valeur maximale à 3 840 Bq/l). Ces marquages sont dus à une fuite de tuyauterie SRE dans la galerie du BAG (effluents issus de la laverie). Un Événement Significatif Environnement a été déclaré (voir Partie I - §V-1). L'activité volumique des réservoirs SEK est redescendue après la détection et la réparation de la fuite.

#### d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejet de l'année 2023 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2023.

	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)			
	Tritium	Carbone 14	Iodes (MBq)	Autres PA et PF (incluant le <sup>63</sup> Ni)
2021	59 704	43,96	0,040	2,69
2022	46 475	44,94	0,041	2,47
2023	49 533	72,51	0,043	3,19
Prévisionnel 2023	90 000	50	0,050	3,30

**Commentaires** : Les rejets de Carbone 14 sont en augmentation en 2023. Ces rejets sont en lien direct avec la production électrique. Ils sont variables d'une année à l'autre sans pour autant traduire un aléa d'exploitation. Les autres rejets radioactifs liquides sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2023.

### e. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2023 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	49 533
Carbone 14	Activité annuelle rejetée (GBq)	900	73,51
Iodes	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,9	0,04
Autres PA et PF	Activité annuelle rejetée (GBq)	90	2,97

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	1,29E+07	2,84E+06
Iodes	canal de rejet	Débit d'activité (Bq/s)	1 Bq/L x D	2,11E+01	2,35E+00
Autres PA et PF	canal de rejet	Débit d'activité (Bq/s)	7 Bq/L x D	2,13E+03	1,60E+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 2023 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 2023	Valeur maximale mesurée en 2023	Limite réglementaire	Valeur moyenne mesurée en 2023	Valeur maximale mesurée en 2023	Limite réglementaire
Eau filtrée (Bq/l)	Activité bêta globale	12,03	14,70	18	-	-	-
	Tritium	64,02	265,00	1 800	46,65	20,71	900 <sup>(1)</sup> / 100 <sup>(2)</sup>
	Potassium	415,84	450,00	-	-	-	-
Matières en suspension (Bq/l)	Activité bêta globale	0,018	0,075	-	-	-	-

(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 2023 sont cohérentes avec les valeurs attendues du fait des rejets d'effluents autorisés du CNPE. Les mesures d'activité bêta globale et de l'activité en tritium dans l'eau sont très inférieures aux limites réglementaires.

## 2. Rejets d'effluents liquides chimiques

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

Ces rejets d'effluents chimiques sont issus :

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

Les 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 ( $C_4H_9NO$ ), l'éthanolamine ( $C_2H_7NO$ ) et l'ammoniaque ( $NH_4OH$ ) sont des amines volatiles qui peuvent être employées, seules ou en combinaison, pour maintenir le bon pH dans le circuit secondaire. Elles complètent l'action de l'hydrazine. Le mode de conditionnement du circuit secondaire a évolué avec les années pour tenir compte du retour d'expérience interne et étranger. L'éthanolamine ( $C_2H_7NO$ ), utilisée sur quelques CNPE, constitue une alternative intéressante à la morpholine, en particulier pour la protection des pièces internes des générateurs de vapeur et des purges des sècheurs-surchauffeurs de la turbine.
- le phosphate trisodique ( $Na_3PO_4$ ) : comme l'hydrazine, le phosphate est utilisé pour le conditionnement des circuits de refroidissement intermédiaires.
- les détergents : ces produits sont régulièrement utilisés pour le nettoyage des locaux industriels ; qu'ils soient en ou hors zone contrôlée. Ils sont également utilisés à la laverie du CNPE pour le nettoyage des tenues d'intervention.

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

Les autres rejets chimiques réglementés ont pour origine l'installation de production d'eau déminéralisée, le traitement des eaux vannes et usées, dans la station d'épuration, ainsi que le traitement des eaux potentiellement huileuses issues de la salle des machines, des transformateurs principaux. Les rejets des eaux pluviales sont 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 donné 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	2 205,73		2,88	0,23	7,67	108,05	70,65	3,98	188,35	150,16
Février	1 266,94		1,55	0,11	4,78	181,79	42,09	15,60	120,59	182,58
Mars	1 344,99		1,16	0,11	3,46	186,63	44,18	4,64	96,62	256,79
Avril	1 304,25		1,35	0,10	3,58	130,26	82,58	3,98	227,93	208,98
Mai	2 137,36		1,27	0,12	5,40	103,56	80,70	5,13	285,05	258,25
Juin	1 434,36		1,46	0,07	5,17	195,84	15,96	3,95	308,11	325,77
Juillet	3 618,79		1,32	0,06	9,81	91,40	40,70	4,99	114,05	342,88
Août	2 143,70		5,58	0,44	5,28	70,84	97,59	9,77	145,67	335,34
Septembre	2 855,29		4,95	0,45	3,79	115,97	43,01	8,74	131,50	301,39
Octobre	2 584,91		1,53	0,15	4,56	124,34	34,83	3,69	22,82	245,83
Novembre	1 223,10		1,65	0,15	4,30	163,68	33,01	3,64	24,74	335,85
Décembre	885,65		2,21	0,18	8,78	155,73	25,85	4,51	31,75	416,15
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>23 005,06</b>	<b>0,00</b>	<b>26,91</b>	<b>2,16</b>	<b>66,58</b>	<b>1 628,08</b>	<b>611,15</b>	<b>72,63</b>	<b>1 697,18</b>	<b>3 359,98</b>

## Emissaire de rejet R2

	Morpholine (kg)	Ethanolamine (kg)	Hydrazine (kg)	Ammonium (kg)	Phosphates (kg)	Métaux totaux (kg)	MES (kg)	DCO (kg)
Janvier		2,89	0,13	208,68	10,49	2,34	212,57	80,72
Février		1,67	0,05	213,33	13,04	2,75	131,80	123,13
Mars		1,61	0,16	299,55	14,21	3,26	126,94	122,12
Avril		1,69	0,13	254,90	23,59	3,53	107,51	119,72
Mai		1,36	0,11	188,33	24,77	3,65	89,67	154,88
Juin		1,76	0,07	232,59	15,35	1,73	96,77	170,08
Juillet		1,75	0,11	219,99	16,64	1,95	118,67	243,27
Août		1,96	0,10	115,97	15,49	5,09	133,06	191,38
Septembre		3,20	0,18	177,83	24,02	2,87	135,34	168,98
Octobre		2,51	0,13	196,39	9,43	2,66	19,40	133,42
Novembre		2,12	0,09	253,69	10,86	2,14	21,15	217,59
Décembre		2,15	0,14	233,20	8,96	1,64	20,40	203,81
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>0,00</b>	<b>24,65</b>	<b>1,40</b>	<b>2594,44</b>	<b>186,84</b>	<b>33,62</b>	<b>1213,28</b>	<b>1929,09</b>

### 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	2 205,73	0,00	5,77	0,37	7,67	316,73	81,14	6,32	400,92	230,88	0,82
Février	1 266,94	0,00	3,22	0,16	4,78	395,12	55,13	18,36	252,40	305,71	2,33
Mars	1 344,99	0,00	2,77	0,27	3,46	486,18	58,39	7,91	223,56	378,91	3,19
Avril	1 304,25	0,00	3,05	0,23	3,58	385,16	106,17	7,51	335,44	328,70	1,21
Mai	2 137,36	0,00	2,63	0,23	5,40	291,89	105,48	8,78	374,72	413,13	2,22
Juin	1 434,36	0,00	3,22	0,14	5,17	428,43	31,31	5,68	404,88	495,85	0,99
Juillet	3 618,79	0,00	3,07	0,18	9,81	311,38	57,34	6,95	232,72	586,16	1,66
Août	2 143,70	0,00	7,53	0,54	5,28	186,81	113,07	14,86	278,73	526,72	5,34
Septembre	2 855,29	0,00	8,15	0,63	3,79	293,80	67,03	11,60	266,84	470,37	1,51
Octobre	2 584,91	0,00	4,04	0,27	4,56	320,73	44,26	6,36	42,22	379,25	1,12
Novembre	1 223,10	0,00	3,77	0,24	4,30	417,37	43,87	5,78	45,89	553,44	0,64
Décembre	885,65	0,00	4,35	0,32	8,78	388,93	34,81	6,15	52,15	619,96	0,84
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>23 005,06</b>	<b>0,00</b>	<b>51,57</b>	<b>3,57</b>	<b>66,58</b>	<b>4 222,52</b>	<b>797,99</b>	<b>106,25</b>	<b>2 910,46</b>	<b>5 289,07</b>	<b>21,86</b>

## Rejet des métaux

	Pb	Cr	Ni	Cu	Mn	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 (SEK)	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg																
<b>Janvier</b>	0,03	0,02	0,02	0,05	0,15	0,77	0,38	1,05	2,48	0,04	0,11	0,11	0,31	0,44	0,49	0,44	1,90	3,84	0,07	0,14	0,14	0,35	0,59	1,26	0,82	2,95	6,31
<b>Février</b>	0,01	0,02	2,58	0,18	0,09	0,43	1,06	9,46	13,81	0,03	0,07	0,07	0,07	0,24	0,47	1,27	2,35	4,57	0,03	0,09	2,64	0,25	0,33	0,90	2,33	11,81	18,38
<b>Mars</b>	0,02	0,01	0,13	0,13	0,11	0,43	0,55	1,42	2,81	0,07	0,06	0,06	0,06	0,35	0,43	2,64	1,43	5,11	0,09	0,07	0,20	0,19	0,46	0,86	3,19	2,85	7,92
<b>Avril</b>	0,01	0,01	0,03	0,06	0,16	0,36	0,40	1,43	2,48	0,06	0,06	0,06	0,14	0,32	0,77	0,81	2,81	5,02	0,07	0,07	0,09	0,20	0,49	1,13	1,21	4,24	7,50
<b>Mai</b>	0,01	0,02	0,02	0,09	0,13	0,47	0,76	1,26	2,75	0,02	0,06	0,29	0,58	0,54	0,34	1,46	2,76	6,05	0,03	0,07	0,31	0,68	0,67	0,80	2,22	4,02	8,79
<b>Juin</b>	0,01	0,02	0,02	0,27	0,10	0,51	0,35	1,40	2,67	0,03	0,06	0,06	0,14	0,38	0,43	0,64	1,25	3,00	0,03	0,08	0,08	0,41	0,49	0,94	0,99	2,65	5,67
<b>Juillet</b>	0,01	0,02	0,02	0,30	0,10	0,55	0,95	2,17	4,12	0,03	0,06	0,06	0,18	0,40	0,50	0,71	0,88	2,84	0,03	0,09	0,09	0,48	0,50	1,05	1,66	3,06	6,96
<b>Août</b>	0,01	0,03	0,37	0,54	0,38	0,55	1,43	3,55	6,86	0,03	0,08	0,08	0,16	0,34	0,62	3,91	2,80	8,00	0,04	0,10	0,44	0,70	0,72	1,17	5,34	6,35	14,86
<b>Septembre</b>	0,03	0,02	0,64	0,52	0,14	0,40	0,77	4,44	6,96	0,11	0,08	0,08	0,08	0,49	0,58	0,75	2,50	4,67	0,14	0,10	0,72	0,60	0,63	0,98	1,51	6,94	11,63
<b>Octobre</b>	0,01	0,02	0,02	0,15	0,23	0,45	0,36	0,92	2,16	0,03	0,07	0,07	0,07	0,52	0,64	0,76	2,01	4,18	0,04	0,09	0,09	0,23	0,76	1,09	1,12	2,93	6,34
<b>Novembre</b>	0,01	0,02	0,02	0,19	0,09	0,58	0,30	1,04	2,24	0,03	0,08	0,08	0,08	0,53	0,60	0,33	1,80	3,55	0,04	0,10	0,10	0,28	0,62	1,18	0,64	2,84	5,80
<b>Décembre</b>	0,01	0,03	0,08	0,26	0,13	0,61	0,52	1,84	3,48	0,03	0,08	0,08	0,08	0,47	0,38	0,32	1,23	2,67	0,04	0,11	0,16	0,34	0,60	0,99	0,84	3,07	6,15
<b>TOTAL ANNUEL</b>	0,15	0,22	3,94	2,75	1,81	6,11	7,83	29,99	52,81	0,51	0,88	1,11	1,96	5,04	6,24	14,03	23,73	53,50	0,66	1,10	5,06	4,71	6,85	12,35	21,86	53,72	106,31

## 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 2023 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2023.

Substances	Unité	2021	2022	2023	Prévisionnel 2023
Acide borique	kg	25 444	23 164	23 005	25 200
Ethanolamine	kg	45	50	52	70
Hydrazine	kg	3,49	3,61	3,57	3,60
Ammonium	kg	4 335	3 382	4 223	5 000
Détergents	kg	57,18	62,09	66,58	60
Phosphates	kg	538	527	798	500
Métaux totaux	kg	75	87	106	100
Aluminium	kg	16,52	14,55	21,86	15
MES	kg	3 785	3 430	2 910	-
DCO	kg	4 930	7 461	5 289	-

**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). Les rejets de métaux, issus de l'usure des tuyauteries liée à la circulation de l'eau, ont augmentés en lien le temps de fonctionnement des tranches.

## iii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2023 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	-	180,09	1500	-		233,39	10 000	-		709,90	43 500	23 005,06	-	-	-	-
Ethanolamine	2,4	2,1	0,64	2,8	2,4		0,55	12,8	6		1,85	1 376	26,91	544	24,65	-	-
Hydrazine	13	13	0,09	15	15	15	0,09	54	34	54	0,29	176	2,16	22	1,40	-	-
Ammonium	43,4	47,9	15,56	50	55,2	90	15,68	145	111	240	32,86	15 560	1 628,08	7 650	2 594,44	-	-
Détergents	52,1	-	0,48	60	-		0,56	180	-		2,18	5 900	66,58	-	-	-	-
Phosphates	63,5	49,6	6,78	73,1	57,1	120	5,94	162	71,4	180	20,45	1 138	611,15	266	186,84	-	-
Métaux totaux	3	2,6	0,31	3,5	3		0,47	16	7,5		2,40	1 720	72,63	680	33,62	-	-
MES	103,3	88,5	7,76	119	102		8,79	544	255	680	37,28	58 480	1 697,18	23 120	1 213,28	-	-
DCO	121,5	104,2	10,35	140	120		11,12	640	300		43,02	68 800	3 359,98	27 200	1 929,09	-	-
Morpholine	6,1	5,2	-	7	6	12	-	32	15	45	-	2 257,5	0	892,5	0	-	-
Aluminium	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	124,9	21,86

L'article 5.3.1 de la décision ASN n°2017-DC-0588 demande une évaluation de la quantité annuelle de lithine rejetée. En 2023, la quantité de lithine rejetée par le CNPE de Gravelines est évaluée à 13,14 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 2023, 2,48 kg de sulfate de cuivre ont été injectés dans les réservoirs pour destruction de l'hydrazine. Ceci conduit à un rejet de 0,63 kg de cuivre et 0,95 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 2023 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	98,02	16,26	91,86	14,10	2,69	16,27
Février	24,29	7,17	60,20	7,49	2,28	30,98
Mars	63,35	13,14	133,21	12,36	2,37	29,04
Avril	85,19	19,81	146,98	10,31	2,16	23,02
Mai	19,60	4,87	69,08	8,08	0,33	18,66
Juin	1 753,30	29,54	187,93	40,03	5,98	30,55
Juillet	83,72	15,35	196,84	27,15	0,83	30,95
Août	372,85	30,92	234,17	17,17	2,30	31,53
Septembre	165,56	11,98	101,59	18,40	2,83	10,99
Octobre	284,25	65,53	464,47	24,13	36,44	24,97
Novembre	807,90	28,90	334,92	15,34	9,35	22,73
Décembre	121,60	18,49	217,41	19,01	8,16	28,36
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>3 879,64</b>	<b>261,97</b>	<b>2 238,67</b>	<b>213,58</b>	<b>75,73</b>	<b>298,05</b>

### Emissaire de rejet B2 (8 SEO)

	MES (kg)	DBO5 (kg)	DCO (kg)	Azote Kjeldahl (kg)	Hydrocarbures (kg)	Phosphates (kg)
Janvier	10,47	3,53	22,94	4,49	0,25	6,59
Février	3,59	2,91	12,95	1,24	0,02	4,77
Mars	12,38	5,72	33,02	1,37	0,13	3,14
Avril	17,77	3,07	30,37	5,10	0,33	2,45
Mai	2,70	1,17	16,62	2,33	0,04	4,97
Juin	505,54	17,56	87,89	8,85	1,53	19,02
Juillet	19,37	3,22	37,60	7,16	0,11	13,65
Août	134,29	6,56	48,93	4,37	0,36	9,07
Septembre	77,52	8,18	71,60	11,56	1,89	20,22
Octobre	82,45	12,14	166,85	18,01	1,97	30,52
Novembre	90,68	14,07	142,90	9,84	2,83	24,70
Décembre	45,95	7,88	74,07	13,20	1,00	15,55
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>1 002,72</b>	<b>86,01</b>	<b>745,76</b>	<b>87,51</b>	<b>10,46</b>	<b>154,65</b>

### Emissaire de rejet B3 (7 SEO)

	MES (kg)	DBO5 (kg)	DCO (kg)	Azote Kjeldahl (kg)	Hydrocarbures (kg)	Phosphates (kg)
Janvier	49,21	11,99	104,13	14,48	0,79	20,16
Février	9,42	8,60	35,97	8,69	0,21	9,42
Mars	24,63	7,73	87,11	3,72	0,78	15,24
Avril	48,43	9,77	94,81	7,78	4,37	12,38
Mai	8,99	5,13	55,19	8,51	0,41	14,71
Juin	154,18	21,51	98,52	15,20	1,26	12,53
Juillet	36,80	10,09	74,18	14,65	0,26	11,83
Août	103,99	35,31	161,00	8,14	3,14	20,43
Septembre	15,44	1,22	8,61	0,45	0,49	0,86
Octobre	65,94	10,15	90,81	4,33	2,51	9,83
Novembre	149,48	24,12	192,05	10,59	2,78	18,13
Décembre	26,48	8,36	67,99	8,35	0,71	7,48
<b>TOTAL ANNUEL</b>	692,97	153,96	1 070,38	104,88	17,71	153,01

### Cumul des rejets B1, B2 et B3

	MES (kg)	DBO5 (kg)	DCO (kg)	Azote Kjeldahl (kg)	Hydrocarbures (kg)	Phosphates (kg)
Janvier	157,70	31,78	218,93	33,07	3,72	43,01
Février	37,30	18,68	109,12	17,43	2,52	45,17
Mars	100,36	26,59	253,34	17,44	3,28	47,43
Avril	151,39	32,66	272,16	23,19	6,87	37,84
Mai	31,29	11,16	140,90	18,91	0,77	38,33
Juin	2 413,02	68,60	374,34	64,08	8,77	62,11
Juillet	139,89	28,66	308,63	48,96	1,20	56,43
Août	611,13	72,78	444,10	29,67	5,81	61,04
Septembre	258,52	21,39	181,81	30,41	5,20	32,08
Octobre	432,63	87,82	722,13	46,47	40,92	65,32
Novembre	1 048,06	67,08	669,87	35,77	14,97	65,55
Décembre	194,03	34,73	359,47	40,56	9,88	51,40
<b>TOTAL ANNUEL</b>	5 575,33	501,94	4 054,80	405,97	103,90	605,70

#### 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 2023 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2023.

Paramètres	Unité	2021	2022	2023	Prévisionnel 2023
MES	kg	4228	2535	5575	-
DBO5	kg	654	466	502	-
DCO	kg	4125	3553	4055	-
Azote Kjeldahl	kg	528	338	406	700
Hydrocarbures	kg	77	88	104	-
Phosphates	kg	656	620	606	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 2023 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
		Valeur maximale calculée	Valeur moyenne calculée				
Substances	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	80	1 493,30	24,84	280	1 520,0	1 400	1 520,0
DBO5	25	56,00	4,20	80	13,1	400	46,8
DCO	120	196,00	25,23	380	76,2	1 900	97,9
Azote Kjeldahl	40	18,30	2,76	128	26,6	640	26,6
Hydrocarbures	5	23,00	0,99	-	3,2	-	6,5
Phosphates	28	16,66	4,08	16	5,5	36	35,8

Emissaire B2 (8 SEO)	Limite	Rejet		Limite	Rejet	Limite	Rejet
		Valeur maximale calculée	Valeur moyenne calculée				
Substances	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	80	385,00	17,41	280	281,0	1 400	281,0
DBO5	25	18,00	3,58	80	11,8	400	11,8
DCO	120	64,84	21,08	380	42,5	1 900	42,5
Azote Kjeldahl	40	24,70	3,13	128	3,9	640	5,8
Hydrocarbures	5	3,00	0,25	-	1,3	-	1,3
Phosphates	28	17,37	5,04	16	7,1	36	7,1

Emissaire B3 (7 SEO)	Limite	Rejet		Limite	Rejet	Limite	Rejet
Substances	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	80	73,70	10,11	280	75,4	1 400	75,4
DBO5	25	17,00	3,74	80	10,1	400	12,5
DCO	120	47,42	18,44	380	37,0	1 900	37,0
Azote Kjeldahl	40	9,17	2,17	128	7,1	640	8,7
Hydrocarbures	5	2,60	0,37	-	1,3	-	1,3
Phosphates	28	9,09	2,83	16	6,0	36	8,0

**Commentaires** : Sur les 398 rejets de fosses SEO réalisés en 2023, plusieurs dépassements de critères ont été détectés. Les paramètres en dépassement sont les concentrations dans les fosses avant rejet, en MES, en DBO5, en DCO et en hydrocarbures, et les flux en MES.

Les dépassements en MES (matières en suspension) sont liées à des fortes précipitations après plusieurs semaines sans pluie, ce qui a pour effet de lessiver les sols et emporter les poussières vers les réseaux de collecte des eaux pluviales (SEO).

Un Evénement Significatif Environnement a été déclaré (voir Partie I - §V-1) pour le dépassement de la limite réglementaire en hydrocarbures au rejet de la fosse 9 SEO survenu à deux reprises en octobre et novembre 2023. Ces dépassements sont liés à un dysfonctionnement ou un défaut d'exploitation du déshuileur SEH situé en amont de la fosse 9 SEO.

#### 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 2023 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 substances chimiques par voie liquide.

	MES (kg)	Sulfates (kg)
janvier	257,10	42 062,71
février	156,06	34 305,13
mars	80,71	29 479,05
avril	170,50	25 686,28
mai	146,87	25 654,60
juin	104,00	21 091,93
juillet	158,04	29 772,62
août	134,46	37 371,97
septembre	91,12	36 421,39
octobre	83,32	34 356,98
novembre	78,14	33 767,30
décembre	75,71	36 858,41
<b>TOTAL ANNUEL</b>	1 536,05	386 828,37

### ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets d'effluents liquides chimiques de l'année 2023 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2023.

Paramètres	Unité	2021	2022	2023	Prévisionnel 2023
MES	kg	2 452	4 268	1 536	-
Sulfates	kg	332 887	438 957	386 828	390 000

**Commentaires** : Les rejets issus de SDX sont redescendus à des valeurs habituelles, après l'année 2022 marquée par une consommation plus importante d'eau industrielle. Le prévisionnel de rejet en sulfates est respecté.

### iii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2023 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	121,0	17,6	60	25,8	300	64,5
Sulfates	6 000	5 929,4	4 230,0	1 440	1 360,0	7 200	5 490,0

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

**Commentaires** : l'ensemble des limites réglementaires a été respecté sur les rejets issus de la station de déminéralisation.

#### 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 2023, certains miniblocs ont dû être déconnectés du réseau SEO, en raison 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** : En janvier 2023 les concentrations en MES et DCO en sortie du minibloc 9 sont supérieures à la limite réglementaire. Ce minibloc a été isolé du réseau le temps de retrouver un fonctionnement optimal.

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.

Quelques données sont absentes en lien avec la mise à l'arrêt de certains miniblocs pour maintenance notamment.

#### 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 2023.

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	0	0
Février	0	0
Mars	0	0
Avril	2 564,00	15 360,00
Mai	5 855,85	22 809,60
Juin	3 831,63	19 188,04
Juillet	6 987,78	21 954,44
Août	4 112,93	20 443,82
Septembre	5 560,35	20 785,38
Octobre	4 211,16	22 759,82
Novembre	4 390,82	23 918,71
Décembre	800,00	2 856,00
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>38 404,52</b>	<b>170 075,81</b>

#### ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets d'effluents liquides chimiques de l'année 2023 liés au traitement biocide avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2023.

Paramètres	Unité	2021	2022	2023	Prévisionnel 2023
Bromoformes	kg	42 555	59 338	38 405	65 000
Oxydants résiduels	kg	0	0	170 076	75 000

**Commentaires** : A partir de 2023, ces mesures ne sont effectuées que lors des périodes de fonctionnement du système d'électrochloration.

Ces deux paramètres peuvent fortement fluctuer d'une année à l'autre, en fonction de la chloration effectuées sur nos circuits, dont la durée dépend des conditions extérieures (température de l'eau de mer). Les oxydants résiduels ont été mesurés en 2023 à des valeurs supérieures à la limite de quantification, ce qui explique l'évolution par rapport aux années précédentes.

### 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	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	0,030	85	36,37	950	436,45	230 000	40 184,80
Oxydants résiduels	0,3	0,10	520	122,05	5700	1 464,59	1 370 000	285 570,83

**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 2023 n'a pas été concernée par des actions de maintenance (hors maintenance programmée) et aucune intervention ou opération de maintenance anticipée n'ont été nécessaires.

### 4. Opérations exceptionnelles de rejets d'effluents liquides

Le CNPE de Gravelines n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de rejet d'effluents liquides chimiques en 2023.

## 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 ( $P_{th}$ ) à évacuer au condenseur et au 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 moyennes de ces différents paramètres pour l'année 2023 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	11,22	18,25	7,75	non requis
Février	9,70	18,51	8,81	non requis
Mars	8,55	17,72	9,73	non requis
Avril	12,41	/	/	non requis
Mai	15,72	/	/	non requis
Juin	18,63	27,51	8,85	18,80
Juillet	20,03	25,61	5,58	19,15
Août	20,84	25,30	4,46	19,87
Septembre	21,25	27,98	6,74	20,45
Octobre	18,11	24,51	6,40	17,74
Novembre	14,05	21,93	7,88	non requis
Décembre	11,35	19,45	8,10	non requis

**Commentaires :** Les températures du canal de rejet n'ont pu être mesurées entre le 9 mars et le 31 mai 2023. A partir du 9 mars 2023, un chantier de remplacement du radeau KRS, sur lequel la ligne des thermographes est attachée, a débuté. En amont du remplacement, la ligne a été attachée sur un point fixe à proximité. Après analyse des données, celles-ci ont été considérées non représentatives jusqu'à la remise en conformité de l'installation des lignes de mesure le 31 mai 2023. Toutefois, les rejets thermiques ont pu être surveillés avec d'autres capteurs interne site.

## 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	11,2
Température de l'eau de mer à l'extrémité du canal de rejet	°C	30°C de novembre à mai	23,38
		35°C de juin à octobre	30,47
température de l'eau de mer après mélange	°C	30	21,71

**Commentaires** : les limites réglementaires associées aux rejets thermiques ont toujours été respectées en 2023.

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

L'année 2023 n'a pas été concernée par des actions de maintenance (hors maintenance programmée) et aucune intervention ou opération de maintenance anticipée n'ont été nécessaires.

## Partie VI - Surveillance de l'environnement

### I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement

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

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

- Une fonction d'alerte assurée au moyen de mesures en continu. Elle permet la détection précoce de toute évolution atypique d'un ou plusieurs paramètres environnementaux en lien avec l'exploitation des installations afin de déclencher les investigations et, si nécessaire, des actions de prévention (arrêt du rejet...);
- Une fonction de contrôle du bon fonctionnement global des installations au travers des paramètres que la réglementation demande de suivre à différentes fréquences. Les résultats des analyses sont comparés, soit aux limites autorisées, soit à des valeurs repères (seuil de détection des appareils de mesure, bruit de fond naturel...);
- Une fonction de suivi et d'étude visant à s'assurer de l'absence d'impact à long terme des prélèvements et des rejets sur les écosystèmes terrestre et aquatique. C'est l'objet des campagnes de mesures saisonnières de radioécologie.

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

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

Ainsi, le CNPE réalise annuellement, sous le contrôle de l'ASN, environ 13 500 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

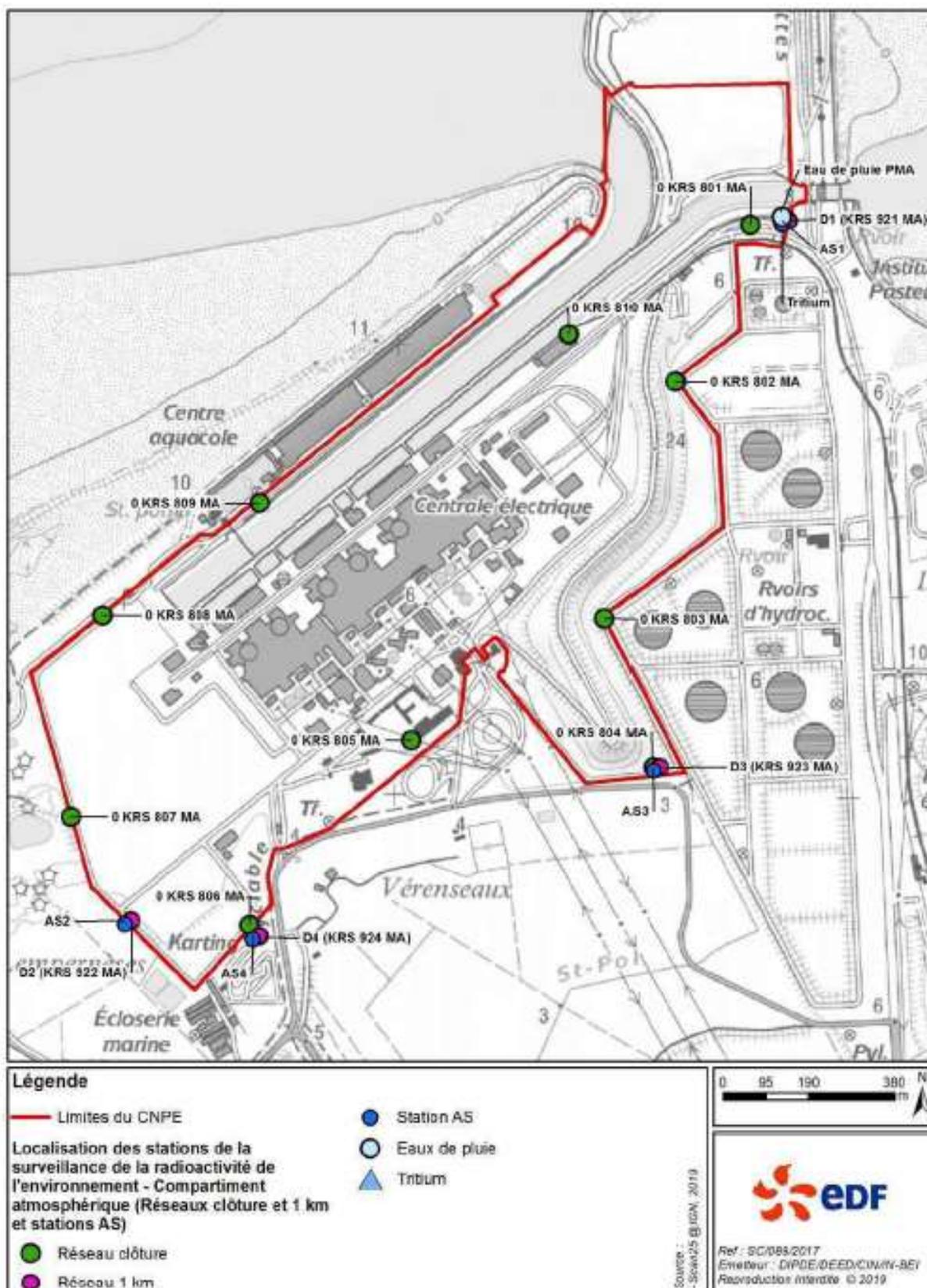


Figure 3 : Implantation des stations de surveillance des réseaux « clôture » et « 1 km »

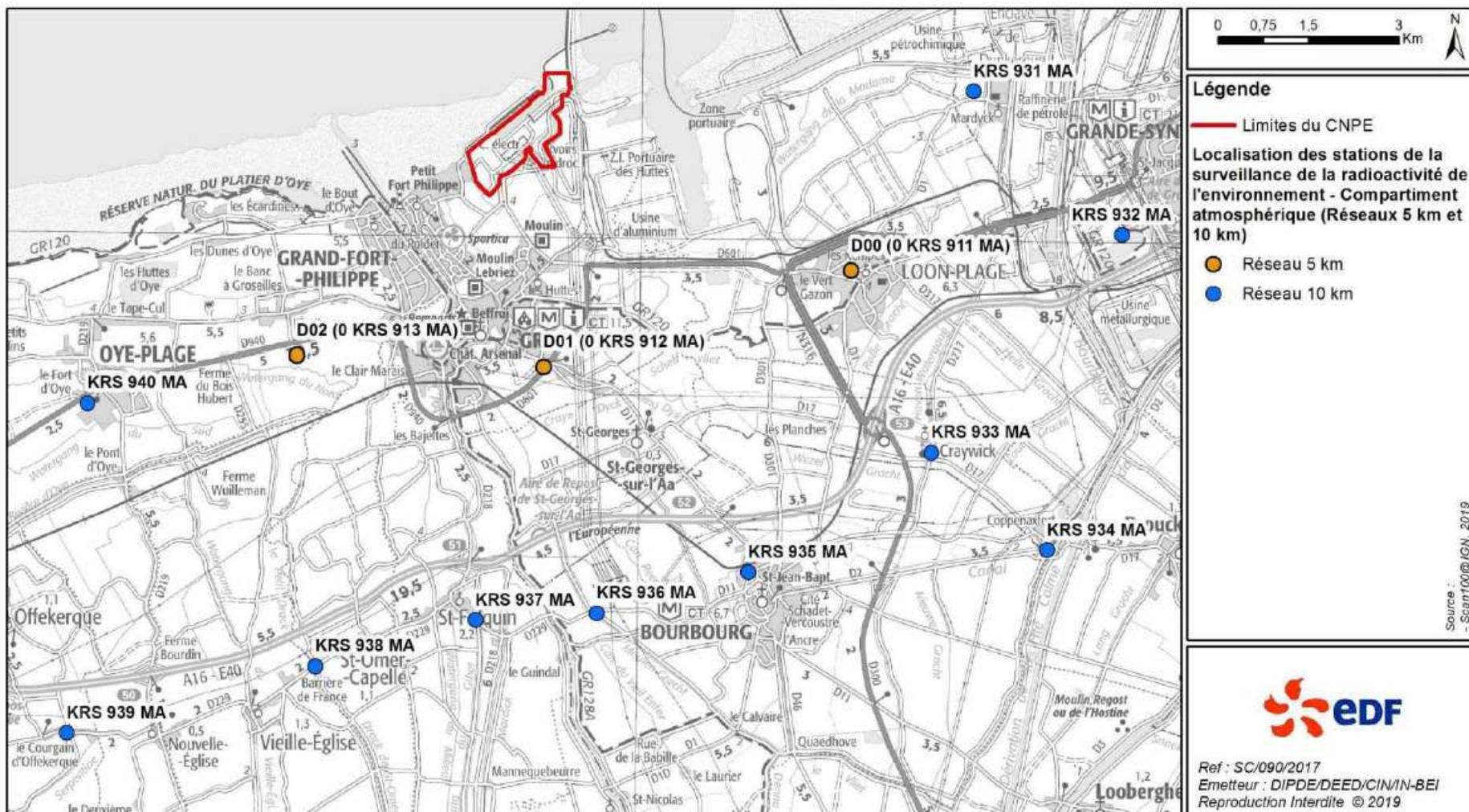


Figure 4 : Implantation des stations de surveillance des réseaux « 5 km » et « 10 km »

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 2023 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 2023 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2023 (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	168,0	87,5	84,3	87,1	87,05
1 km	170,4	90,9	84,4	83,8	84,5
5 km	170,4	101,2	105,3	104,8	105,3
10 km	136,8	96,2	95,4	95,5	95,7

**Commentaires :** Pour les quatre réseaux, les débits de dose moyens enregistrés pour l'année 2023 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 2023 sont donnés dans le tableau suivant.

Compartiment	Station	Paramètres	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée	Limite réglementaire (pour chaque analyse)
Poussières atmosphériques	AS1	Bêta global (Bq/m <sup>3</sup> )	3,98E-04	2,57E-03	0,01 Bq/m <sup>3</sup>
	AS2	Bêta global (Bq/m <sup>3</sup> )	3,84E-04	2,73E-03	0,01 Bq/m <sup>3</sup>
	AS3	Bêta global (Bq/m <sup>3</sup> )	3,94E-04	2,68E-03	0,01 Bq/m <sup>3</sup>
	AS4	Bêta global (Bq/m <sup>3</sup> )	3,93E-04	2,81E-03	0,01 Bq/m <sup>3</sup>

Compartiment	Station	Paramètres	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée	Limite réglementaire (pour chaque analyse)
Tritium atmosphérique	AS1	Tritium (Bq/m <sup>3</sup> )	< 1,66E-01	2,30E-01	50 Bq/m <sup>3</sup>

Compartiment	Station	Paramètres	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée	Limite réglementaire (pour chaque analyse)
Eau de pluie	AS1	Bêta global (Bq/L)	< 1,44E-01	2,50E-01	-
	AS1	Tritium (Bq/L)	< 6,86E+00	1,00E+01	-
	AS1	Potassium (mg/L)	< 4,25E-01	2,20E+00	-

**Commentaires :** Les mesures de surveillance du compartiment atmosphérique pour l'année 2023 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 2023 sont donnés dans le tableau suivant. Concernant les résultats des analyses par spectrométrie gamma, seules les activités relatives aux radionucléides d'origine artificielle en lien avec le spectre de référence des effluents et au potassium 40 ainsi que les autres radionucléides d'origine artificielle supérieures aux seuils de décision sont présentés.

Nature du prélèvement	Radionucléide	Périodicité	Moyenne annuelle	Valeur minimale mesurée	Valeur maximale mesurée
Végétaux terrestres 1 (Bq/kg sec)	Spectrométrie gamma	<sup>137</sup> Cs	4,08E-01	2,00E-01	5,00E-01
		<sup>40</sup> K	5,47E+02	2,76E+02	7,08E+02
Végétaux terrestres 2 (Bq/kg sec)	Spectrométrie gamma	<sup>137</sup> Cs	4,17E-01	2,00E-01	8,00E-01
		<sup>40</sup> K	6,99E+02	3,34E+02	9,24E+02
Lait (Bq/L)	Spectrométrie gamma	<sup>137</sup> Cs	4,00E-01	3,00E-01	5,00E-01
		<sup>40</sup> K	4,89E+01	4,10E+01	6,20E+01

**Commentaires** : Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment terrestre ainsi que leur interprétation pour l'année 2022 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 2023 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	12,53	10,70	14,30
		Tritium (Bq/L)	bi-mensuelle	7,52	4,10	11,20
		Potassium (mg/L)	bi-mensuelle	416,25	395,00	440,00
	Matières en suspension	Activité bêta globale (Bq/L)	bi-mensuelle	3,34E-02	8,80E-03	1,00E-01
Eaux du large 2 (hors influence des rejets)	Eau filtrée	Activité bêta globale (Bq/L)	mensuelle	12,47	11,00	13,80
		Tritium (Bq/L)	mensuelle	7,43	3,90	14,50
		Potassium (mg/L)	mensuelle	415,00	395,00	430,00
	Matières en suspension	Activité bêta globale (Bq/L)	mensuelle	2,12E-02	1,03E-02	5,20E-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 2022 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)	46,7
	$\beta$ global (Bq/L)	1,6
	Tritium (Bq/L)	11,3

Milieux analysés	Paramètres	Valeur maximale de l'année
0 SEZ 002 PZ	Potassium (mg/L)	34,2
	β global (Bq/L)	1,2
	Tritium (Bq/L)	< 2,7
0 SEZ 003 PZ	Potassium (mg/L)	69,0
	β global (Bq/L)	2,6
	Tritium (Bq/L)	3,8
0 SEZ 004 PZ	Potassium (mg/L)	13,0
	β global (Bq/L)	0,4
	Tritium (Bq/L)	4,2
0 SEZ 005 PZ	Potassium (mg/L)	448,0
	β global (Bq/L)	15,6
	Tritium (Bq/L)	35,3
0 SEZ 015 PZ	Potassium (mg/L)	35,7
	β global (Bq/L)	1,2
	Tritium (Bq/L)	6,3
0 SEZ 052 PZ	Potassium (mg/L)	147,0
	β global (Bq/L)	5,7
	Tritium (Bq/L)	18,1
0 SEZ 056 PZ	Potassium (mg/L)	28,8
	β global (Bq/L)	1,2
	Tritium (Bq/L)	17,3

**Commentaires :** 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, 111 et 114 PZ en 2022 et du piézomètre 0 SEZ 088 PZ (marquage historique), une surveillance complémentaire a été mise en place sur le CNPE de Gravelines. Cette surveillance déjà en cours en 2022 s'est poursuivie en 2023. Elle 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. Le piézomètre 0 SEZ 008 PZ a à nouveau dépassé la valeur de 100 Bq/l en 2023. Les autres piézomètres ont retrouvé des valeurs habituelles.

Les résultats de cette surveillance complémentaire sont présentés dans le tableau suivant.

Piézo­mètre	Paramètres	Unité	Valeur maximale mesurée en 2022
0 SEZ 008 PZ	tritium	Bq/L	<b>148,8</b> (moyenne : 49,6 Bq/L) Une augmentation tritium est apparue en octobre / novembre 2023. Des fluctuations inexplicables sur des courtes périodes sont visibles depuis plusieurs années sur ce piézomètre.

Piézomètre	Paramètres	Unité	Valeur maximale mesurée en 2022
0 SEZ 088 PZ	tritium	Bq/L	<b>106,0</b> (moyenne : 46,6 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 globalement inférieure à 100 Bq/l.
0 SEZ 111 PZ	tritium	Bq/L	<b>79,7</b> (moyenne : 38,8 Bq/L) Des fluctuations dont l'origine n'a pu être déterminée sont visibles depuis plusieurs années sur ce piézomètre.
0 SEZ 114 PZ	tritium	Bq/L	<b>12,1</b> (moyenne : 5,2 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	<b>42,9</b> (moyenne : 13,4 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 <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	Métaux totaux (mg/L)	Sulfates (mg/L)
0 SEZ 001 PZ	janvier	11,5	<0,1	1,81	<2,7	4,44	2,63	0,04	131
	juillet	11,1	<0,1	2,33	<2,7	2,66	2,74	0,07	222
0 SEZ 002 PZ	janvier	8,3	<0,1	0,6	<0,27	<0,03	<0,5	0,09	
0 SEZ 003 PZ	janvier	7,6	<0,1	1,09	3,6	<0,03	0,68	0,06	
0 SEZ 004 PZ	mars	9,7	<0,1	<0,50	11,4	0,1	<0,5	0,02	
	septembre	9,9	<0,1	<0,50	11,3	<0,03	<0,5	0,03	
0 SEZ 005 PZ	février	>12,0	<0,1	9,47	<2,7	<0,30	11,5	0,01	
	août	11,5	<0,1	4,68	<2,7	3,35	5,89	0,01	
0 SEZ 015 PZ	juin	10,8	<0,1	0,68	0,79	4,7	<0,5	0,06	
	décembre	11	<0,1	0,65	11,2	0,13	<0,5	0,08	
0 SEZ 052 PZ	avril	12,4	<0,1	5,87	<0,27	<0,03	7,42	0,23	59,2
	octobre	>12,0	<0,1	6,72	<2,7	<0,30	8,3	0,16	64
0 SEZ 056 PZ	mai	11,1	<0,1	2,34	<0,27	0,15	2,09	0,14	
	novembre	10,8	<0,1	1,78	<0,27	0,17	1,98	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 2023.

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 (21,5 °C) observé le 14 septembre 2023. L'année 2023 reste globalement au-dessus de la médiane annuelle de la série (+ 0,8 °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 2023 était de 23,9 °C (mi-mai), et de 26,4 °C (début octobre) pour la période juin-octobre 2023. Le transit de l'eau dans la centrale s'est traduit par un échauffement moyen sur l'année de  $6,7 \pm 2,1$  °C sur base des mesures en surface hebdomadaires réalisées pas Flandre Analyses, avec une valeur maximale de 10,2 °C observée en avril pour l'année 2023.*

*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 montraient pas de stratification significative de la colonne d'eau, comme observée 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, comme cela a pu être observé en 2023. Le suivi mensuel de ce paramètre au point Prise a montré que la turbidité était plus importante en période hivernale par rapport au printemps où la turbidité était plus faible. En 2023, les concentrations en oxygène dissous présentaient un cycle saisonnier marqué, avec des diminutions en fin de printemps et durant l'été. Excepté pour les mois de septembre et décembre, ces concentrations étaient dans la moyenne basse des observations historiques, passant systématiquement en dessous des 9 mg.l<sup>-1</sup>, comme observé lors des deux campagnes pélagiques.*

*Le suivi hebdomadaire des paramètres hydrologiques réalisés en 2023 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 2023 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. »*

#### 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'aménée 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 2023 (janvier), le renouvellement des stocks d'azotes inorganiques a été globalement dans la moyenne des observations historiques. Dès le démarrage de la poussée phytoplanctonique en février, les concentrations de DIN ont rapidement baissé. La régénération de l'ammonium, des nitrates et des nitrites s'est amorcée à la fin du bloom printanier (mai-juin), puis en fin d'été (août), soutenue par de fortes pluies (excédent de 37% en août). 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 ( $+0,39 \pm 2,55 \mu\text{mol.l}^{-1}$ ), les nitrates ( $+0,32 \pm 9,18 \mu\text{mol.l}^{-1}$ ) et les nitrites ( $+0,095 \pm 0,20 \mu\text{mol.l}^{-1}$ ). Les concentrations en phosphate et silicate présentaient un cycle saisonnier, avec des concentrations qui ont diminué pendant la période de production phytoplanctonique (de février à avril, puis en juillet et septembre). 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  $+0,13 \pm 0,43 \mu\text{mol.l}^{-1}$  et  $+0,43 \pm 1,29 \mu\text{mol.l}^{-1}$ ).*

*Le procédé d'électrochloration du circuit de refroidissement permettant de lutter contre le développement de salissures biologiques a été mis en service durant 8 mois au cours de l'année 2023 (entre le 14/04/2023 et le 03/12/2023 alors que la température de l'eau au canal de prise était supérieure à 10°C). Le bromoforme est le principal produit dérivé des opérations d'électrochloration. En dehors de la période d'électrochloration, seule une faible concentration de bromoforme a été détectée dans le canal de rejet (1,1  $\mu\text{g.l}^{-1}$  le 11/04/2023). 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 Escherichia Coli et entérocoques intestinaux.

Les résultats relatifs à la campagne 2023 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.

« 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 Erreur ! Source du renvoi introuvable.). 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.

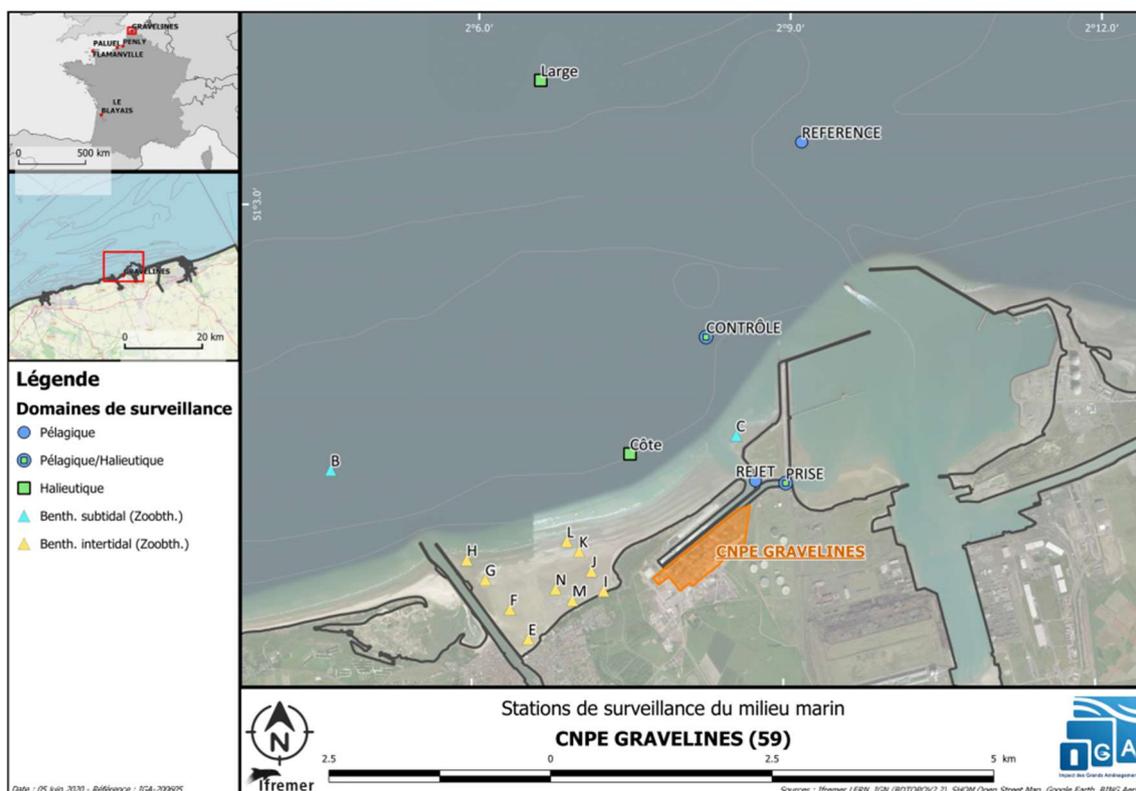


Figure 0-1: Localisation des points suivis de la surveillance écologique du milieu marin autour du CNPE de Gravelines

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 19 juin et 12 septembre 2023. 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 œufs 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 2023, ces campagnes en mer ont eu lieu les 04 avril et 02 mai 2023, et les prélèvements supplémentaires au point Prise, les 22 mars et 17 avril 2023.

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 07 juin 2023.

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 21 février, 04 mai, 18 juillet et 16 octobre 2023.

**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 2023 en rouge)**

Domaine	Compartiment	Paramètres	Points	Fréquence Dates campagnes réalisées en 2023
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		
	Bromophénols	Rejet	Mensuel	
	Microbiologie	Vibrions halophiles	Prise, Rejet	Hebdomadaire
Phytoplancton	Biomasse chlorophyllienne	Prise	Hebdomadaire	
	Variations spatiales et temporelles des espèces microphytoplanctoniques			

Domaine	Compartiment	Paramètres	Points	Fréquence Dates campagnes réalisées en 2023
	Zooplancton	Biomasse sestoniques	Prise	Mensuel
		Variations spatiales et temporelles des espèces mésozooplanctoniques		
Campagnes pélagiques	Tous	Température, Salinité, Nutriments, Turbidité, Oxygène dissous, Vibriions halophiles, Phytoplancton et Zooplancton	Prise, Rejet, Contrôle, Référence	19/06/2023 12/09/2023
Halieutique	Ichtyoplancton	Variations spatiales et temporelles (soles et sprats)	Prise, Côte, Contrôle, Large	22/03/2023 04/04/2023 17/04/2023 02/05/2023
	Larves de crustacés	Variations spatiales et temporelles (crevettes grises)		
Benthique	Benthos intertidal	Sédiment (granulométrie)	Estran Petit-Fort-Philippe	07/06/2023
		Variations spatiales et temporelles de la macrofaune		
	Benthos subtidal	Sédiment (granulométrie)	B (hors influence) C (sous influence)	21/02/2023 04/05/2023 18/07/2023 16/10/2023
		Variations spatiales et temporelles de la macrofaune		

### Contexte environnemental

Sur le territoire métropolitain, et dans la continuité de 2022 (année la plus chaude que la France ait connue depuis le début du XX<sup>ème</sup> siècle), l'année 2023 se classe au 2<sup>nd</sup> rang des années les plus chaudes sur notre territoire national, avec une pluviométrie proche de la normale, mais marquée cependant par de forts contrastes nord-sud.

Pour Dunkerque, l'année 2023 se place au 2<sup>nd</sup> rang pour la température moyenne annuelle (12,9 °C) sur la période 1986-2023, et devient la 10<sup>ème</sup> année consécutive où la température moyenne dépasse la valeur de référence 1981-2010. Les années les plus chaudes sont majoritairement des années très récentes : 8 des 10 années les plus chaudes depuis 1950 sont postérieures à 2010. Sur l'ensemble de l'année, le cumul des précipitations est de 914 mm, ce qui représente un excédent de 30 % du cumul attendu, notamment dû à une fin d'année largement excédentaire (d'octobre à décembre).

Le rayonnement cumulé mesuré en 2023 à la station de Calais-Marck (définie comme station de référence pour le CNPE de Gravelines) présente un déficit de presque 4,8 % par rapport à la moyenne 2012-2018. La majorité des mois ont été moins ensoleillés que la normale à l'exception de juin, septembre et octobre.

Sur la côte, l'année 2023 a été moins ventée que la normale (20,2 km/h contre 21,6 km/h), avec des vents faibles plus fréquents que la normale, aux dépens des vents forts moins nombreux.

### 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 14/04/2023 au 03/12/2023). 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 2023 d'environ 0,8 °C. Néanmoins, aucune température de l'eau supérieure à 30 °C de juin à octobre, et supérieure à 25 °C de novembre à mai, n'a été enregistrée au point Rejet en 2023. De plus, l'échauffement moyen hebdomadaire, correspondant à la différence entre les valeurs de température relevées au canal de rejet et celles mesurées au canal d'amenée, 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 2023, la moyenne mensuelle maximale a été atteinte en mai avec une valeur multipliée par 233 (ce qui est proche de la médiane mensuelle de mai sur la période 1997-2022). 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 2023 (janvier), le renouvellement des stocks d'azotes inorganiques a été globalement dans la moyenne des observations historiques. Dès le démarrage de la poussée phytoplanctonique en février, les concentrations de DIN ont rapidement baissé. Cela a tout de même suffi à soutenir la production phytoplanctonique, caractérisée par la prolifération, précoce en 2023, de la prymnésiofycée *Phaeocystis globosa* (accompagnée du groupe *Pseudo-nitzschia* complexe *delicatissima* en concentrations assez faibles en 2023) de fin février à fin mars, dans la moyenne des abondances observées ces dernières années. En 2023, la biomasse phytoplanctonique (estimée par la concentration en chlorophylle a) était encore globalement faible pour la région. 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 2023 ont montré que la concentration en chlorophylle a, ainsi que le pourcentage de chlorophylle active, étaient plus faibles au point Rejet par rapport aux autres points (sauf par rapport au point Prise de septembre), tout comme la diversité spécifique et l'abondance phytoplanctonique. En effet, la hausse de la température, la chloration et les effets mécaniques lors du transit du

phytoplancton dans le circuit de refroidissement de 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 potentielle du transit dans le CNPE sur le phytoplancton et l'hétérogénéité de la distribution spatiale du phytoplancton dans l'eau. A noter cette année, des abondances en bacillariophycées aussi élevées en septembre au point Rejet qu'aux points Prise et 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) par rapport au point Référence (situé plus au large), explique les différences d'abondances que l'on peut observer entre ces deux 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 les deux points très côtiers (Prise et surtout Contrôle) 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 2023, ne présentent pas de caractéristiques ou de modifications majeures pouvant être reliées à l'activité du CNPE.**

### **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 2023, la biomasse moyenne du macrozoobenthos faisait partie des valeurs moyennes acquises depuis 2000 et était comparable à 2011, 2014 et 2015. Les analyses ont permis de distinguer des assemblages faunistiques caractéristiques qui correspondent à une 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 2023.

*En ce qui concerne le benthos subtidal, les sédiments au point B (hors influence de la centrale) étaient composés majoritairement de sables fins et de sables moyens, tout comme ceux du point C (sous l'influence du panache de rejet du CNPE). Le lessivage des fines du sédiment par les eaux rejetées par la centrale, parfaitement matérialisé par les analyses granulométriques, a provoqué la disparition des espèces vasicoles. Contrairement à l'année 2022, où le lessivage des fines par les rejets de la centrale n'avait pas eu lieu aux périodes printanière et automnale, en 2023, ce lessivage des fines a été observé à partir de la période printanière. En effet, des pélites étaient toujours présentes sur le point C en février 2023, et, dans la continuité de ce qui était observé à l'automne 2022, la présence d'un cortège spécifique (habituellement rencontré au point B) avec des espèces à affinité sablo-vaseuse a été relevé. Cependant, à partir de la campagne estivale, un changement majeur dans la composition du peuplement établi au point C a été observé avec un retour du peuplement benthique subtidal de type sabulicole (peuplement à *Nephtys cirrosa*).*

*Malgré ces modifications, et selon l'indice AMBI, la qualité écologique du milieu au point C apparaît comme « très bonne » aux périodes hivernale et printanière, et passe à « bonne » aux saisons estivale et automnale. Bien que le statut écologique soit de bonne qualité, une légère dégradation depuis 2019 sur le point C est toutefois observée.*

*Les résultats enregistrés en 2023 au point C restent donc difficiles à interpréter du fait du changement de peuplement durant l'été. Toutefois, le retour à un peuplement à *Nephtys cirrosa* pourrait permettre de confirmer l'effet de la centrale sur les communautés benthiques du champ proche de l'embouchure du canal de rejet. Cependant, il faut aussi rappeler que le peuplement installé au point C est tout à fait semblable, tant du point de vue de la composition faunistique que de la densité et de la biomasse globale, à ceux établis sur les sédiments similaires dans la région.*

***Au vu des données disponibles pour le compartiment benthique en 2023 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 retour à un peuplement des sables fins à *Nephtys cirrosa* au point C (localisé à l'embouchure du canal de rejet) est pérenne et s'il permet de confirmer que l'effet observé sur ce point est bien causé par le rejet d'eau de la centrale et non pas par d'autres causes (i.e. présence d'autres influences sur la zone tels que des épisodes tempétueux ayant pu lessiver les vases).***

### **Le domaine halieutique**

*En 2023, 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 reflètent la diversité ichtyoplanctonique présente sur le site de Gravelines. Pour la crevette grise, les abondances en 2023 étaient également inférieures de manière globale à celles observées durant les années précédentes.*

*Lors des deux campagnes en mer en 2023, les valeurs d'abondance de la sole, du sprat et de la crevette grise enregistrées sur les trois points étaient globalement assez faibles*

au regard des abondances mesurées les années précédentes, mais étaient semblables à certaines abondances observées au cours de toute la série historique. Toutefois, l'influence éventuelle des rejets du CNPE de Gravelines sur ces populations reste difficile à évaluer. D'une part, l'échantillonnage actuel 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 conduit à une variabilité élevée chaque année, ce qui rend difficile l'interprétation de l'évolution à long terme. 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 2023, 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.

\*\*\*\*\*

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. Même si, durant l'été 2023, un changement majeur dans la composition du peuplement benthique subtidal au point C a été observé, la qualité écologique du milieu apparaît comme « très bonne » aux périodes hivernale et printanière, et « bonne » aux saisons estivale et automnale.

**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 2023, ne montrent pas d'évolution ou de comportement atypique pouvant être mis en relation directe avec le fonctionnement du CNPE. »**

## 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 » et de la grande zone ont été réalisés en octobre 2023. La bathymétrie de 2023 montre, en termes de cumul de hauteurs des dépôts, une variation globalement stable aussi bien sur la petite que sur la grande zone. La dynamique sédimentaire des zones montre une circulation globale des sédiments de même nature que celle des années précédentes avec des alternances de zones de dépôt et d'érosion de proportions relativement identiques. Sur la zone de rejet il ne ressort pas d'indicateur particulier montrant des problèmes d'écoulement des flux issus du canal. Les courants dominants (de

marée) semblent relativement bien jouer leur rôle d'évacuateur même si la zone de rejet étendue à la petite zone conserve sa tendance à stocker une partie des sédiments.

La bathymétrie 2023 ainsi que les plans différentiels de la « petite zone » entre 2022 et 2023 et de la « grande zone » entre 2020 et 2023 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<sup>er</sup> 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 transmet de l'information, par le biais de son site internet, de son compte Twitter, mais aussi en s'adressant directement aux mairies présentes dans un rayon de 2 km, lors 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 e-mail à l'adresse suivante : [communication-gravelines@edf.fr](mailto:communication-gravelines@edf.fr)

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

Une surveillance des niveaux de radioactivité est effectuée dans l'environnement du CNPE de 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](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 efficace<sup>3</sup> 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 :

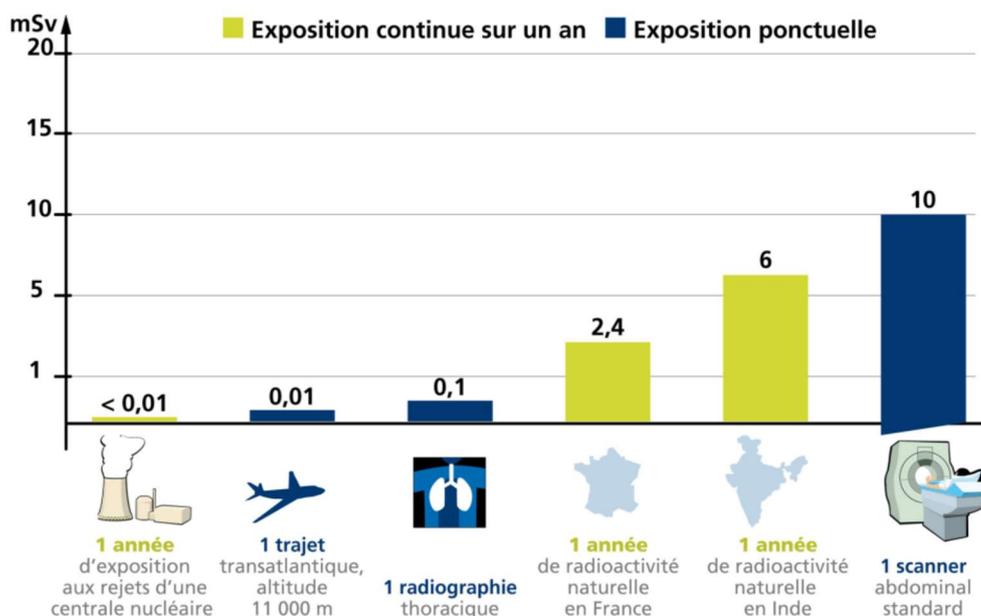
- les habitants consomment pour partie des aliments produits dans l'environnement proche du CNPE ;
- ils vivent toute l'année à proximité de leur lieu d'habitation (non prise en compte de leurs périodes d'absence pour le travail, les vacances...).

---

<sup>3</sup> 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 ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ...) et d'un facteur de pondération tissulaire WT (WT = Tissu Weighting factor) correspondant à la radiosensibilité relative du tissu exposé. La dose efficace a pour objectif d'apprécier le risque total et s'exprime en sievert (Sv). Elle est appelée communément « dose ».

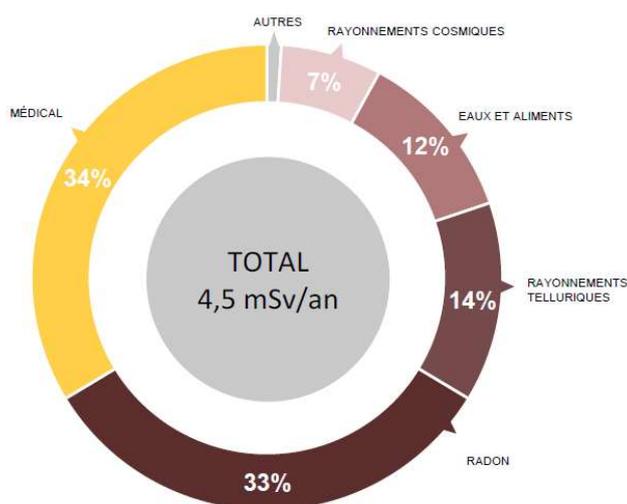
Les principaux facteurs d'incertitudes dans le calcul de dose sont associés essentiellement à quelques données et paramètres difficiles à acquérir sur le terrain, tels que certaines caractéristiques de l'environnement et comportements précis des populations riveraines (les rations alimentaires par exemple).

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 2023 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	6,6E-07	3,1E-05	3,1E-05
Rejets d'effluents liquides	8,7E-04	1,1E-03	2,0E-03
<b>Total</b>	<b>8,7E-04</b>	<b>1,1E-03</b>	<b>2,0E-03</b>

ENFANT DE 10 ANS	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	6,9E-07	3,1E-05	3,2E-05
Rejets d'effluents liquides	1,3E-03	6,4E-04	2,0E-03
<b>Total</b>	<b>1,3E-03</b>	<b>6,7E-04</b>	<b>2,0E-03</b>

ENFANT DE 1 AN	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	7,3E-07	3,4E-05	3,5E-05
Rejets liquides	5,0E-04	6,9E-05	5,7E-04
<b>Total</b>	<b>5,0E-04</b>	<b>1,0E-04</b>	<b>6,0E-04</b>

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 2023 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 VIII - Gestion des déchets

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

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

La démarche industrielle repose sur 4 principes :

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

Pour les installations nucléaires de base du CNPE de 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 empilements de graphite des anciens réacteurs dont la déconstruction est programmée généreront des déchets « de faible activité à vie longue (FAVL) ».

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

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

Types déchet	Niveau d'activité	Durée de vie	Classification	Conditionnement
Filtres d'eau et résines primaires	Faible et Moyenne	Courte	FMA-VC (faible et moyenne activité à vie courte)	Fûts, coques
Filtres d'air	Très faible, Faible et Moyenne		TFA (très faible activité), FMA-VC	Casiers, big-bags, futs, coques, caissons
Résines secondaires				
Concentrats, boues				
Pièces métalliques				
Matières plastiques, 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

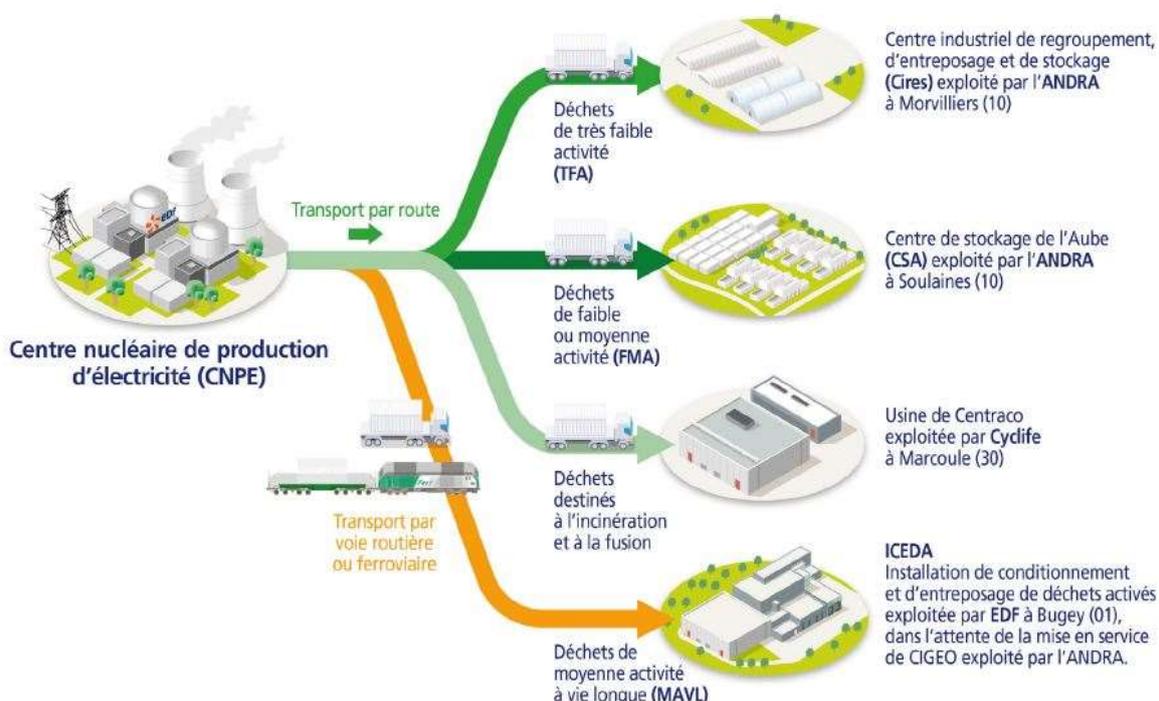


Figure 7 : Transport des déchets radioactifs (Source : EDF)

## 3. Les quantités de déchets entreposés au 31/12/2023

Le tableau suivant présente les quantités de déchets en attente de conditionnement au 31 décembre 2023 pour les 6 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Gravelines.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2023	Commentaires
TFA	464,964 tonnes	En conteneur sur l'aire TFA
FMAVC (Liquides)	20,5 tonnes	Effluents du lessivage chimique, huiles, solvants...
FMAVC (Solides)	537,398 tonnes	Localisation Bâtiment des Auxiliaires Nucléaire et Bâtiment Auxiliaire de Conditionnement (BAC)
MAVL	479 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 2023 pour les 6 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Gravelines.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2023	Type d'emballage
TFA	161 colis	Tous types d'emballages confondus
FMAVC	107 colis	Coques béton
FMAVC	275 colis	Fûts (métalliques, PEHD)
FMAVC	16 colis	Autres (caissons, pièces massives...)

Le tableau suivant présente le nombre de colis évacués et les sites d'entreposage en 2023 pour les 6 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Gravelines.

Site destinataire	Nombre de colis évacués
Cires à Morvilliers	232
CSA à Soulaines	1 588
Centraco à Marcoule	3 243
ICEDA au Bugey	-

En 2023, 5063 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 2023 par les INB EDF :

Quantités 2023 en tonnes	Déchets dangereux		Déchets non dangereux non inertes		Déchets inertes		Total	
	<i>produits</i>	<i>valorisés</i>	<i>produits</i>	<i>valorisés</i>	<i>produits</i>	<i>valorisés</i>	<i>produits</i>	<i>valorisés</i>
Sites en exploitation	12 413	10 648	47 494	38 151	94 495	91 502	154 402	140 301
Sites en déconstruction	109	39	2 010	1 978	938	938	3 057	2 955

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

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

La production totale de déchets conventionnels en 2023 a augmenté de 8,5% par rapport à 2022. La production de déchets inertes reste conséquente en 2023 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.

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

- la création en 2006 du Groupe Déchets Economie Circulaire, chargé d'animer la gestion des déchets conventionnels pour l'ensemble des entités d'EDF. Ce groupe, qui s'inscrit dans le cadre du Système de Management Environnemental certifié ISO 14001 d'EDF, est composé de représentants des Divisions/Métiers des différentes Directions productrices de déchets. Ses principales missions consistent à apporter de la cohérence en proposant des règles et outils de référence aux entités productrices de déchets,
- les entités productrices de déchets conventionnels disposent d'un outil informatique qui permet en particulier de maîtriser les inventaires de déchets et leurs voies de gestion,
- la définition depuis 2008 d'un objectif de valorisation pour l'ensemble des déchets valorisables. Cet objectif est actuellement fixé à 90%,
- la prise en compte de la gestion des déchets dans les contrats de gestion des sites,
- la mise en place de structures opérationnelles assurant la coordination et la sensibilisation à la gestion des déchets de l'ensemble des métiers,
- la création de stages de formation spécifiques « gestion des déchets conventionnels »,
- le recensement annuel des actions de prévention de production des déchets.

En 2023, les 6 unités de production du CNPE de Gravelines ont produit 10 834 tonnes de déchets conventionnels : 97,2 % 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
<b>MB1 bis</b>	190	160	762	7	12	58	96%	93%	92%
<b>MB3</b>	160	200	588	3	2	11	98%	99%	98%
<b>MB4</b>	160	390	660	3	7,3	33	98%	98%	95%
<b>MB5</b>	77	120	326	6	7,7	38	92%	94%	88%
<b>MB6</b>	55	230	383	3	6,6	30	95%	97%	92%
<b>MB7</b>	190	270	739	3	8,8	79	98%	97%	89%
<b>MB8</b>	150	540	1520	4	2,7	24	97%	100%	98%
<b>MB9</b>	190	170	648	13	68	141	93%	60%	78%
<b>MB10</b>	42	180	533	4	3,4	10	90%	98%	98%
<b>MB11</b>	100	130	371	3	8,8	12	97%	93%	97%

Février									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
<b>MB1 bis</b>	310	260	1070	5	5,4	47	98%	98%	96%
<b>MB3</b>	420	150	770	7	7,9	48	98%	95%	94%
<b>MB4</b>	270	150	711	8	20	68	97%	87%	90%
<b>MB5</b>	110	190	415	6	14	44	95%	93%	89%
<b>MB6</b>	150	290	481	4	1	13	97%	100%	97%
<b>MB7</b>	150	290	481	4	1	13	97%	100%	97%
<b>MB8</b>	520	560	1660	4	1	26	99%	100%	98%
<b>MB9</b>	270	180	596	9	21	93	97%	88%	84%
<b>MB10</b>	140	75	362	4	3	11	97%	96%	97%
<b>MB11</b>	130	980	606	1,5	3,5	5	99%	100%	99%

Mars									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
<b>MB1 bis</b>	210	250	643	3	7,4	58	99%	97%	91%
<b>MB3</b>	380	350	1050	4	7	70	99%	98%	93%
<b>MB4</b>	120	257	1210	6	19	99	95%	93%	92%
<b>MB5</b>	95	100	362	3	21	62	97%	79%	83%
<b>MB6</b>	80	200	321	5	27	76	94%	87%	76%
<b>MB7</b>	190	270	711	3	4	61	98%	99%	91%
<b>MB8</b>	350	410	1910	3	2,6	27	99%	99%	99%
<b>MB9</b>	320	130	919	9	24	92	97%	82%	90%
<b>MB10</b>	110	196	426	3	2	63	97%	99%	85%
<b>MB11</b>	180	360	481	3	3,6	18	98%	99%	96%

Avril									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
<b>MB1 bis</b>	210	330	755	7	13	72	97%	96%	90%
<b>MB3</b>	250	260	802	1,5	8,6	68	99%	97%	92%
<b>MB4</b>	87	170	400	1,5	5,6	40	98%	97%	90%
<b>MB5</b>	100	230	3070	3	26	70	97%	89%	98%
<b>MB6</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>MB7</b>	310	930	1230	1,5	8,8	26	100%	99%	98%
<b>MB8</b>	780	610	2170	3	11	29	100%	98%	99%
<b>MB9</b>	210	230	660	14	19	114	93%	92%	83%
<b>MB10</b>	130	380	700	3	16	39	98%	96%	94%
<b>MB11</b>	40	290	140	1,5	10	15	96%	97%	89%

Mai									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
<b>MB1 bis</b>	170	400	958	5	16	69	97%	96%	93%
<b>MB3</b>	120	190	472	3	8,1	54	98%	96%	89%
<b>MB4</b>	120	380	645	3	7,1	43	98%	98%	93%
<b>MB5</b>	46	290	323	3	3,9	42	93%	99%	87%
<b>MB6</b>	250	700	649	13	21	69	95%	97%	89%
<b>MB7</b>	120	270	706	3	13	37	98%	95%	95%
<b>MB8</b>	260	180	566	3	5,8	33	99%	97%	94%
<b>MB9</b>	360	493	1670	8	22	100	98%	96%	94%
<b>MB10</b>	150	200	647	3	2	21	98%	99%	97%
<b>MB11</b>	240	640	1490	3	4,7	20	99%	99%	99%

Juin									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
<b>MB1 bis</b>	180	260	566	3	5	38	98%	98%	93%
<b>MB3</b>	680	1000	3430	5	17	91	99%	98%	97%
<b>MB4</b>	170	220	604	3	5,5	33	98%	98%	95%
<b>MB5</b>	8	110	148	3	3,7	20	63%	97%	86%
<b>MB6</b>	140	360	613	4	11	100	97%	97%	84%
<b>MB7</b>	230	250	783	3	2	46	99%	99%	94%
<b>MB8</b>	450	360	1260	3	2,3	28	99%	99%	98%
<b>MB9</b>	260	380	575	4	30	77	98%	92%	87%
<b>MB10</b>	75	180	291	3	2	27	96%	99%	91%
<b>MB11</b>	160	230	553	3	2	15	98%	99%	97%

Juillet									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
<b>MB1 bis</b>	110	290	556	3	5	43	97%	98%	92%
<b>MB3</b>	190	140	736	1,5	5,2	36	99%	96%	95%
<b>MB4</b>	46	380	436	1,5	1	25	97%	100%	94%
<b>MB5</b>	68	110	377	5	1	18	93%	99%	95%
<b>MB6</b>	49	450	504	1,5	6,6	68	97%	99%	87%
<b>MB7</b>	160	480	773	4	5,6	52	98%	99%	93%
<b>MB8</b>	490	310	1470	3	8,8	57	99%	97%	96%
<b>MB9</b>	170	140	513	5	34	35	97%	76%	93%
<b>MB10</b>	91	250	574	1,5	1,8	43	98%	99%	93%
<b>MB11</b>	130	470	483	1,5	3,2	20	99%	99%	96%

Août									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
<b>MB1 bis</b>	120	280	609	4	4,3	24	97%	98%	96%
<b>MB3</b>	27	180	214	3	2	10	89%	99%	95%
<b>MB4</b>	67	170	554	3	2	18	96%	99%	97%
<b>MB5</b>	170	140	655	4	20	59	98%	86%	91%
<b>MB6</b>	180	250	757	5	8,2	66	97%	97%	91%
<b>MB7</b>	210	270	860	3	8,1	22	99%	97%	97%
<b>MB8</b>	210	140	557	3	2,8	21	99%	98%	96%
<b>MB9</b>	470	990	1200	3	16	52	99%	98%	96%
<b>MB10</b>	63	310	465	6	6,5	59	90%	98%	87%
<b>MB11</b>	110	210	498	7	14	38	94%	93%	92%

Septembre									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
<b>MB1 bis</b>	190	1300	657	3	6,4	45	98%	100%	93%
<b>MB3</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>MB4</b>	40	92	229	1,5	2,6	16	96%	97%	93%
<b>MB5</b>	170	210	602	6	18	81	96%	91%	87%
<b>MB6</b>	510	580	895	1,5	2,5	58	100%	100%	94%
<b>MB7</b>	230	220	790	1,5	4	27	99%	98%	97%
<b>MB8</b>	520	360	1280	6	3,7	24	99%	99%	98%
<b>MB9</b>	550	860	1100	10	18	111	98%	98%	90%
<b>MB10</b>	81	130	334	1,5	1	18	98%	99%	95%
<b>MB11</b>	150	680	812	1,5	9,3	26	99%	99%	97%

Octobre									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
<b>MB1 bis</b>	92	550	361	6	3,5	39	93%	99%	89%
<b>MB3</b>	310	2700	1440	3	12	32	99%	100%	98%
<b>MB4</b>	56	320	399	3	2	10	95%	99%	97%
<b>MB5</b>	130	230	474	3	4,4	36	98%	98%	92%
<b>MB6</b>	360	690	1460	13	27	91	96%	96%	94%
<b>MB7</b>	3600	9800	4870	3	4,6	30	100%	100%	99%
<b>MB8</b>	160	330	740	3	3,1	19	98%	99%	97%
<b>MB9</b>	360	730	923	5	16	114	99%	98%	88%
<b>MB10</b>	100	370	563	3	5,8	73	97%	98%	87%
<b>MB11</b>	240	970	517	3	5,8	11	99%	99%	98%

Novembre									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
<b>MB1 bis</b>	270	1600	2090	22	23	94	92%	99%	96%
<b>MB3</b>	55	210	279	3	2,8	10	95%	99%	96%
<b>MB4</b>	75	150	376	3	2,3	10	96%	98%	97%
<b>MB5</b>	100	140	477	8	7,7	67	92%	95%	86%
<b>MB6</b>	320	520	977	3	6,1	111	99%	99%	89%
<b>MB7</b>	600	1600	1940	10	6,5	68	98%	100%	96%
<b>MB8</b>	37	160	268	3	2	12	92%	99%	96%
<b>MB9</b>	170	250	796	5	9,8	49	97%	96%	94%
<b>MB10</b>	71	150	522	3	5	10	96%	97%	98%
<b>MB11</b>	350	1400	1030	5	5	22	99%	100%	98%

Décembre									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
<b>MB1 bis</b>	200	430	768	6	16	57	97%	96%	93%
<b>MB3</b>	310	330	1050	5	10	60	98%	97%	94%
<b>MB4</b>	120	200	543	7	8,7	16	94%	96%	97%
<b>MB5</b>	190	390	982	4	12	63	98%	97%	94%
<b>MB6</b>	190	300	697	7	13	92	96%	96%	87%
<b>MB7</b>	180	200	574	3	3,7	27	98%	98%	95%
<b>MB8</b>	670	600	1400	3	3,7	15	100%	99%	99%
<b>MB9</b>	290	610	836	3	2	17	99%	100%	98%
<b>MB10</b>	54	310	494	3	2	10	94%	99%	98%
<b>MB11</b>	150	160	684	3	2,2	15	98%	99%	98%

## **ANNEXE 2**

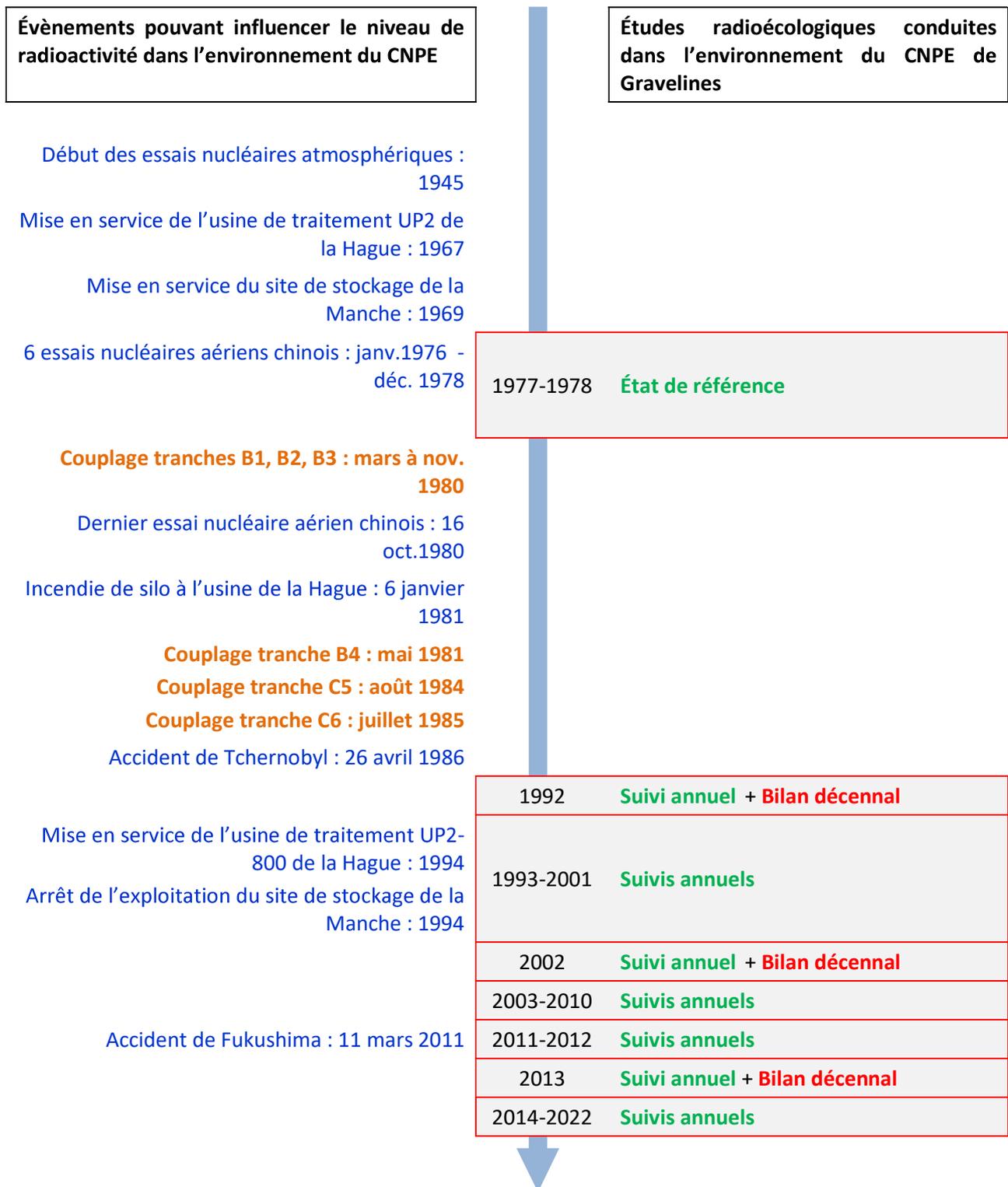
### ***Suivi radio-écologique annuel des CNPE de la Manche et de la mer du Nord 2022 (IRSN)***

## 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 25 page 163). 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 24 page 159. Les références bibliographiques sont présentées en pages 205 et suivantes.



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

## 7.2. État radiologique de l'environnement terrestre

### 7.2.1. Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvements ainsi que la nature des échantillons collectés sont reportées sur la Figure 25 page 163. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 83 page 161. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique des sols de pâturage échantillonnés sont présentées dans le Tableau 97 page 188.

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 à sud-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-nord-est du CNPE (Gravelines AS1, Loon-Plage et Dunkerque). La zone hors vents dominants (ZNI) se situe dans le secteur sud à sud-sud-ouest (Saint-Georges-sur-l'Aa, et Vieille-Eglise).

En 2022, 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 2022. 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  $^{14}\text{C}$  (une par trimestre) dont les résultats seront présentés dans le rapport simplifié exigé au titre de la réglementation 2022.

**Tableau 83 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique de 2022 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
6,85 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13879	50,95220	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	23/08/2022	Gamma (Cendre)	8,27	16,05
6,85 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13879	50,95220	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	23/08/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	28,18	-
6,85 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13879	50,95220	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	23/08/2022	C élémentaire (Sec)	28,18	-
6,85 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13879	50,95220	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	23/08/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	28,18	-
6,85 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13879	50,95220	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	23/08/2022	H-3 lié (Sec)	28,18	-
6,85 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13879	50,95220	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	23/08/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	28,18	-
6,85 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13879	50,95220	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	23/08/2022	H-3 libre (Liquide)	28,18	-
6,85 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13879	50,95220	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm State 0-5 cm	23/08/2022	Gamma (Sec)	1,16	-
6,85 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13879	50,95220	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm State 0-5 cm	23/08/2022	Granulométrie (Sec)	1,16	-
6,85 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13879	50,95220	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm State 0-5 cm	23/08/2022	MO après combustion (Sec)	1,16	-
10,56 km SO	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Eglise	02,05504	50,93252	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	Gamma (Cendre)	19,20	5,54
10,56 km SO	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Eglise	02,05504	50,93252	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	19,14	-
10,56 km SO	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Eglise	02,05504	50,93252	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	C élémentaire (Sec)	19,14	-
10,56 km SO	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Eglise	02,05504	50,93252	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	19,14	-
10,56 km SO	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Eglise	02,05504	50,93252	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	H-3 lié (Sec)	19,14	-
10,56 km SO	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Eglise	02,05504	50,93252	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	19,14	-
10,56 km SO	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Eglise	02,05504	50,93252	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	H-3 libre (Liquide)	19,14	-
1,19 km ENE	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	02,14682	51,02012	Herbes	Herbe de prairie permanente	Entier	21/02/2022	Gamma (Cendre)	1,45	18,56
1,19 km ENE	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	02,14682	51,02012	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm State 0-5 cm	21/02/2022	Gamma (Sec)	1,11	-
1,19 km ENE	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	02,14682	51,02012	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm State 0-5 cm	21/02/2022	Granulométrie (Sec)	1,11	-

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
1,19 km ENE	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	02,14682	51,02012	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm State 0-5 cm	21/02/2022	MO après combustion (Sec)	1,11	-
1,38 km ENE	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	02,14831	51,02173	Autres végétaux	Lierre commun Hedera helix	Feuilles annuelles	21/02/2022	H-3 lié (Sec)	2,86	-
1,38 km ENE	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	02,14831	51,02173	Autres végétaux	Lierre commun Hedera helix	Feuilles annuelles	21/02/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	2,86	-
1,38 km ENE	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	02,14831	51,02173	Autres végétaux	Lierre commun Hedera helix	Feuilles annuelles	21/02/2022	H-3 libre (Liquide)	2,86	-
4,12 km E	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Loon-Plage	02,19016	51,02331	Mousses terricoles	Tortula ruralis Tortula ruralis	Entier	21/02/2022	Gamma (Frais)	1,15	-
9,8 km E	Gravelines - Zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	02,27298	51,00794	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	Gamma (Cendre)	12,00	4,21
9,8 km E	Gravelines - Zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	02,27298	51,00794	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	10,77	-
9,8 km E	Gravelines - Zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	02,27298	51,00794	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	C élémentaire (Sec)	10,77	-
9,8 km E	Gravelines - Zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	02,27298	51,00794	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	10,77	-
9,8 km E	Gravelines - Zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	02,27298	51,00794	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	H-3 lié (Sec)	10,77	-
9,8 km E	Gravelines - Zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	02,27298	51,00794	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	10,77	-
9,8 km E	Gravelines - Zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	02,27298	51,00794	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	H-3 libre (Liquide)	10,77	-

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
9,8 km E	Gravelines - Eau phréatique hors aval hydraulique	Dunkerque	02,27298	51,00794	Eaux boisson	Eau de boisson	Entier	23/08/2022	H-3 libre (Liquide)	-	-

- : absence de traitement. Distance au site calculée en ligne droite entre les coordonnées d'un point de référence du site et celles du point de prélèvement

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

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



Figure 25 - Localisation du CNPE de Gravelines et des stations terrestres<sup>11</sup> échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2022.

<sup>11</sup> 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  $\gamma$  des activités en radionucléides d'origine naturelle dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 98 page 189.

En 2022, 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  $^{40}\text{K}$  et, dans une moindre mesure, aux radionucléides des familles du  $^{232}\text{Th}$  et de  $^{238}\text{U}$ . Dans les sols, les activités massiques en  $^{40}\text{K}$ , en descendants du  $^{232}\text{Th}$  et du  $^{238}\text{U}$  sont en accord avec les valeurs observées en France métropolitaine [3, 23, 24]. La seconde composante, cosmogénique, est due au  $^7\text{Be}$ , 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  $\gamma$  des activités en radionucléides d'origine artificielle dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 99 page 190.

Dans les sols, les mousses terrestres, le lait, et la salade échantillonnée à Dunkerque, le seul radionucléide d'origine artificielle quantifié est le  $^{137}\text{Cs}$ . Ce radionucléide ne l'est pas dans les salades échantillonnées à Vieille-Eglise. Dans l'herbe échantillonnée à proximité immédiate du CNPE, du  $^{137}\text{Cs}$ , du  $^{60}\text{Co}$  et de  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  sont détectés. Les activités en  $^{137}\text{Cs}$  détectées dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines en 2022 sont en accord avec les niveaux observés au cours des dix dernières années (Tableau 85 à Tableau 91, pages 175 et suivantes ; et Figure 26 page 165) et avec le bruit de fond attendu en milieu continental [3]. L'évolution temporelle des niveaux d'activité du  $^{137}\text{Cs}$  dans l'environnement terrestre du CNPE témoigne de niveaux relativement stables de cet élément au cours des dix dernières années. Le  $^{60}\text{Co}$  détecté dans l'herbe échantillonnée à proximité de la côte, le fut également en 2016, 2017, 2019 et 2021, de même que le  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  en 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' $^{131}\text{I}$  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  $\gamma$  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.

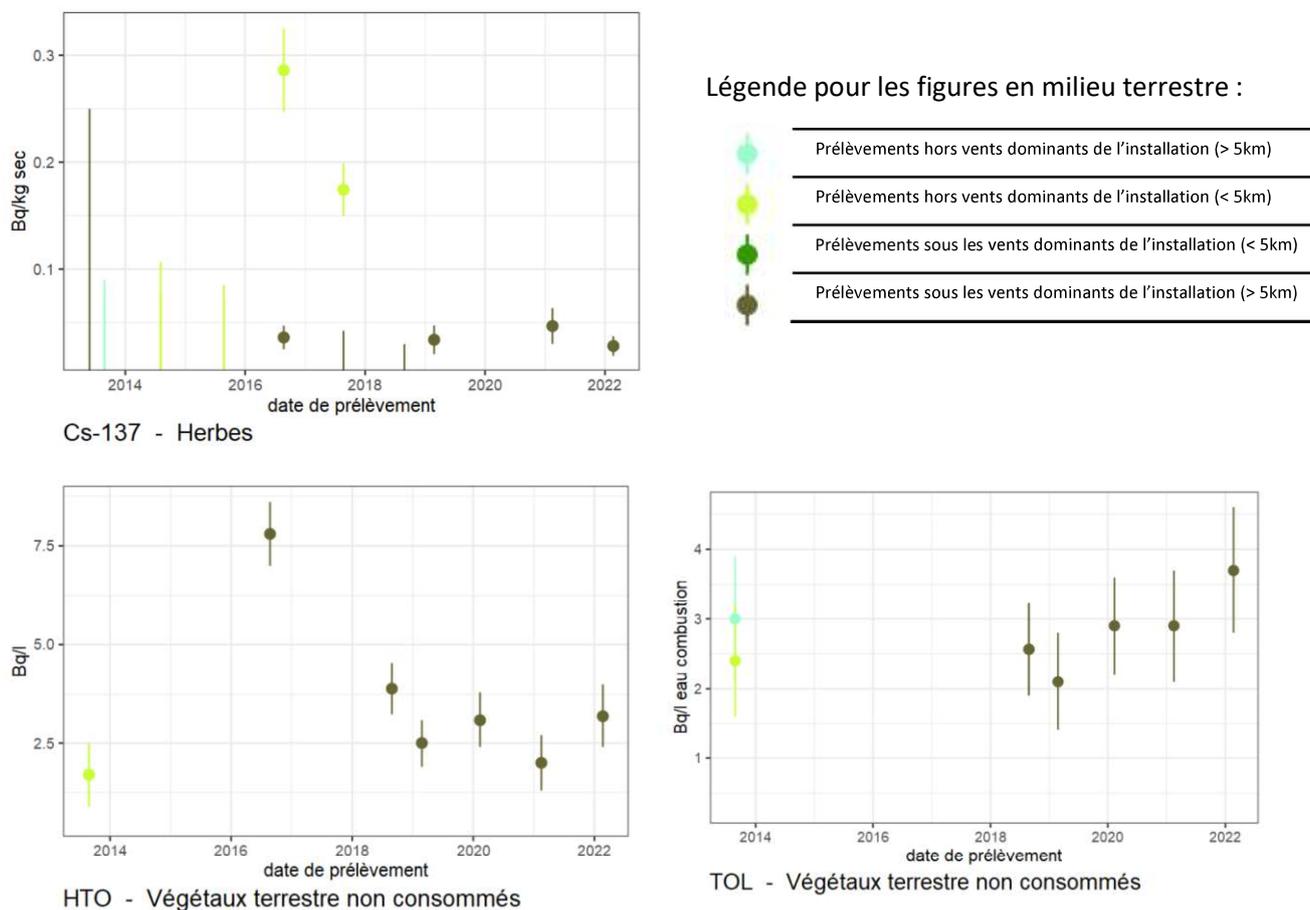
### 7.2.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

#### 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 191, respectivement.

L'activité en tritium libre dans l'eau de boisson est de  $1,4 \pm 0,8 \text{ Bq.L}^{-1}$ . 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  $\text{Bq.L}^{-1}$  ED pour l'HTO et 0,34 à 1,7  $\text{Bq.L}^{-1}$  EC pour le TOL d'après [3]) pour la salade et le lait. L'activité en tritium libre et lié dans les feuilles de lierre est en revanche supérieure à ce bruit de fond ( $3,2 \pm 0,8 \text{ Bq.L}^{-1}$  ED et

3,7±0,9 Bq.L<sup>-1</sup> EC), et met en évidence une contribution locale en champ proche du CNPE de Gravelines pour le lierre.



**Figure 26 – Variation temporelle de 2013 à 2022 des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein de l'herbe et du lierre échantillonnés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines.**

### Carbone 14

Les résultats d'analyse des activités en <sup>14</sup>C dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 102 page 192.

Les activités en <sup>14</sup>C dans le lait échantillonné en champ lointain (230±11 Bq.kg<sup>-1</sup> de C) et dans les salades échantillonnées sous et hors vents (219±11 et 220±11 respectivement) sont comparables au bruit de fond sur le territoire métropolitain français hors influence industrielle locale (223±7 Bq.kg<sup>-1</sup> de C d'après [3]), et ne mettent 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 2021 (251±12 à 264±13 Bq.kg<sup>-1</sup> de C, Tableau 88 page 179) 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 27 page 170. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 84 pages 166 et suivantes. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique des sédiments échantillonnés sont présentées dans le Tableau 103 page 193. 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, 31]. 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 ; [32]). 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 158). 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 2022, 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 2022. 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 2022 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
0,31 km	Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	02,13283	51,01648	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	22/02/2022	Gamma (Cendre)	3,24	23,91
0,31 km	Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	02,13283	51,01648	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	22/02/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	3,10	-
0,31 km	Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	02,13283	51,01648	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	22/02/2022	C élémentaire (Sec)	3,10	-
0,31 km	Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	02,13283	51,01648	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	22/02/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	3,10	-
0,31 km	Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	02,13283	51,01648	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	22/02/2022	H-3 lié (Sec)	3,10	-
0,31 km	Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	02,13283	51,01648	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	22/02/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	3,10	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Mollusques	Moule	Chair	18/08/2022	Gamma (Cendre)	4,00	12,73
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Mollusques	Moule	Chair	18/08/2022	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	4,69	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Mollusques	Moule	Chair	18/08/2022	C élémentaire (Sec)	4,69	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Mollusques	Moule	Chair	18/08/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	4,69	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Mollusques	Moule	Chair	18/08/2022	H-3 lié (Sec)	4,69	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Mollusques	Moule	Chair	18/08/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	4,69	-
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	23/02/2022	Gamma (Cendre)	6,08	3,96
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	23/02/2022	Gamma (Frais)	6,08	3,96
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	23/02/2022	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	4,83	-
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	23/02/2022	C élémentaire (Sec)	4,83	-
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	23/02/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	4,83	-
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	23/02/2022	H-3 lié (Sec)	4,83	-
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	23/02/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	4,83	-
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	23/02/2022	H-3 libre (Liquide)	4,83	-
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	23/02/2022	Fe-55 par SL (Cendre)	6,08	3,96
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	23/02/2022	Ni-63 par Sc. Liq. (Cendre)	6,08	3,96
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	23/02/2022	Gamma (Sec)	1,25	-
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	23/02/2022	Granulométrie (Sec)	1,25	-
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	23/02/2022	MO après combustion (Sec)	1,25	-

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
44,59 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen au large	01,52472	50,89583	Poissons	Plie commune ou Carrelet Pleuronectes platessa	Muscle	09/03/2022	Gamma (Cendre)	4,84	15,24
1,53 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Prise d'eau	02,15142	51,02141	Algues brunes	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	22/02/2022	Gamma (Cendre)	5,50	4,10
1,61 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Prise d'eau	02,15314	51,02106	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	22/02/2022	Gamma (Sec)	1,32	-
1,61 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Prise d'eau	02,15314	51,02106	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	22/02/2022	Granulométrie (Sec)	1,32	-
1,61 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Prise d'eau	02,15314	51,02106	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	22/02/2022	MO après combustion (Sec)	1,32	-
1,7 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12361	51,02778	Crustacés	Crabe	Entier	25/05/2022	Gamma (Cendre)	3,13	1,85
1,7 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12361	51,02778	Crustacés	Crabe	Entier	25/05/2022	H-3 lié (Sec)	2,51	-
1,7 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12361	51,02778	Crustacés	Crabe	Entier	25/05/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	2,51	-
2,18 km	Gravelines - Champ proche	Grand-Fort-Philippe	02,10905	51,00139	Sédiments	Sédiments	≤ 2 mm	22/02/2022	Gamma (Sec)	2,38	-
2,18 km	Gravelines - Champ proche	Grand-Fort-Philippe	02,10905	51,00139	Sédiments	Sédiments	≤ 2 mm	22/02/2022	Granulométrie (Sec)	2,38	-
2,18 km	Gravelines - Champ proche	Grand-Fort-Philippe	02,10905	51,00139	Sédiments	Sédiments	≤ 2 mm	22/02/2022	MO après combustion (Sec)	2,38	-
2,27 km	Gravelines - Champ proche	Grand-Fort-Philippe	02,10318	51,00615	Algues brunes	Fucus Fucus ceranoides	Entier	22/02/2022	Gamma (Cendre)	9,11	4,47
2,5 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15105	51,03321	Mollusques	Huître japonaise Crassostrea gigas	Chair	22/02/2022	Gamma (Cendre)	6,38	5,70
2,5 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15105	51,03321	Mollusques	Huître japonaise Crassostrea gigas	Chair	22/02/2022	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	5,79	-
2,5 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15105	51,03321	Mollusques	Huître japonaise Crassostrea gigas	Chair	22/02/2022	C élémentaire (Sec)	5,79	-
2,5 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15105	51,03321	Mollusques	Huître japonaise Crassostrea gigas	Chair	22/02/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	5,79	-
2,5 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15105	51,03321	Mollusques	Huître japonaise Crassostrea gigas	Chair	22/02/2022	H-3 lié (Sec)	5,79	-
2,5 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15105	51,03321	Mollusques	Huître japonaise Crassostrea gigas	Chair	22/02/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	5,79	-
2,6 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15138	51,03409	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	22/02/2022	Gamma (Sec)	1,23	-
2,6 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15138	51,03409	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	22/02/2022	Granulométrie (Sec)	1,23	-
2,6 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15138	51,03409	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	22/02/2022	MO après combustion (Sec)	1,23	-
2,63 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15066	51,03473	Algues brunes	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	22/02/2022	Gamma (Cendre)	5,82	3,80
2,63 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15066	51,03473	Algues brunes	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	22/02/2022	Gamma (Frais)	5,82	3,80
2,63 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15066	51,03473	Algues brunes	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	22/02/2022	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	5,47	-
2,63 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15066	51,03473	Algues brunes	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	22/02/2022	C élémentaire (Sec)	5,47	-
2,63 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15066	51,03473	Algues brunes	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	22/02/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	5,47	-

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
2,63 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15066	51,03473	Algues brunes	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	22/02/2022	H-3 lié (Sec)	5,47	-
2,63 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15066	51,03473	Algues brunes	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	22/02/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	5,47	-
2,63 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15066	51,03473	Algues brunes	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	22/02/2022	H-3 libre (Liquide)	5,47	-
2,63 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15066	51,03473	Algues brunes	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	22/02/2022	Fe-55 par SL (Cendre)	5,82	3,80
2,63 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15066	51,03473	Algues brunes	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	22/02/2022	Ni-63 par Sc. Liq. (Cendre)	5,82	3,80
3,11 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12056	51,04056	Poissons	Plie commune ou Carrelet Pleuronectes platessa	Muscle	25/05/2022	Gamma (Cendre)	4,71	15,35
3,11 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12056	51,04056	Poissons	Plie commune ou Carrelet Pleuronectes platessa	Muscle	25/05/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	4,67	-
3,11 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12056	51,04056	Poissons	Plie commune ou Carrelet Pleuronectes platessa	Muscle	25/05/2022	C élémentaire (Sec)	4,67	-
3,11 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12056	51,04056	Poissons	Plie commune ou Carrelet Pleuronectes platessa	Muscle	25/05/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	4,67	-
3,11 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12056	51,04056	Poissons	Plie commune ou Carrelet Pleuronectes platessa	Muscle	25/05/2022	H-3 lié (Sec)	4,67	-
3,11 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12056	51,04056	Poissons	Plie commune ou Carrelet Pleuronectes platessa	Muscle	25/05/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	4,67	-

- : absence de traitement. Distance au site calculée en ligne droite entre les coordonnées d'un point de référence du site et celles du point de prélèvement  
 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 27 - Localisation du CNPE de Gravelines et des stations marines<sup>12</sup> échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2022.

<sup>12</sup> 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.

## 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  $\gamma$  des activités en radionucléides d'origine naturelle dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 104 page 195.

En 2022, 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  $^{40}\text{K}$  est le radionucléide prépondérant en termes d'activité. Les activités en  $^{40}\text{K}$  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  $100 \text{ Bq.kg}^{-1}$  frais). Le  $^7\text{Be}$  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  $\gamma$  des activités en radionucléides d'origine artificielle dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 105 page 196.

La radioactivité d'origine artificielle au sein des sédiments et des organismes marins végétaux et animaux est essentiellement imputable au  $^{137}\text{Cs}$ , et dans une moindre mesure, au  $^{60}\text{Co}$  (dans les sédiments fins et les algues en champ proche), au  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  (en champ proche dans les mollusques et les sédiments fins) et à  $^{241}\text{Am}$  (en champ proche dans les mollusques et les sédiments fins). Le  $^{137}\text{Cs}$  est le plus fréquemment quantifié, et les activités mesurées sont comparables entre le champ proche et le champ lointain, hormis pour les sédiments où les activités les plus élevées sont mesurées à Grand-Fort-Philippe, en champ proche. Les sédiments fins de cette station ont une surface spécifique importante plus propice au piégeage des radionucléides. L' $^{131}\text{I}$  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 2022 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 183 et suivantes ; et Figure 28 et Figure 29 pages 172 et 173). 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, les radionucléides observés ayant parfois une double origine : ORANO La Hague ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{241}\text{Am}$ , voire  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  parfois) et rejets des CNPE ( $^{60}\text{Co}$  et  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ )

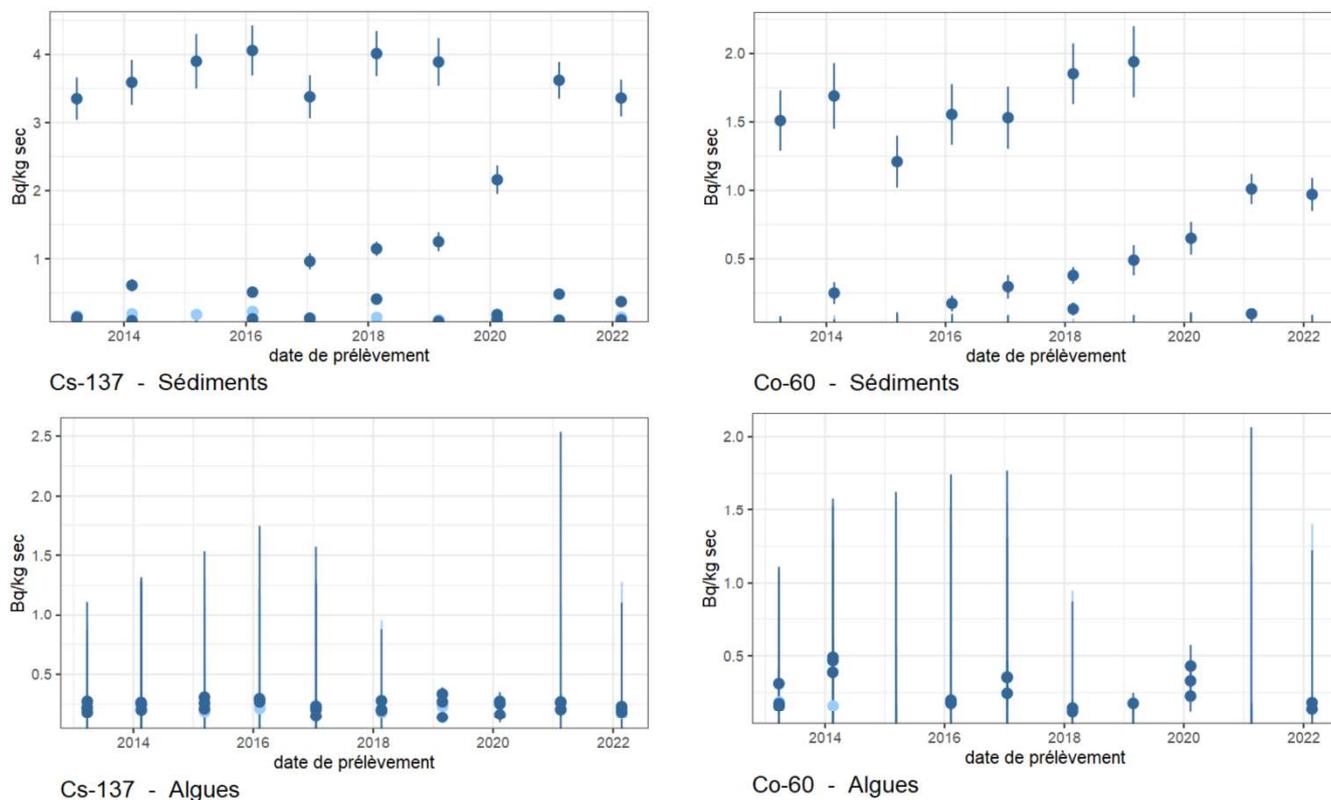
### 7.3.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

#### 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  $5 \text{ Bq.L}^{-1}$  EC, et comprises entre 3,7 et  $5,9 \text{ Bq.L}^{-1}$  EC à distance de l'usine ORANO [3, 25, 26]) 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 2022.



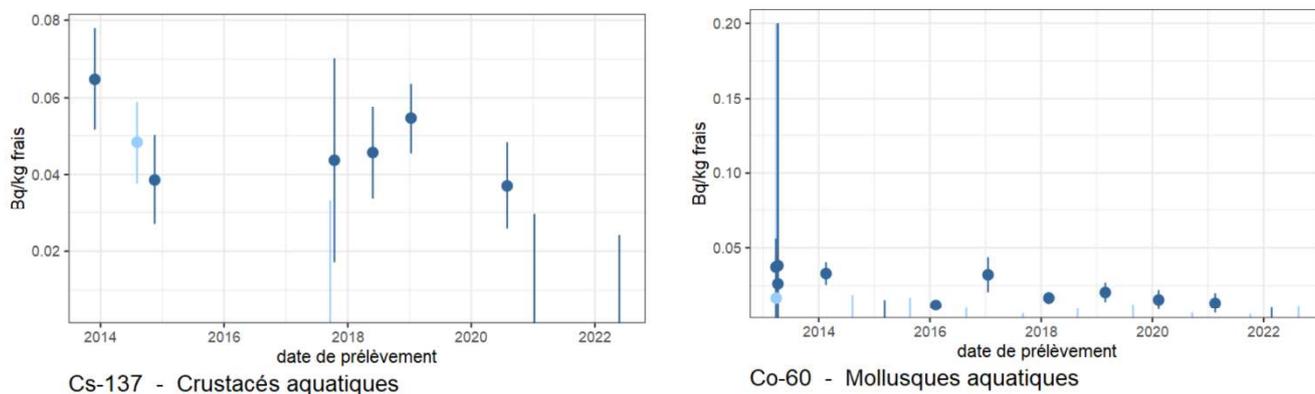
Légende pour les figures des pages suivantes en milieu marin :



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

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

**Figure 28 – Variation temporelle de 2013 à 2022 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 29 – Variation temporelle de 2013 à 2022 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  $^{14}\text{C}$  dans l’environnement marin du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 108 page 199.

L’activité en  $^{14}\text{C}$  mesurée au sein des poissons prélevés à la Ferme Aquacole est comparable au bruit de fond en  $^{14}\text{C}$  observé hors influence dans les matrices biologiques collectées en entrée de Manche ( $230 \pm 10 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$  en 2021 d’après nos mesures et d’après [3]). L’activité en  $^{14}\text{C}$  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 ( $255,4 \pm 2,9$  à  $393,7 \pm 4,3 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ ) 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  $^{63}\text{Ni}$  et en  $^{55}\text{Fe}$  dans l’environnement marin du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 109 et du Tableau 110 page 200, respectivement.

Le  $^{63}\text{Ni}$  est détectable dans les algues en champ proche et lointain des rejets d’effluents liquides du CNPE de Gravelines, avec des activités comparables en champ proche et en champ lointain en 2022. 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  $^{55}\text{Fe}$ , recherché dans les algues, n’y est pas décelable en 2022. La technique de mesure du  $^{55}\text{Fe}$  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 2022 dans l'environnement du CNPE de Gravelines sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés depuis l'instauration des suivis radioécologiques. Le  $^{40}\text{K}$  est le radionucléide d'origine naturelle prépondérant dans tous les échantillons.

La radioactivité gamma d'origine artificielle du milieu terrestre est majoritairement imputable au  $^{137}\text{Cs}$ , présent dans la quasi-totalité des échantillons récoltés, 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  $^{137}\text{Cs}$  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  $^{60}\text{Co}$  et du  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  sont également quantifiés dans l'herbe échantillonnée à proximité immédiate du CNPE de Gravelines, et l'apport des aérosols marins marqués par les rejets de  $^{60}\text{Co}$  et/ou de  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  d'ORANO La Hague ( $^{60}\text{Co}$ ) et du CNPE ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ) peut également expliquer ces marquages. 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  $^{14}\text{C}$  dans le lait et les salades est proche du bruit de fond sur le territoire français hors influence industrielle ( $222\pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$  d'après [3]). Au vu des résultats obtenus dans le cadre du suivi radioécologique 2022, 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  $^{14}\text{C}$  dans l'un des échantillons trimestriels de lierre.

En 2022, les diverses matrices sédimentaires et biologiques collectées dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines sont essentiellement marquées par le  $^{137}\text{Cs}$ . À une fréquence moindre, d'autres radionucléides artificiels tels le  $^{60}\text{Co}$  (dans les sédiments et les algues), le  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  (dans les mollusques et les sédiments) et le  $^{241}\text{Am}$  (dans les mollusques et les sédiments) sont également quantifiés. Outre la rémanence des retombées atmosphériques globales dans le cas du  $^{137}\text{Cs}$ , le  $^{60}\text{Co}$  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' $^{241}\text{Am}$ , caractéristique des rejets d'effluents de l'usine ORANO La Hague, est quantifié dans les sédiments en champ proche et les mollusques prélevés en champ proche du CNPE en 2022. L' $^{131}\text{I}$  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 2022. Les activités en  $^{14}\text{C}$  témoignent de l'influence globale des INB de la Manche [3], avec un marquage en  $^{14}\text{C}$  dans les algues et les mollusques échantillonnés en champ proche du CNPE de Gravelines. Les activités en  $^{63}\text{Ni}$  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. Le  $^{63}\text{Ni}$  est un radionucléide émetteur bêta rejeté à la fois par les CNPE en fonctionnement normal, par les sites en démantèlement et par l'usine de retraitement de la Hague.

## 7.5. Tableaux de résultats

**Tableau 85 - Activités en radionucléides émetteurs  $\gamma$  et  $\beta$  au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.**

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	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	1,2 et 6,9 km
Émetteurs $\gamma$ d'origine artificielle (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)										
<sup>134</sup> Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>137</sup> Cs	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)	1,29-3,15 (2/2)
<sup>57</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>58</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>60</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>110m</sup> Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>106</sup> Ru/ <sup>106</sup> Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>241</sup> Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Émetteurs  $\beta$  ( $\beta$ H libre : Bq.L<sup>-1</sup> d'eau de dessiccation,  $\beta$ H lié : Bq.L<sup>-1</sup> d'eau de combustion ; <sup>14</sup>C : Bq.kg<sup>-1</sup> C)

<sup>3</sup> H libre	1,1-3,2 (2/2)	n.a.								
<sup>3</sup> H lié	1,9-2,3 (2/2)	n.a.								
<sup>14</sup> C	236-240 (2/2)	n.a.								

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

**Tableau 86 - Activités en radionucléides émetteurs  $\gamma$  au sein d'échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.**

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
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	4,4 km	4,0 km	4,2 km	4,1 km	4,1 km
Émetteurs $\gamma$ d'origine artificielle (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)										
<sup>134</sup> Cs	0,05-0,15 (2/3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>137</sup> Cs	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)	-	-	0,17 (1/1)
<sup>57</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>58</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>60</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>110m</sup> Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>106</sup> Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>241</sup> Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>131</sup> I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

**Tableau 87 - Activités en radionucléides émetteurs  $\gamma$  et  $\beta$  au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radiocécologique.**

Année	2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2021		2022	
	Parties aériennes		Parties aériennes		Parties aériennes		Parties aériennes		Parties aériennes		Parties aériennes		Parties aériennes		Entier		Parties aériennes	
Fraction	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)
Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)																		
<sup>134</sup> Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>137</sup> Cs	-	-	-	0,036 (1/1)	-	0,174 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	0,034 (1/1)	-	0,047 (1/1)	-	0,028 (1/1)
<sup>58</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>60</sup> Co	-	-	-	0,072 (1/1)	-	-	0,105 (1/1)	-	-	-	-	-	-	0,058 (1/1)	-	0,038 (1/1)	-	0,641 (1/1)
<sup>110m</sup> Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,134 (1/1)	-	-	-	0,076 (1/1)
<sup>54</sup> Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>124</sup> Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>125</sup> Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>131</sup> I	n.a.	n.a.																
Emetteurs beta ( <sup>3</sup> H libre : Bq.L <sup>-1</sup> d'eau de dessiccation, <sup>3</sup> H lié : Bq.L <sup>-1</sup> d'eau de combustion, <sup>14</sup> C : Bq.kg <sup>-1</sup> C, autres : Bq.kg <sup>-1</sup> sec)																		
<sup>3</sup> H libre	1,6 (1/1)	n.a.	n.a.	1,6 (1/1)	n.a.	n.a.	6,7 (1/1)	n.a.	n.a.	1,89 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<sup>3</sup> H lié	1,7-2,1 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3,08 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<sup>14</sup> C	229-233,5 (3/3)	n.a.	227 (1/1)	222-271,2 (2/2)	n.a.	272,2 (1/1)	n.a.	n.a.	268 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<sup>90</sup> Sr	0,41 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.														
Emetteurs alpha (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)																		
<sup>239+240</sup> Pu	0,00077-0,00144	n.a.	n.a.	n.a.														

<sup>238</sup> Pu	(2/2)	n.a.																	
<sup>241</sup> Am	-	n.a.																	
	0,00040- 0,00073	n.a.																	
	(2/2)																		

Espèces concernées : Herbe de prairie permanente. n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

**Tableau 88 - Activités en radionucléides émetteurs  $\beta$  au sein d'échantillons de lierre collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.**

Année	2013	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Fraction	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)	
$^3\text{H}$ libre	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)	3,2 (1/1)	
$^3\text{H}$ lié	3,00 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	2,56 (1/1)	2,10 (1/1)	2,90 (1/1)	2,90 (1/1)	3,7 (1/1)	
$^{14}\text{C}$	228,8 (1/1)	263-265 (3/3)	248-263 (4/4)	252-263 (4/4)	242-264 (4/4)	243-261 (4/4)	251-264 (5/5)	237-249 (4/4)	237-241 (3-3)	

Emetteurs beta ( $^3\text{H}$  libre : Bq.L<sup>-1</sup> ; Bq.L<sup>-1</sup> d'eau de dessiccation,  $^3\text{H}$  lié : Bq.L<sup>-1</sup> d'eau de combustion,  $^{14}\text{C}$  : Bq.kg<sup>-1</sup> C)

Espèces concernées : Lierre commun.

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

**Tableau 89 - Activités en radionucléides émetteurs  $\gamma$  et  $\beta$  au sein d'échantillons de légumes (salades, choux-fleurs et pommes de terre) collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.**

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	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	9,8 et 10,6 km
Nature	Salade, Choux-fleurs et Pommes de terre	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade
<b>Émetteurs <math>\gamma</math> d'origine artificielle (Bq.kg<sup>-1</sup> sec)</b>										
<sup>134</sup> Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>137</sup> Cs	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)	-	-	0,143 (1/2)
<sup>57</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>58</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>60</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>110m</sup> Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>106</sup> Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>241</sup> Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Émetteurs <math>\beta</math> (H libre : Bq.L<sup>-1</sup> d'eau de dessiccation, <sup>3</sup>H lié : Bq.L<sup>-1</sup> d'eau de combustion ; <sup>14</sup>C : Bq.kg<sup>-1</sup> C)</b>										
<sup>3</sup> H libre	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)	1,9-2,0 (2/2)
<sup>3</sup> H lié	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)	1,8 (2/2)
<sup>14</sup> C	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)	219-220 (2/2)

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

**Tableau 90 - Activités en radionucléides émetteurs  $\gamma$  et  $\beta$  au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radiocologique.**

Année	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Fraction	Entier		Entier		Entier		Entier		Entier	
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 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)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)
$^{137}\text{Cs}$	-	n.a.	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-
$^{137}\text{Cs}$	-	n.a.	0,0077 (1/1)	-	-	-	-	n.a.	n.a.	0,0052 (1/1)
$^{58}\text{Co}$	-	n.a.	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-
$^{60}\text{Co}$	-	n.a.	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-
$^{110m}\text{Ag}$	-	n.a.	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-
$^{54}\text{Mn}$	-	n.a.	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-
$^{137}\text{Sb}$	-	n.a.	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-
$^{125}\text{Sb}$	-	n.a.	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-
$^{137}\text{I}$	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.L <sup>-1</sup> )										
$^3\text{H}$ libre	0,70-0,80 (2/3)	n.a.	-	-	1,03 (1/1)	0,84 (1/1)	0,80 (1/1)	-	0,70 (1/1)	1,8 (1/1)
$^3\text{H}$ lié	0,90-2,10 (3/3)	n.a.	1,00 (1/1)	1,50 (1/1)	0,87 (1/1)	3,63 (1/1)	1,30 (1/1)	n.a.	1,00 (1/1)	0,7 (1/1)
$^{14}\text{C}$	232,8-255 (4/4)	276 (1/1)	224 (1/1)	227-240 (5/5)	233 (1/1)	250 (1/1)	234 (1/1)	229 (1/1)	231 (1/1)	230 (1/1)
$^{90}\text{Sr}$	0,0090 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Emetteurs beta ( $^3\text{H}$ libre : Bq.L <sup>-1</sup> ; $^3\text{H}$ lié : Bq.L <sup>-1</sup> ; $^{14}\text{C}$ : Bq.kg <sup>-1</sup> C ; $^{90}\text{Sr}$ : Bq.L <sup>-1</sup> )										

Espèces concernées : Lait de vache.

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

**Tableau 91 - Activités en radionucléides émetteurs  $\gamma$  et  $\beta$  au sein d'échantillons d'eau de boisson et d'irrigation collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.**

Année	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Fraction	Filtrat à 0.2 $\mu\text{m}$	Filtrat à 0.2 $\mu\text{m}$	Filtrat à 0.2 $\mu\text{m}$	Filtrat à 0.2 $\mu\text{m}$	Filtrat à 0.2 $\mu\text{m}$	Filtrat à 0.2 $\mu\text{m}$	Filtrat à 0.2 $\mu\text{m}$	Filtrat à 0.2 $\mu\text{m}$	Filtrat à 0.2 $\mu\text{m}$	Filtrat à 0.2 $\mu\text{m}$
Chronique	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)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)
$^3\text{H}$ libre	0,9 (1/1)	0,7 (1/1)	0,93 (1/1)	-	0,79 (1/1)	-	-	-	-	1,4 (1/1)
$^{14}\text{C}$	165,3 (1/1)	n.a.								

Emetteurs beta ( $^3\text{H}$  libre : Bq.L<sup>-1</sup> d'eau de dessiccation,  $^{14}\text{C}$  : Bq.kg<sup>-1</sup> C)

Espèces concernées : Eau de boisson.

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

**Tableau 92 - Activités en radionucléides émetteurs  $\gamma$  et  $\beta$  au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radiocécologique.**

Année	2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022		
	$\leq 2$ mm		$\leq 2$ mm		$\leq 2$ mm		$\leq 2$ mm		$\leq 2$ mm		$\leq 2$ mm		$\leq 2$ mm		$\leq 2$ mm		$\leq 2$ mm		$\leq 2$ mm		
Fraction	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	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 <sup>-1</sup> .sec)																					
<sup>134</sup> Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>137</sup> Cs	0,16 (1/1)	0,12-3,35 (3/3)	0,19 (1/1)	0,09-3,59 (3/3)	0,18 (1/1)	3,9 (1/2)	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)	0,11-2,16 (3/3)	0,105 (1/1)	0,105 (1/1)	0,094-3,62 (3/3)	0,143 (1/1)	0,101-3,36 (3/3)	-
<sup>241</sup> Am	n.a.	n.a.	n.a.	0,19-1,86 (3/3)	n.a.	0,18-2,04 (2/3)	-														
<sup>58</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>60</sup> Co	-	1,51 (1/2)	-	0,25-1,69 (2/3)	-	1,21 (1/2)	-	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 (1/2)	-	-	0,098-1,01 (2/3)	-	0,97 (1/2)	-
<sup>110m</sup> Ag	-	0,22 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2 (1/2)	-	-	-	-	-	0,28 (1/2)	-
<sup>54</sup> Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>125</sup> Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>125</sup> Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>137</sup> I	n.a.	n.a.	n.a.																		
Emetteurs beta ( <sup>3</sup> H libre : Bq.L <sup>-1</sup> d'eau de dessiccation, <sup>3</sup> H lié : Bq.L <sup>-1</sup> d'eau de combustion, <sup>14</sup> C : Bq.kg <sup>-1</sup> .C)																					
<sup>3</sup> H libre	3,4 (1/1)	3,8-5,9 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	4-5,3 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.												
<sup>3</sup> H lié	-	8,1 (1/2)	n.a.	n.a.	n.a.																
<sup>14</sup> C	n.d.	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.	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  $\gamma$  et  $\beta$  au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.**

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	1,0 à 41 km	1,0 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	1,5 à 41,2 km			
<b>Émetteurs <math>\gamma</math> d'origine artificielle (Bq.kg<sup>-1</sup> sec)</b>										
<sup>134</sup> Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>137</sup> Cs	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)	0,169-0,231 (4/4)
<sup>57</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>58</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>60</sup> Co	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)	-	0,132-0,0182 (3/4)
<sup>110m</sup> Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>106</sup> Ru/ <sup>106</sup> Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>241</sup> Am	-	0,18 (1/4)	-	0,11 (1/4)	-	-	0,15 (1/4)	-	-	-
<sup>129</sup> I	1,8 (1/4)	n.a.	n.a.							
<sup>131</sup> I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Émetteurs <math>\beta</math> (<sup>3</sup>H libre : Bq.L<sup>-1</sup> d'eau de dessiccation, <sup>3</sup>H lié : Bq.L<sup>-1</sup> d'eau de combustion ; <sup>14</sup>C : Bq.kg<sup>-1</sup> C ; <sup>63</sup>Ni : Bq.kg<sup>-1</sup> sec)</b>										
<sup>3</sup> H libre	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)	3,4-5,5 (2/2)
<sup>3</sup> H lié	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)	3,9-5,4 (2/2)
<sup>14</sup> C	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)	255,4-271,1 (2/2)
<sup>63</sup> Ni	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)	0,55-0,67 (2/2)

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

**Tableau 94 - Activités en radionucléides émetteurs  $\gamma$  et  $\beta$  au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radiocécologique.**

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	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	2,5 et 41,2 km
<b>Émetteurs <math>\gamma</math> d'origine artificielle (Bq.kg<sup>-1</sup> frais)</b>										
<sup>134</sup> Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>137</sup> Cs	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)	0,0107-0,0135 (2/2)
<sup>58</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>60</sup> 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)	-
<sup>110m</sup> Ag	0,03-1,49 (3/5)	-	-	-	-	-	-	-	0,199 (1/2)	0,204 (1/2)
<sup>108m</sup> Ag	0,02 (1/5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>106</sup> Ru/Rh	-	-	-	-	-	0,04 (1/2)	-	-	-	-
<sup>241</sup> 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)	-	0,0055 (1/2)
<b>Émetteurs <math>\beta</math> (<sup>3</sup>H libre : Bq.L<sup>-1</sup> d'eau de dessiccation, <sup>3</sup>H lié : Bq.L<sup>-1</sup> d'eau de combustion, <sup>14</sup>C : Bq.kg<sup>-1</sup> C, <sup>63</sup>Ni : Bq.kg<sup>-1</sup> sec)</b>										
<sup>3</sup> H libre	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.	n.a.
<sup>3</sup> H lié	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)	4,4 (2/2)
<sup>14</sup> C	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)	319,5-393,7 (2/2)
<sup>63</sup> Ni	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.

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

**Tableau 95 - Activités en radionucléides émetteurs  $\gamma$  et  $\beta$  au sein d'échantillons de crustacés collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radiocécologique.**

Année	2013		2014		2017		2018		2019		2020		2021		2022	
	Entier		Entier		Entier		Entier		Entier		Entier		Entier		Entier	
Fraction	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 <sup>-1</sup> frais)																
<sup>134</sup> Cs	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	-	-	-	-
<sup>137</sup> Cs	0,065 (1/1)	0,048 (1/1)	0,039 (1/1)	-	0,044 (1/1)	0,046 (1/1)	n.a.	0,046 (1/1)	n.a.	0,0545 (1/1)	0,037 (1/1)	-	-	-	-	-
<sup>241</sup> Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,025 (1/1)	n.a.							
<sup>58</sup> Co	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	-	-	-	-
<sup>60</sup> Co	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	-	-	-	-
<sup>110m</sup> Ag	0,245 (1/1)	-	0,050 (1/1)	-	-	-	n.a.	-	n.a.	0,063 (1/1)	0,035 (1/1)	-	-	-	-	-
<sup>54</sup> Mn	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	-	-	-	-
<sup>125</sup> Sb	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	-	-	-	-
<sup>125</sup> Sb	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	-	-	-	-
<sup>131</sup> 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.
Emetteurs beta ( <sup>3</sup> H libre : Bq.L <sup>-1</sup> d'eau de dessiccation, <sup>3</sup> H lié : Bq.L <sup>-1</sup> d'eau de combustion, <sup>14</sup> C : Bq.kg <sup>-1</sup> C)																
<sup>3</sup> H libre	6,3 (1/1)	4,6 (1/1)	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.
<sup>3</sup> H lié	7,5 (1/1)	5,2 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	6,4 (1/1)	n.a.	3,92 (1/1)	5,1 (1/1)	3 (1/1)	4,2 (1/1)	3,3 (1/1)	4,2 (1/1)	3,3 (1/1)	3,3 (1/1)
<sup>14</sup> C	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.	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  $\gamma$  et  $\beta$  au sein d'échantillons de poissons collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.**

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	0,2 à 41 km	0,5 et 2,2 km	0,5 à 45 km	0,3 et 45 km						
Émetteurs $\gamma$ d'origine artificielle (Bq.kg <sup>-1</sup> frais)										
<sup>134</sup> Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>137</sup> Cs	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)	0,08-0,12 (2/2)	0,05-0,06 (3/3)	0,0581-0,0692 (3/3)
<sup>57</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>58</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>60</sup> Co	-	-	0,02 (1/5)	-	-	-	-	-	-	-
<sup>110m</sup> Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>108m</sup> Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>106</sup> Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>241</sup> Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Date										
Distance au site										
Émetteurs $\beta$ ( <sup>3</sup> H libre : Bq.L <sup>-1</sup> d'eau de dessiccation, <sup>3</sup> H lié : Bq.L <sup>-1</sup> d'eau de combustion, <sup>14</sup> C : Bq.kg <sup>-1</sup> C)										
<sup>3</sup> H libre	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.	n.a.
<sup>3</sup> H lié	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)	2,0-4,2 (2/2)
<sup>14</sup> C	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)	230-328 (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 2022.**

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Frais/sec	Fractions	%
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	21/02/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	12/12/2022	sec	1,11	Matière organique	1,5±0,2
									Argile (< 2µm)	8,4±0,5
									Limons fins	5,5±0,4
									Limons grossiers	5,7±0,4
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-LAa	23/08/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	12/12/2022	sec	1,16	Matière organique	5,2±0,3
									Argile (< 2µm)	22,6±0,9
									Limons fins	16,8±0,8
									Limons grossiers	19,2±1,0
									Sables fins	35,1±1,2
									Sables grossiers	6,3±0,6

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

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

**Tableau 98 - Activités en radionucléides émetteurs  $\gamma$  d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.**

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	<sup>40</sup> K	Famille de <sup>232</sup> Th		Unité
										<sup>232</sup> Th	<sup>232m</sup> Pa	
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	21/02/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	Sec	1,11	06/07/2022	235±17	9,4±1,2	7,6±1,8	≤ 3,9 Bq.kg <sup>-1</sup> .sec
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-Ma	23/08/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	Sec	1,16	11/10/2022	334±24	19,2±2,2	19,7±3,8	≤ 1,6 Bq.kg <sup>-1</sup> .sec
Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	23/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	12,00	18/11/2022	2 330±170	≤ 0,50	≤ 1,1	38,3±3,3 Bq.kg <sup>-1</sup> .sec
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Eglise	23/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	19,20	18/11/2022	1 860±140	0,56±0,13	≤ 0,83	42,0±3,6 Bq.kg <sup>-1</sup> .sec
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	21/02/2022	Herbes	Herbe de prairie permanente	Entier	Cendre	1,45	22/07/2022	92,1±7,0	0,679±0,097	≤ 2,1	383±26 Bq.kg <sup>-1</sup> .sec
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Loon-Plage	21/02/2022	Mousses terrestres	Tortula ruralis Tortula ruralis	Entier	Frais	1,15	24/02/2022	156±14	3,69±0,92	n.a.	460±36 Bq.kg <sup>-1</sup> .sec
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-Ma	23/08/2022	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	Cendre	8,27	17/10/2022	47,8±3,7	≤ 0,017	≤ 0,045	≤ 0,053 Bq.L <sup>-1</sup>

n.a. : non analysé.

**Tableau 99 - Activités en radionucléides émetteurs  $\gamma$  d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.**

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{58}\text{Co}$	$^{60}\text{Co}$	$^{109m}\text{Ag}$	$^{54}\text{Mn}$	$^{124}\text{Sb}$	$^{125}\text{Sb}$	$^{131}\text{I}$	Unité
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	21/02/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	$\leq 2$ mm	Sec	1,11	06/07/2022	$\leq 0,100$	$1,29 \pm 0,12$	$\leq 0,34$	$\leq 0,11$	$\leq 0,15$	$\leq 0,13$	$\leq 0,41$	$\leq 0,28$	n.a.	Bq.kg <sup>-1</sup> sec
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Ar	23/08/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	$\leq 2$ mm	Sec	1,16	11/10/2022	$\leq 0,11$	$3,15 \pm 0,25$	$\leq 0,16$	$\leq 0,14$	$\leq 0,15$	$\leq 0,14$	$\leq 0,18$	$\leq 0,32$	n.a.	Bq.kg <sup>-1</sup> sec
Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	23/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	12,00	18/11/2022	$\leq 0,10$	$0,143 \pm 0,055$	$\leq 0,26$	$\leq 0,17$	$\leq 0,17$	$\leq 0,12$	$\leq 0,24$	$\leq 0,24$	n.a.	Bq.kg <sup>-1</sup> sec
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Eglise	23/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	19,20	18/11/2022	$\leq 0,072$	$\leq 0,067$	$\leq 0,18$	$\leq 0,11$	$\leq 0,11$	$\leq 0,087$	$\leq 0,16$	$\leq 0,16$	n.a.	Bq.kg <sup>-1</sup> sec
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	21/02/2022	Herbes	Herbe de prairie permanente	Entier	Cendre	1,45	22/07/2022	$\leq 0,016$	$0,0280 \pm 0,0092$	$\leq 0,065$	$0,641 \pm 0,054$	$\leq 0,022$	$\leq 0,075$	$\leq 0,043$	n.a.	Bq.kg <sup>-1</sup> sec	
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Loon-Plage	21/02/2022	Mousses terrestres	Tortula ruralis Tortula ruralis	Entier	Frais	1,15	24/02/2022	$\leq 0,14$	$0,17 \pm 0,17$	$\leq 0,16$	$\leq 0,28$	$\leq 0,15$	$\leq 0,18$	$\leq 0,15$	$\leq 0,46$	$\leq 0,23$	Bq.kg <sup>-1</sup> sec
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Ar	23/08/2022	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	Cendre	8,27	17/10/2022	$\leq 0,00350$	$0,0052 \pm 0,0019$	$\leq 0,0060$	$\leq 0,0053$	$\leq 0,0045$	$\leq 0,0038$	$\leq 0,0060$	$\leq 0,0083$	n.a.	Bq.L <sup>-1</sup>

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

**Tableau 100 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.**

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	<sup>3</sup> H libre (Bq.L <sup>-1</sup> d'eau de dessiccation)	<sup>3</sup> H libre (Bq.kg <sup>-1</sup> sec ou frais ou Bq.L <sup>-1</sup> )	Unité
Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	23/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	10,77	01/12/2022	1,9±0,8	1,72±0,73	Frais
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Église	23/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	19,14	01/12/2022	2,0±0,8	1,90±0,76	Frais
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines	21/02/2022	Végétaux terrestres non consommés	Lierre commun Hedera helix	Feuilles annuelles	2,86	23/05/2022	3,2±0,8	2,08±0,52	Frais
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-la	23/08/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	8,16	01/12/2022	1,8±0,8	1,58±0,70	Liquide
Gravelines - Eau phréatique hors aval hydraulique	Dunkerque	23/08/2022	Eaux de boisson	Eau de boisson	Filtrée 0,2µm	-	01/12/2022	1,4±0,8	1,4±0,8	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 2022.**

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L <sup>-1</sup> d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg <sup>-1</sup> sec ou frais ou Bq.L <sup>-1</sup> )	Unité
Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	23/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	10,77	18/12/2022	1,8±0,8	0,083±0,037	Frais
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Église	23/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	19,14	18/12/2022	1,8±0,7	0,050±0,019	Frais
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines	21/02/2022	Végétaux terrestres non consommés	Lierre commun Hedera helix	Feuilles annuelles	2,86	04/09/2022	3,7±0,9	0,78±0,19	Frais
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-la	23/08/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	8,16	12/01/2023	0,7±0,7	0,060±0,060	Liquide

**Tableau 102 - Activités en <sup>14</sup>C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.**

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure du <sup>14</sup> C	<sup>14</sup> C (Bq.kg <sup>-1</sup> C)	<sup>14</sup> C (Bq.kg <sup>-1</sup> frais ou sec ou Bq.L <sup>-1</sup> d'ECH)	C <sub>TOT</sub> (g.kg <sup>-1</sup> frais ou sec ou g.L <sup>-1</sup> d'ECH)	δ <sup>13</sup> C/ <sup>12</sup> C (‰)	pMC (%)	Unité
Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	23/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	Sec	10,77	09/05/2023	219±11	7,60±0,38	35	-30,02	97,9±4,9	Frais
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Église	23/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	Sec	19,14	09/05/2023	220±11	4,58±0,23	21	-28,87	98,1±4,9	Frais
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Ac	23/08/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	Sec	8,16	25/06/2023	230±11	14,21±0,68	62	-21,02	101,0±4,8	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 2022.**

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Frais/sec	Fractions	%
Gravelines - champ proche	Gravelines, Prise d'eau	22/02/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	12/12/2022	Sec	1,32	Matière organique	0,5±0,2
									Argile (< 2µm)	4,4±0,3
									Limons fins	0,0±0,2
									Limons grossiers	1,4±0,3
									Sables fins	32,7±1,1
Sables grossiers	61,5±1,7									
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	12/12/2022	sec	1,23	Matière organique	0,1±0,1
									Argile (< 2µm)	1,7±0,3
									Limons fins	0,1±0,1
									Limons grossiers	0,0±0,2
									Sables fins	15,2±0,8
Sables grossiers	83,0±2,2									
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	22/02/2022	Sédiments	Sédiments	≤ 2 mm	12/12/2022	Sec	2,38	Matière organique	4,1±0,5
									Argile (< 2µm)	35,0±1,3
									Limons fins	35,0±1,5
									Limons grossiers	21,8±1,1
									Sables fins	7,9±0,7
Sables grossiers	0,3±0,3									
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	12/12/2022	Sec	1,25	Matière organique	0,2±0,2
									Argile (< 2µm)	1,7±0,3
									Limons fins	0,0±0,2
									Limons grossiers	0,2±0,2
									Sables fins	30,0±1,1
Sables grossiers	68,1±1,9									

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  $\gamma$  d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radiocécologique 2022.**

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	<sup>40</sup> K	Famille du <sup>232</sup> Th		Famille de <sup>238</sup> U		<sup>7</sup> Be	Unité
										<sup>226</sup> Ra	<sup>230</sup> Th	<sup>234m</sup> Pa	<sup>210</sup> Pb		
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	22/02/2022	Algues	Fucus Fucus ceranoides	Entier	Cendre	9,11	08/07/2022	1 240±110	4,63±0,38	1,36±0,31	≤ 8,9	4,29±0,94	17,9±1,8	Bq.kg <sup>-1</sup> sec
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	Frais	5,82	24/02/2022	1 158±52	≤ 4,7	n.a.	n.a.	n.a.	18,6±7,0	Bq.kg <sup>-1</sup> sec
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	Cendre	5,82	06/05/2022	1 222±95	4,64±0,40	6,8±1,0	≤ 11	3,40±0,97	16,6±1,6	Bq.kg <sup>-1</sup> sec
Gravelines - champ proche	Gravelines, Prise d'eau	22/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	Cendre	5,50	08/07/2022	1 123±100	4,12±0,34	8,2±1,1	9,7±4,6	3,68±0,85	15,8±1,7	Bq.kg <sup>-1</sup> sec
Gravelines - champ lointain	Audingham, lieu-dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	Frais	6,08	25/02/2022	1 313±61	≤ 5,5	n.a.	n.a.	n.a.	18,2±7,9	Bq.kg <sup>-1</sup> sec
Gravelines - champ lointain	Audingham, lieu-dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	Cendre	6,08	06/05/2022	1 152±93	5,03±0,63	8,9±1,2	≤ 11	1,89±0,73	9,0±1,1	Bq.kg <sup>-1</sup> sec
Gravelines - champ proche	Gravelines au large	25/05/2022	Crustacés aquatiques	Crabe	Entier	Cendre	3,13	28/11/2022	63,5±5,2	1,04±0,10	0,41±0,17	≤ 3,1	0,50±0,22	≤ 1,4	Bq.kg <sup>-1</sup> frais
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Mollusques	Huître	Chair	Cendre	6,38	05/09/2022	49,8±3,9	0,039±0,017	0,383±0,063	≤ 0,80	0,336±0,080	0,55±0,25	Bq.kg <sup>-1</sup> frais
Gravelines - champ lointain	Audingham, lieu-dit Cap Gris-Nez	18/08/2022	Mollusques	Moule	Chair	Cendre	4,00	29/11/2022	55,4±4,3	≤ 0,035	0,300±0,061	≤ 0,98	0,65±0,12	0,275±0,098	Bq.kg <sup>-1</sup> frais
Gravelines - champ proche	Gravelines, Prise d'eau	22/02/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,32	11/07/2022	240±17	6±0,8	6,8±1,3	≤ 9,0	15±3,4	5,3±1,8	Bq.kg <sup>-1</sup> sec
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,23	11/07/2022	199±15	4,17±0,34	5,8±1,3	≤ 9,0	9,7±2,4	≤ 3,0	Bq.kg <sup>-1</sup> sec
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	22/02/2022	Sédiments	Sédiments	≤ 2 mm	Sec	2,38	11/07/2022	330±23	15,9±1,1	22,9±3,4	≤ 17	73±14	47±5	Bq.kg <sup>-1</sup> sec
Gravelines - champ lointain	Audingham, lieu-dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,25	11/07/2022	173±12	3,39±0,29	6±1,3	≤ 8,0	9±2,2	≤ 3,1	Bq.kg <sup>-1</sup> sec
Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	22/02/2022	Poissons	Bar ou Loup Dicentrarchus labrax	Muscle	Cendre	3,24	26/07/2022	133±10	≤ 0,041	≤ 0,12	≤ 1,3	≤ 0,14	≤ 0,39	Bq.kg <sup>-1</sup> frais
Gravelines - champ proche	Gravelines au large	09/03/2022	Poissons	Pie commune ou Carrelet Pleuronectes platessa	Muscle	Cendre	4,71	28/11/2022	112,0±8,3	≤ 0,048	≤ 0,12	≤ 1,5	≤ 0,14	≤ 0,66	Bq.kg <sup>-1</sup> frais

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	<sup>40</sup> K	Famille du <sup>232</sup> Th		Famille de <sup>238</sup> U		<sup>7</sup> Be	Unité
										<sup>232</sup> Th	<sup>230</sup> Th	<sup>232m</sup> Pa	<sup>210</sup> Pb		
Gravelines - champ lointain	Audinghen au large	09/03/2022	Poissons	Pie commune ou Carrelet <i>Pleuronectes platessa</i>	Muscle	Cendre	4,84	29/11/2022	111,3±9,5	≤ 0,039	≤ 0,11	≤ 1,4	≤ 0,14	≤ 1,6	Bq.kg <sup>-1</sup> frais

n.a. : non analysé.

**Tableau 105 - Activités en radionucléides émetteurs  $\gamma$  d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.**

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>58</sup> Co	<sup>60</sup> Co	<sup>109m</sup> Ag	<sup>54</sup> Mn	<sup>124</sup> Sb	<sup>125</sup> Sb	<sup>241</sup> Am	<sup>131</sup> I	Unité
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	Frais	5,82	24/02/2022	≤ 0,87	≤ 1,1	≤ 0,93	≤ 1,2	≤ 0,87	≤ 1,0	≤ 0,76	≤ 2,3	n.a.	≤ 0,87	Bq.kg <sup>-1</sup> sec	
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	Cendre	5,82	06/05/2022	≤ 0,076	0,184± 0,047	≤ 0,16	0,182± 0,050	≤ 0,12	≤ 0,092	≤ 0,16	≤ 0,18	≤ 0,13	n.a.	Bq.kg <sup>-1</sup> sec	
Gravelines - champ proche	Gravelines, Prise d'eau	22/02/2022	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	Cendre	5,50	08/07/2022	≤ 0,065	0,208 ±0,036	≤ 0,22	0,132± 0,040	≤ 0,11	≤ 0,085	≤ 0,25	≤ 0,16	≤ 0,092	n.a.	Bq.kg <sup>-1</sup> sec	
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	Frais	6,08	25/02/2022	≤ 0,97	≤ 1,3	≤ 1,2	≤ 1,4	≤ 1,0	≤ 1,2	≤ 0,97	≤ 2,4	n.a.	≤ 0,97	Bq.kg <sup>-1</sup> sec	
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	Cendre	6,08	06/05/2022	≤ 0,073	0,169± 0,043	≤ 0,15	≤ 0,11	≤ 0,11	≤ 0,088	≤ 0,15	≤ 0,18	≤ 0,11	n.a.	Bq.kg <sup>-1</sup> sec	
Gravelines - champ proche	Gravelines au large	25/05/2022	Crustacés aquatiques	Crabe	Entier	Cendre	3,13	28/11/2022	≤ 0,026	≤ 0,024	≤ 0,14	≤ 0,036	≤ 0,050	≤ 0,035	≤ 0,16	≤ 0,057	≤ 0,031	n.a.	Bq.kg <sup>-1</sup> frais	
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Mollusques	Huître	Chair	Cendre	6,38	05/09/2022	≤ 0,0066	0,0107± 0,0033	≤ 0,039	≤ 0,011	0,204± 0,017	≤ 0,0085	≤ 0,047	≤ 0,017	0,0055± 0,0033	n.a.	Bq.kg <sup>-1</sup> frais	
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	18/08/2022	Mollusques	Moule	Chair	Cendre	4,00	29/11/2022	≤ 0,0075	0,0135± 0,0043	≤ 0,020	≤ 0,012	≤ 0,012	≤ 0,0094	≤ 0,020	≤ 0,018	≤ 0,0096	n.a.	Bq.kg <sup>-1</sup> frais	
Gravelines - champ proche	Gravelines, Prise d'eau	22/02/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,32	11/07/2022	≤ 0,070	0,37± 0,06	≤ 0,24	≤ 0,090	≤ 0,100	≤ 0,090	≤ 0,27	≤ 0,18	0,18± 0,08	n.a.	Bq.kg <sup>-1</sup> sec	
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,23	11/07/2022	≤ 0,070	0,101± 0,04	≤ 0,26	≤ 0,090	≤ 0,11	≤ 0,090	≤ 0,30	≤ 0,20	≤ 0,13	n.a.	Bq.kg <sup>-1</sup> sec	
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	22/02/2022	Sédiments	Sédiments	≤ 2 mm	Sec	2,38	11/07/2022	≤ 0,14	3,36± 0,27	≤ 0,46	0,97± 0,12	0,28± 0,13	≤ 0,20	≤ 0,60	≤ 0,38	2,04± 0,20	n.a.	Bq.kg <sup>-1</sup> frais	
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,25	11/07/2022	≤ 0,080	0,143± 0,046	≤ 0,26	≤ 0,090	≤ 0,12	≤ 0,090	≤ 0,32	≤ 0,20	≤ 0,17	n.a.	Bq.kg <sup>-1</sup> sec	

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>58</sup> Co	<sup>60</sup> Co	<sup>110m</sup> Ag	<sup>54</sup> Mn	<sup>124</sup> Sb	<sup>125</sup> Sb	<sup>241</sup> Am	<sup>131</sup> I	Unité
Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	22/02/2022	Poissons	Bar ou Loup Dicentrarchus labrax	Muscle	Cendre	3,24	26/07/2022 ≤ 0,0090	0,0581± 0,0065	≤ 0,041	≤ 0,013	≤ 0,017	≤ 0,013	≤ 0,044	≤ 0,022	≤ 0,013	n.a.	Bq.kg <sup>-1</sup> frais	
Gravelines - champ proche	Gravelines au large	09/03/2022	Poissons	Ptite commune ou Carrelet Pleuronectes platessa	Muscle	Cendre	4,71	28/11/2022 ≤ 0,011	0,0678± 0,0083	≤ 0,062	≤ 0,015	≤ 0,019	≤ 0,015	≤ 0,069	≤ 0,026	≤ 0,014	n.a.	Bq.kg <sup>-1</sup> frais	
Gravelines - champ lointain	Audinghen au large	09/03/2022	Poissons	Ptite commune ou Carrelet Pleuronectes platessa	Muscle	Cendre	4,84	29/11/2022 ≤ 0,011	0,0692± 0,0081	≤ 0,12	≤ 0,014	≤ 0,022	≤ 0,015	≤ 0,15	≤ 0,023	≤ 0,012	n.a.	Bq.kg <sup>-1</sup> frais	

n.a. : non analysé. \* Du fait de sa courte période radioactive, l'<sup>131</sup>I 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 2022.**

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	<sup>3</sup> H libre (Bq.L <sup>-1</sup> d'eau de dessiccation)	<sup>3</sup> H libre (Bq.kg <sup>-1</sup> sec ou frais ou Bq.L <sup>-1</sup> )	Unité
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	5,47	17/05/2022	5,5±0,8	4,49±0,65	Frais
Gravelines - champ lointain	Audighen, lieu-dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	4,83	17/05/2022	3,4±0,8	2,70±0,63	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 2022.**

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L <sup>-1</sup> d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg <sup>-1</sup> sec ou frais ou Bq.L <sup>-1</sup> )	Unité
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	5,47	06/10/2022	5,4±1,0	0,457±0,089	Frais
Gravelines - champ lointain	Audighen, lieu-dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	4,83	06/10/2022	3,9±0,9	0,368±0,088	Frais
Gravelines - champ proche	Gravelines au large	25/05/2022	Crustacés	Crabe	Entier	2,51	12/01/2023	3,3±1,6	0,49±0,24	Frais
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Mollusques	Huître	Chair	5,79	06/10/2022	4,4±0,9	0,449±0,094	Frais
Gravelines - champ lointain	Audighen, lieu-dit Cap Gris-Nez	18/08/2022	Mollusques	Moule	Chair	4,69	12/01/2023	4,4±1,1	0,56±0,14	Frais
Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	22/02/2022	Poissons	Bar ou Loup Dicentrarchus labrax	Muscle	3,10	04/09/2022	2,0±0,7	0,48±0,17	Frais
Gravelines - champ proche	Gravelines au large	25/05/2022	Poissons	Plie commune ou Carrelet Pleuronectes platessa	Muscle	4,67	12/01/2023	4,2±0,9	0,56±0,12	Frais

**Tableau 108 - Activités en  $^{14}\text{C}$  mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.**

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure $^{14}\text{C}$	$^{14}\text{C}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> C)	$^{14}\text{C}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> sec ou frais)	$\text{C}_{\text{cor}}$ (g.kg <sup>-1</sup> sec ou frais)	$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (‰)	pMC (%)	Unité
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jettée des Huttes	22/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	5,47	16/11/2022	271,1±3,0	16,83±0,19	62	-19,3	118,6±1,3	Frais
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	4,83	16/11/2022	255,4±2,9	17,50±0,20	69	-19,77	111,8±1,3	Frais
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jettée des Huttes	22/02/2022	Mollusques	Huître	Chair	5,79	22/11/2022	393,7±4,3	28,90±0,32	73	-19,68	172,4±1,9	Frais
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	18/08/2022	Mollusques	Moule	Chair	4,69	10/03/2023	319,5±3,5	29,11±0,32	91	-19,38	139,8±1,5	Frais
Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	22/02/2022	Poissons	Bar ou Loup Dicentrarchus labrax	Muscle	3,10	26/08/2022	230±11	41,4±2,0	180	-22	101,2±4,8	Frais
Gravelines - champ proche	Gravelines au large	25/05/2022	Poissons	Plie commune ou Carrelet Pleuronectes platessa	Muscle	4,67	20/05/2023	328±16	32,4±1,6	99	-16,88	142,8±7,0	Frais

**Tableau 109 - Activités en <sup>63</sup>Ni mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.**

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Qualité	Date de mesure <sup>63</sup> Ni	<sup>63</sup> Ni (Bq.kg <sup>-1</sup> sec ou frais ou Bq.L <sup>-1</sup> )	Ni (g.kg <sup>-1</sup> sec ou frais ou g.L <sup>-1</sup> )	Unité
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	5,82	Cendre	26/10/2022	0,67±0,13	0,347	Sec
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu- dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	6,08	Cendre	26/10/2022	0,55±0,11	0,35	Sec

**Tableau 110 - Activités en <sup>55</sup>Fe mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.**

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	<sup>55</sup> Fe	Unité
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	5,82	04/11/2022	≤ 7,6	5,82	Bq.kg <sup>-1</sup> sec
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	6,08	04/11/2022	≤ 8,6	6,08	Bq.kg <sup>-1</sup> sec

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

### 8.1. Radioécologie du milieu terrestre

Le  $^{137}\text{Cs}$  est détecté dans la plupart des échantillons prélevés (17 fois sur 25). L'activité la plus élevée ( $4,50\pm 0,34 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ sec}$ ) est observée dans le sol de pâturage de Paluel, sous les vents dominants du CNPE de Paluel. Son activité résulte essentiellement des retombées globales des essais aériens d'armes nucléaires et de l'accident de Tchernobyl (Figure 4 page 22). Du  $^{60}\text{Co}$  et du  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  sont également détectés dans l'herbe échantillonnée en champ proche du CNPE de Gravelines ( $0,641\pm 0,054$  et  $0,076\pm 0,017 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ sec}$ , respectivement).

En 2022, le  $^3\text{H}$  libre a été recherché dans l'herbe et/ou le lierre, les salades, l'eau de boisson et le lait. L'activité en  $^3\text{H}$  libre est inférieure (Flamanville et Paluel) ou proche du seuil de décision (Penly et Gravelines) dans les 4 eaux de boissons échantillonnées. Le  $^3\text{H}$  libre est détecté dans deux des cinq échantillons de lait de vache récoltés ( $1,8\pm 0,8$  et  $2,0\pm 0,8 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ ED}$ ). Le  $^3\text{H}$  libre est détecté dans les cinq échantillons de salades récoltés ( $1,9\pm 0,8$  à  $2,7\pm 0,9 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ ED}$ ), et reste comparable au bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence des rejets des INB ( $0,5$  à  $2 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$  pour l'HTO d'après [3]). Dans l'herbe échantillonnée à proximité du CNPE de Penly et dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Flamanville, l'activité en  $^3\text{H}$  libre ( $1,5\pm 0,8$  et  $1,8\pm 0,8 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ ED}$ , respectivement) est également comparable à ce bruit de fond. En revanche, l'activité en  $^3\text{H}$  libre dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Gravelines et dans l'herbe échantillonnée à proximité du CNPE de Paluel ( $3,2\pm 0,8$  et  $8,2\pm 1,2 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ ED}$ , respectivement) est plus élevée que ce bruit de fond, et témoigne d'un apport local en tritium libre.

Depuis 2010, le  $^3\text{H}$  organiquement lié est lui aussi quantifié dans le lait de vache ( $0,7\pm 0,7$  à  $1,5\pm 0,8 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ EC}$ ), à un niveau d'activité généralement proche du bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence des rejets des INB ( $0,39$  à  $1,9 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ EC}$  pour le TOL d'après [3]). En 2022, le  $^3\text{H}$  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 ( $1,8\pm 0,8$  à  $2,9\pm 0,8 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ EC}$ , toutes matrices confondues), hormis dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Gravelines et dans l'herbe échantillonnée à proximité du CNPE de Paluel ( $3,7\pm 0,9$  et  $5,8\pm 1,0 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ EC}$ , respectivement), où les activités en  $^3\text{H}$  organiquement lié témoignent d'un apport local.

Enfin, l'activité en  $^{14}\text{C}$  dans la salade (dans l'environnement des CNPE de Flamanville, Penly et Gravelines,  $219\pm 11$  à  $230\pm 11 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ C}$ ) est comparable à la valeur du bruit de fond sur le territoire français hors influence industrielle ( $222\pm 7 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ C}$  d'après [3]), tandis qu'elle témoigne d'un apport local ( $238\pm 12 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ C}$ ) 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  $^{14}\text{C}$  dans le lait est également proche de ce bruit de fond dans l'environnement des CNPE de Flamanville, Paluel, Penly et de Gravelines ( $220\pm 11$  à  $232\pm 11 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ C}$ ). L'activité en  $^{14}\text{C}$  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  $225\pm 11 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ C}$ , dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Flamanville, et  $235\pm 12 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ C}$ , dans l'herbe échantillonné à proximité du CNPE de Penly). 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  $^{14}\text{C}$  dans l'environnement immédiat de ces CNPE ( $237\pm 12$  à  $255\pm 13 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ C}$ ).

À la vue des résultats obtenus dans le cadre du suivi radioécologique 2022, il apparaît que les rejets d'effluents à l'atmosphère des CNPE français côtiers de la Manche et de la Mer du Nord ne donnent pas lieu à un marquage mesurable de l'environnement terrestre, hormis pour les échantillons d'herbe et de lierre échantillonnés à proximité immédiate des CNPE, pour lesquels le marquage par les rejets d'effluents atmosphériques des CNPE est visible pour le  $^3\text{H}$  (libre et/ou organiquement lié), et/ou pour le  $^{14}\text{C}$ .

## 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  $^{137}\text{Cs}$  et de  $^3\text{H}$ . 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.

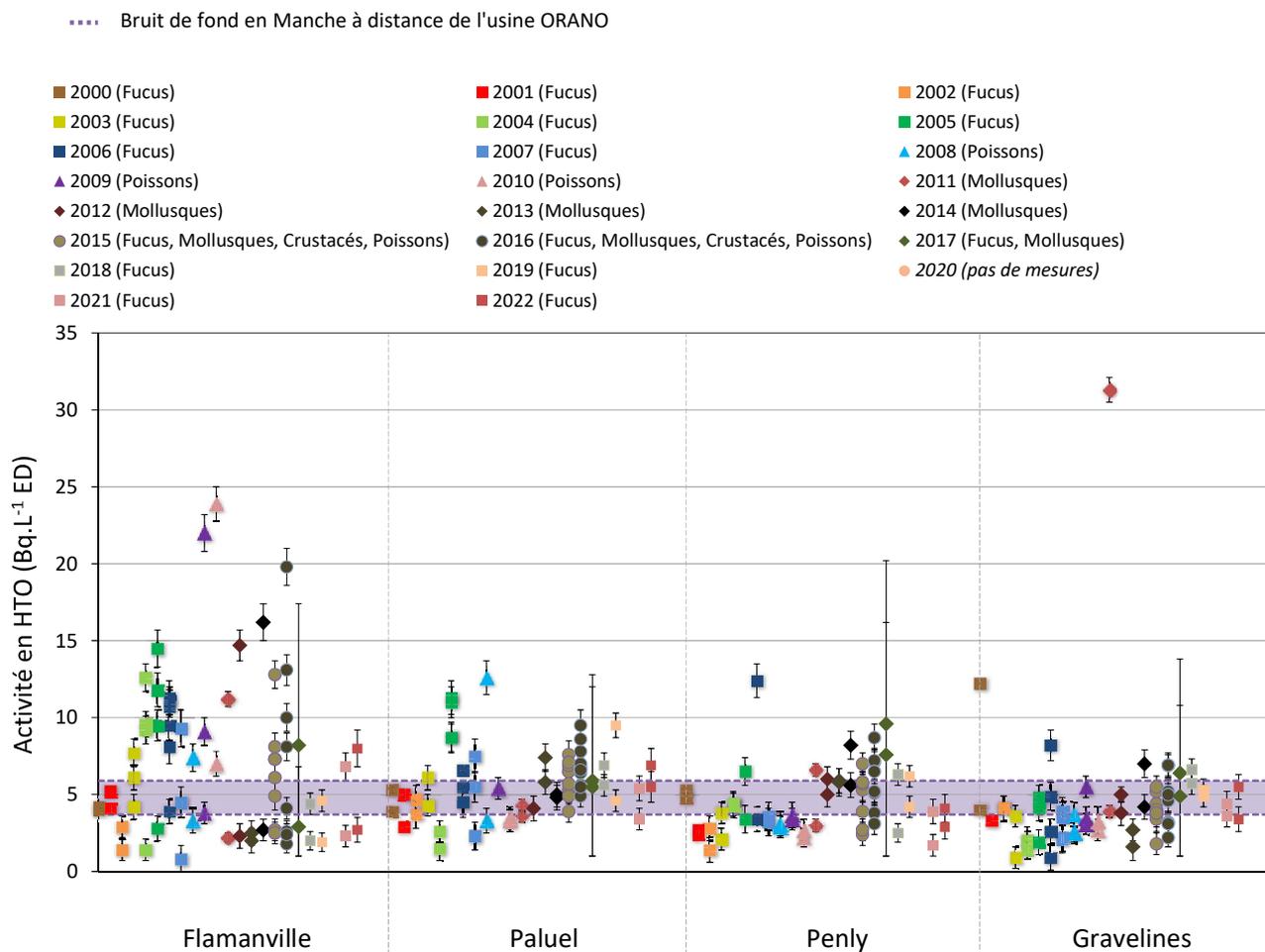
Parmi ces diverses origines, les rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague sont les plus à même de marquer l'environnement marin des CNPE côtiers de la Manche et de la Mer du Nord. Certains radionucléides émetteurs gamma (tels que le  $^{137}\text{Cs}$ , le  $^{134}\text{Cs}$ , le  $^{60}\text{Co}$ , le  $^{54}\text{Mn}$  et le  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ), tout comme le  $^3\text{H}$  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  $^3\text{H}$  libre. Ceci se traduit par un gradient décroissant des activités de ces radionucléides entre la presque-île du Cotentin et le détroit du Pas-de-Calais (Figure 30 page 203).

Le  $^{137}\text{Cs}$  est le radionucléide artificiel le plus fréquemment détecté au sein des matrices échantillonnées (44 fois sur 50). Les activités en  $^{137}\text{Cs}$  sont relativement homogènes de Flamanville à Gravelines (Figure 31 page 204). Néanmoins, les apports de l'usine ORANO La Hague contribuent à doubler les activités en  $^{137}\text{Cs}$  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' $^{131}\text{I}$  recherché dans les algues n'est pas détecté à des niveaux supérieurs au seuil de décision.

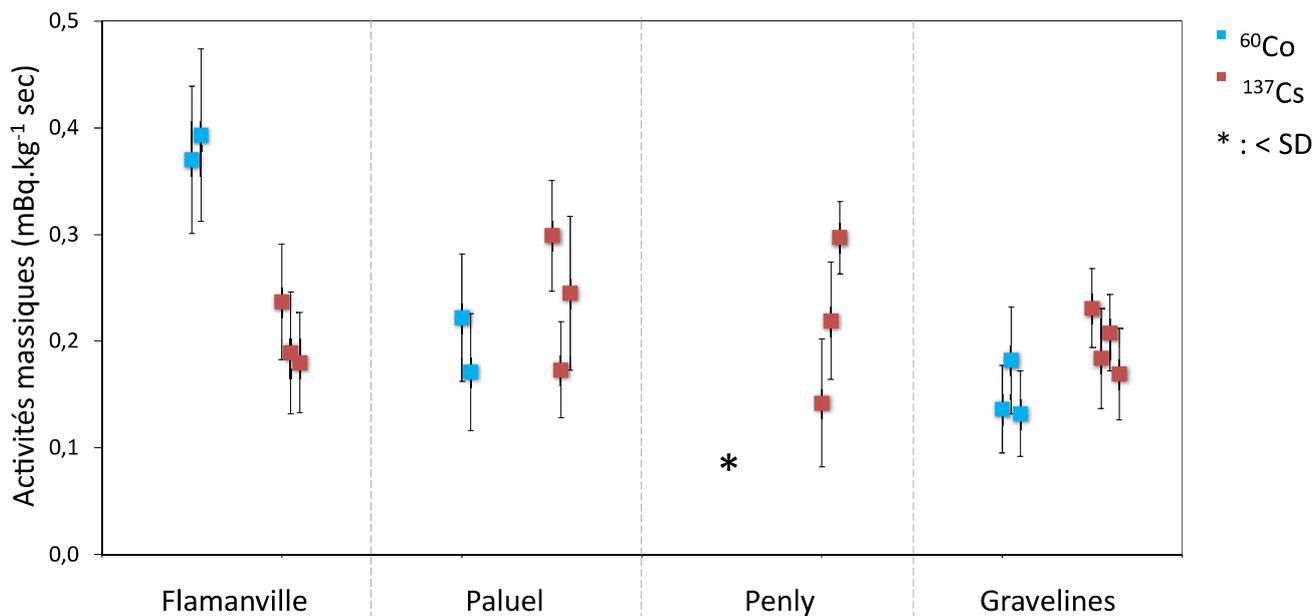
Les activités en tritium libre et en tritium organiquement lié ( $2,7\pm 0,8$  à  $8,0\pm 1,2$   $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$  ED pour l'HTO et  $2,0\pm 0,7$  à  $12,5\pm 1,7$   $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$  EC pour le TOL) dans les sédiments, les algues, les mollusques, les crustacés et les poissons 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, 25, 26]) 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 (16 des 32 activités mesurées sont supérieures à 5  $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ , avec une activité maximale de  $12,5\pm 1,7$   $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$  EC dans les poissons pêchés à proximité du CNPE de Flamanville) dans l'environnement des CNPE de Flamanville, Paluel et Penly en 2022.

Les activités en  $^{14}\text{C}$  quantifiées au sein des sédiments, des algues, des mollusques, des crustacés et des poissons échantillonnés dans l'environnement marin des CNPE ( $230\pm 11$  à  $450\pm 22$   $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  C) sont pour la plupart (26 des 28 activités mesurées, l'exception étant représentée par les bars d'aquaculture du Centre Aquacole de Gravelines, et les algues du port de Dieppe) supérieures au bruit de fond hors influence industrielle ( $233\pm 5$   $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  C en 2022 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 [27], et notamment de la proximité de l'usine ORANO

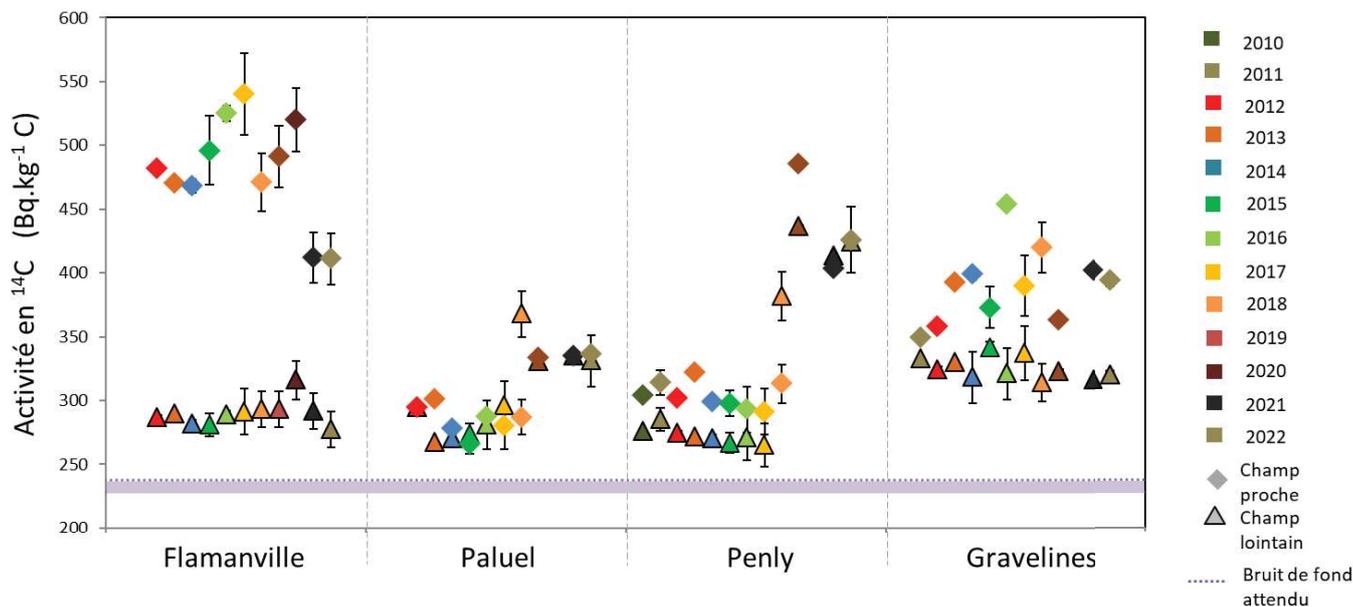
La Hague. Ce marquage en  $^{14}\text{C}$  est plus prononcé au voisinage des points de rejet d'effluents liquides des CNPE pour les algues et les mollusques à proximité du CNPE de Flamanville, pour les algues à proximité du CNPE de Penly, et pour les algues et les mollusques à proximité de Gravelines (Figure 32 page 204). A Paluel, le marquage est plus prononcé en champ lointain pour les algues. A Penly, c'est également le cas pour les poissons. A Flamanville, c'est également le cas pour les crustacés. Les différences ne sont pas significatives pour les poissons et les mollusques à Paluel, pour les mollusques à Penly, et pour les sédiments à Flamanville. A Flamanville et Gravelines, les poissons n'ont été échantillonnés qu'en champ proche et la comparaison n'est pas possible.



**Figure 30 - Activités en tritium libre ( $\text{Bq.L}^{-1}\text{ ED}$ ) mesurées dans les algues, les mollusques, les crustacés et les poissons échantillonnés dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord depuis 2000. La zone violette indique le bruit de fond attendu en entrée de Manche (i.e. entre  $3,7$  et  $5,9 \text{ Bq.L}^{-1}$  à distance de l'usine ORANO [3, 25, 26]).**



**Figure 31 - Activités en  $^{60}\text{Co}$  et en  $^{137}\text{Cs}$  mesurées dans les algues échantillonnées en 2022 dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord.**



**Figure 32 - Activités en  $^{14}\text{C}$  ( $\text{Bq.kg}^{-1}\text{C}$ ) 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 2023 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
jour	heure	/100 mL	/100 mL
25/05/2023	14h15	< 10	10
01/06/2023	13h20	< 10	< 10
08/06/2023	14h31	< 10	< 10
15/06/2023	10h54	< 10	< 10
22/06/2023	11h00	< 10	< 10
29/06/2023	09h25	< 10	10
06/07/2023	14h00	< 10	< 10
13/07/2023	14h10	< 10	< 10
20/07/2023	12h45	< 10	< 10
27/07/2023	15h45	10	31
03/08/2023	14h00	< 10	< 10
10/08/2023	08h20	< 10	< 10
17/08/2023	09h20	< 10	10
25/08/2023	10h00	< 10	20
31/08/2023	12h20	< 10	< 10
07/09/2023	08h50	20	20
14/09/2023	13h50	< 10	< 10
21/09/2023	11h10	< 10	10
28/09/2023	08h30	< 10	< 10
05/10/2023	14h10	< 10	< 10

### Contrôle des eaux du canal de rejet

date		Entérocoques intestinaux	Escherichia coli
jour	heure	/100 mL	/100 mL
25/05/2023	10h45	10	< 10
01/06/2023	13h45	< 10	< 10
08/06/2023	14h49	< 10	< 10
15/06/2023	11h07	< 10	31
22/06/2023	11h08	< 10	< 10
29/06/2023	09h40	< 10	< 10
06/07/2023	14h10	< 10	< 10
13/07/2023	14h20	< 10	< 10
20/07/2023	12h30	< 10	< 10
27/07/2023	15h50	< 10	< 10
03/08/2023	13h25	< 10	< 10
10/08/2023	09h00	< 10	< 10
17/08/2023	09h30	< 10	< 10
25/08/2023	09h50	< 10	< 10
31/08/2023	12h50	< 10	< 10
07/09/2023	09h10	< 10	< 10
14/09/2023	13h50	< 10	< 10
21/09/2023	11h20	< 10	< 10
28/09/2023	08h45	< 10	< 10
05/10/2023	14h20	< 10	10

## ANNEXE 4

### ***Résultats des levées bathymétriques 2023, différentiel 2022/2023 « petite zone » et 2020/2023 « grande zone »***



DTG - Ingénierie Topographie

134, chemin de l'étang  
38950 Saint-Martin-le-Vinoux

# Gravelines

## Plage - Grande Zone en Mer du Nord

État en octobre 2023

### Vue Générale

Système Planimétrique : Système Altimétrique

RGF93 v2b / Lambert-93

Echelle : NGFN

1/17250 Conversion Altimétrique

Alti CM = Alti NGFN + 2.84 m

Type et origine des données :

- Bathymétrie 2023 : multifaisceau et Lidar
- Entrepise : GEOXVZ

### Légende

Échelle de couleur : Isobathes remarquables :

5 m NGFN

— Zéro IGN

— Zéro Cote Marine

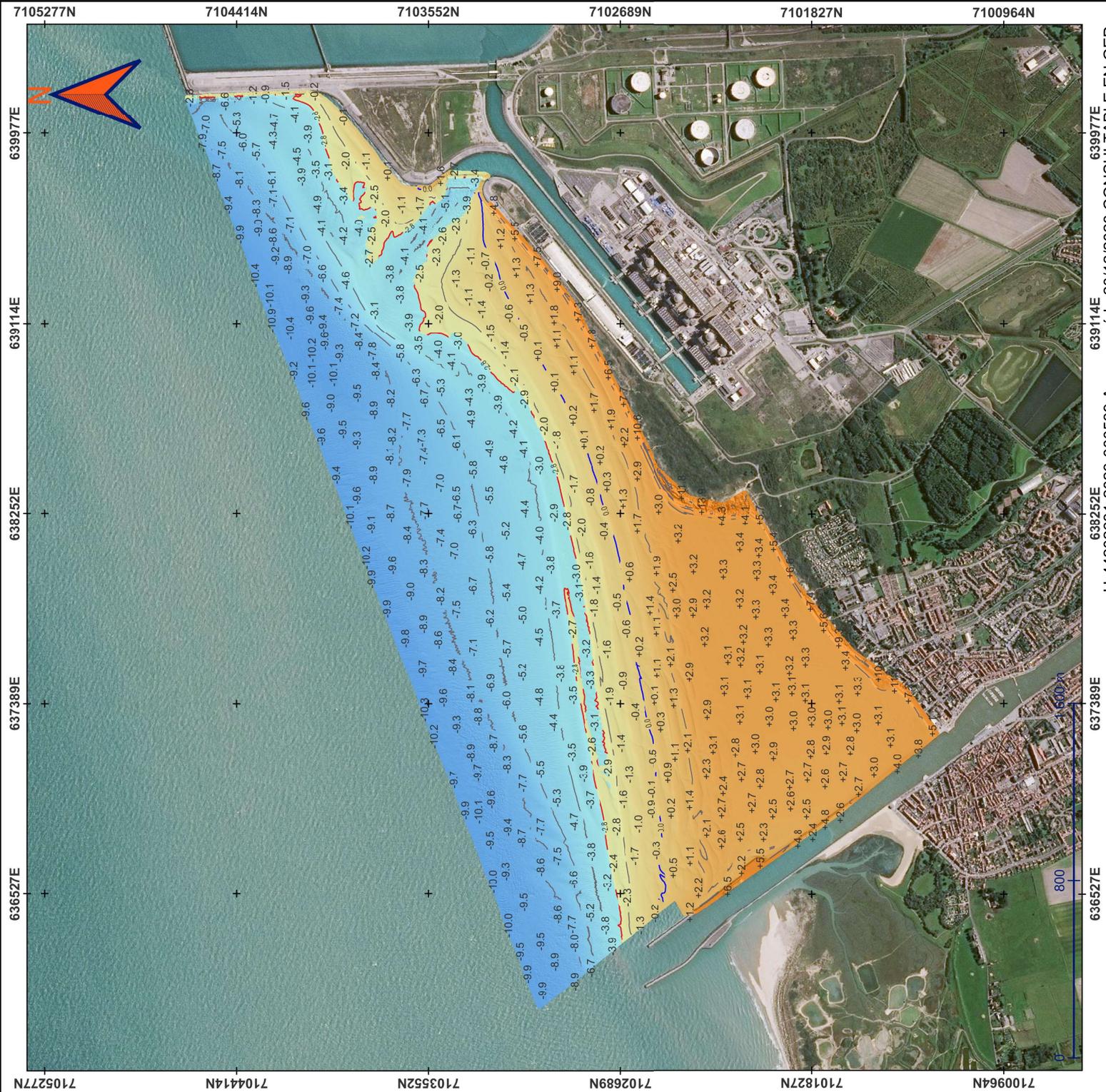
-10 m NGFN



Référence documentaire

H-44202631-2023-000539 A. 1. 1

Edition du 10/11/2023  
par VELUT Paul



H-44202631-2023-000539 A approuvée le 2014/2/2023 CONSULTABLE EN GED

639977E

639114E

638252E

637389E

636527E

7100964N

7101827N

7102689N

7103552N

7104414N

7105277N



DTG - Ingénierie Topographie  
134, chemin de l'étang  
38950 Saint-Martin-le-Vinoux

# Gravelines

## Plage - Grande Zone en Mer du Nord

État en octobre 2023

Vue Zone petite Plage

Système Planimétrique : Système Altimétrique

RGF93 v2b / Lambert-93

Echelle : 1/10000

Conversion Altimétrique : NGFN

Alti CM = Alti NGFN + 2.84 m

Type et origine des données :

- Bathymétrie 2023 : multifaisceau et Lidar
- Entreprise : GEOXVZ

### Légende

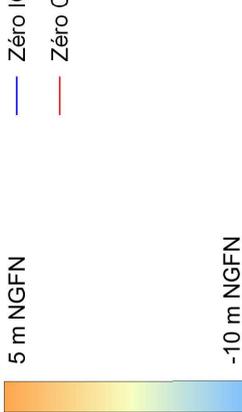
Échelle de couleur : Isobathes remarquables :

5 m NGFN

Zéro IGN

Zéro Cote Marine

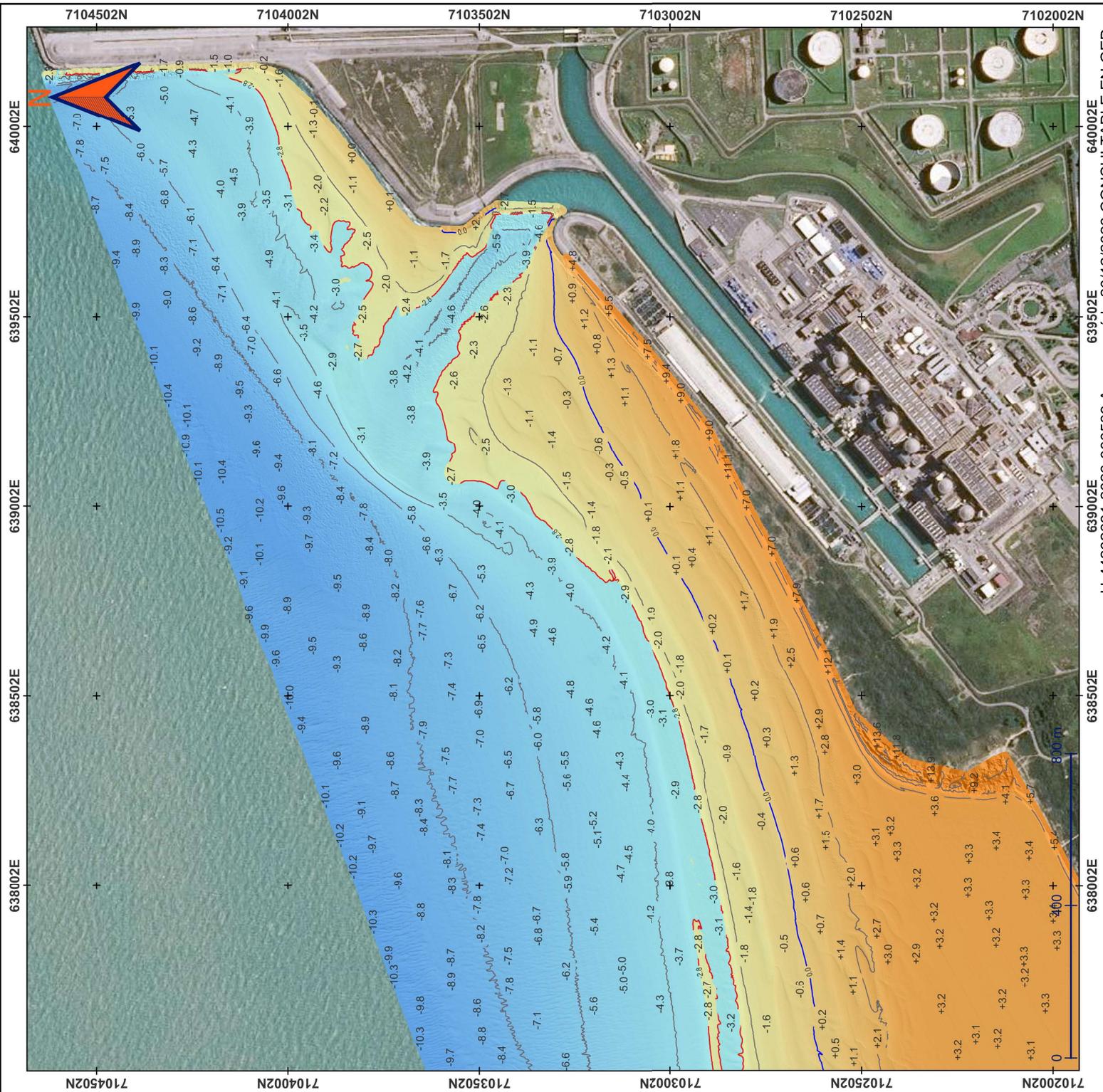
-10 m NGFN



Référence documentaire

H-44202631-2023-000539 A. 1.2

Edition du 10/11/2023  
par VELUT Paul



H-44202631-2023-000539 A approuvée le 20/12/2023 CONSULTABLE EN GED

638002E 639002E 640002E 7102002N 7103002N 7104002N 7104502N



DTG - Ingénierie Topographie

134, chemin de l'étang  
38950 Saint-Martin-le-Vinoux

# Gravelines

## Plage - Grande Zone en Mer du Nord

État en octobre 2023

### Zone de rejet

Système Planimétrique	Système Altimétrique
RGF93 v2b / Lambert-93	NGFN
Echelle	Conversion Altimétrique
1/2500	Alti CM = Alti NGFN + 2.84 m

Type et origine des données :

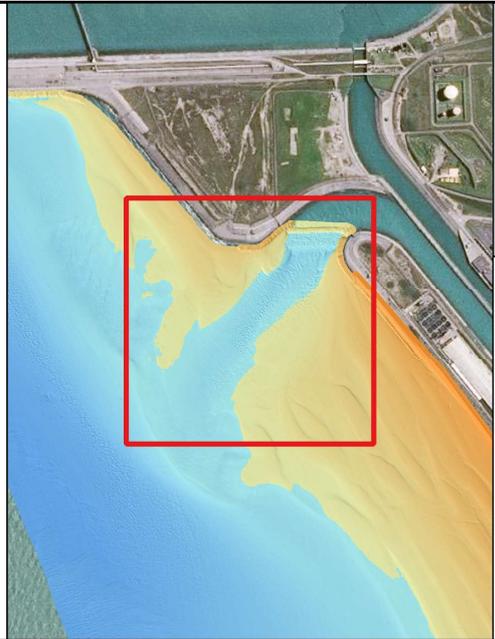
- Bathymétrie 2023 : multifaisceau et Lidar
- Entrepise : GEOXVZ

### Légende

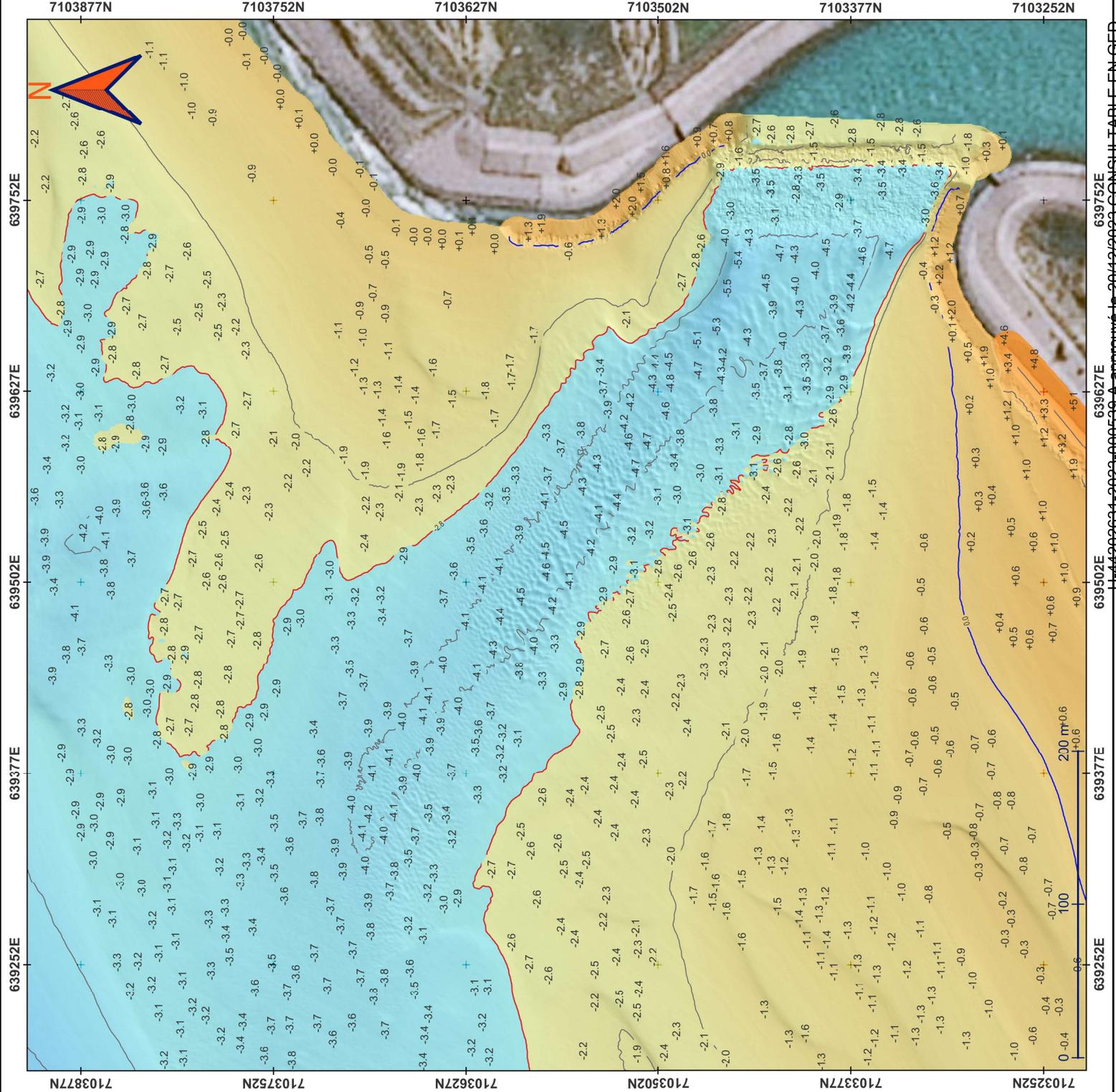
Échelle de couleur : Isobathes remarquables :

- 5 m NGFN
- Zéro IGN
- Zéro Cote Marine

-10 m NGFN



Édition du 10/11/2023  
par VELUT Paul  
Référence documentaire H-44202631-2023-000539 A. 1. 3



H-44202631-2023-000539-A approuvé le 2014/2/2023 CONSULTABLE EN GED

639752E

639627E

639502E

639377E

639252E



DTG - Ingénierie Topographie  
134, chemin de l'étang  
38950 Saint-Martin-le-Vinoux

# Gravelines

## Plage - Grande Zone sur Mer du Nord

Évolution entre septembre 2022 et octobre 2023

### Vue Générale

Système	Planimétrique	Système Altimétrique
RGF93 v2b / Lambert-93	NGFN	
Echelle	Conversion Altimétrique	
1/17250	Alti CM = Alti NGFN + 2.84 m	

Type et origine des données :

- Bathymétrie 2022 : multifaisceau et perche topo par GEOxyz
- Bathymétrie 2023 : monofaisceau et lidar par GEOxyz

### Légende

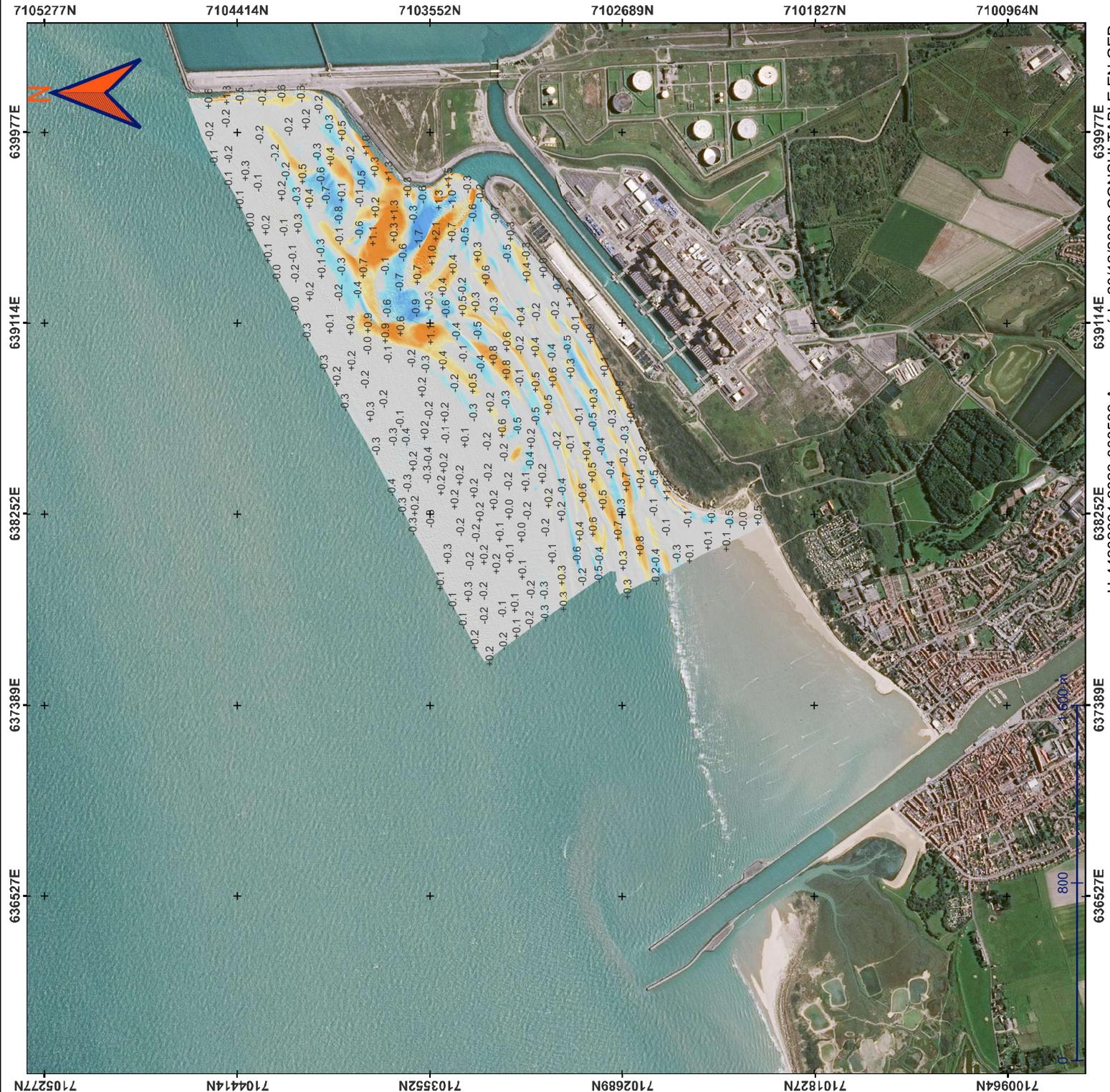
Échelle de couleur :  
La zone blanche représente la plage d'incertitude de la mesure à +/- 20cm



Référence documentaire

H-44202631-2023-000539 A 2.1

Édition du 10/11/2023  
par VELUT Paul



H-44202631-2023-000539 A approuvée le 20/12/2023 CONSULTABLE EN GED

639977E

639114E

638252E

637389E

636527E

710964N

7101827N

7102689N

7103552N

7104414N

7105277N



DTG - Ingénierie Topographie

134, chemin de l'étang  
38950 Saint-Martin-le-Vinoux

# Gravelines

## Plage - Grande Zone sur Mer du Nord

Évolution entre septembre 2022 et octobre 2023

### Vue Zone petite Plage

Système	Planimétrique	Système Altimétrique
RGF93 v2b / Lambert-93		NGFN
Echelle		Conversion Altimétrique
1/10000		Alté CM = Alté NGFN + 2.84 m

Type et origine des données :

- Bathymétrie 2022 : multifaisceau et perche topo par GEOxyz
- Bathymétrie 2023 : monofaisceau et lidar par GEOxyz

### Légende

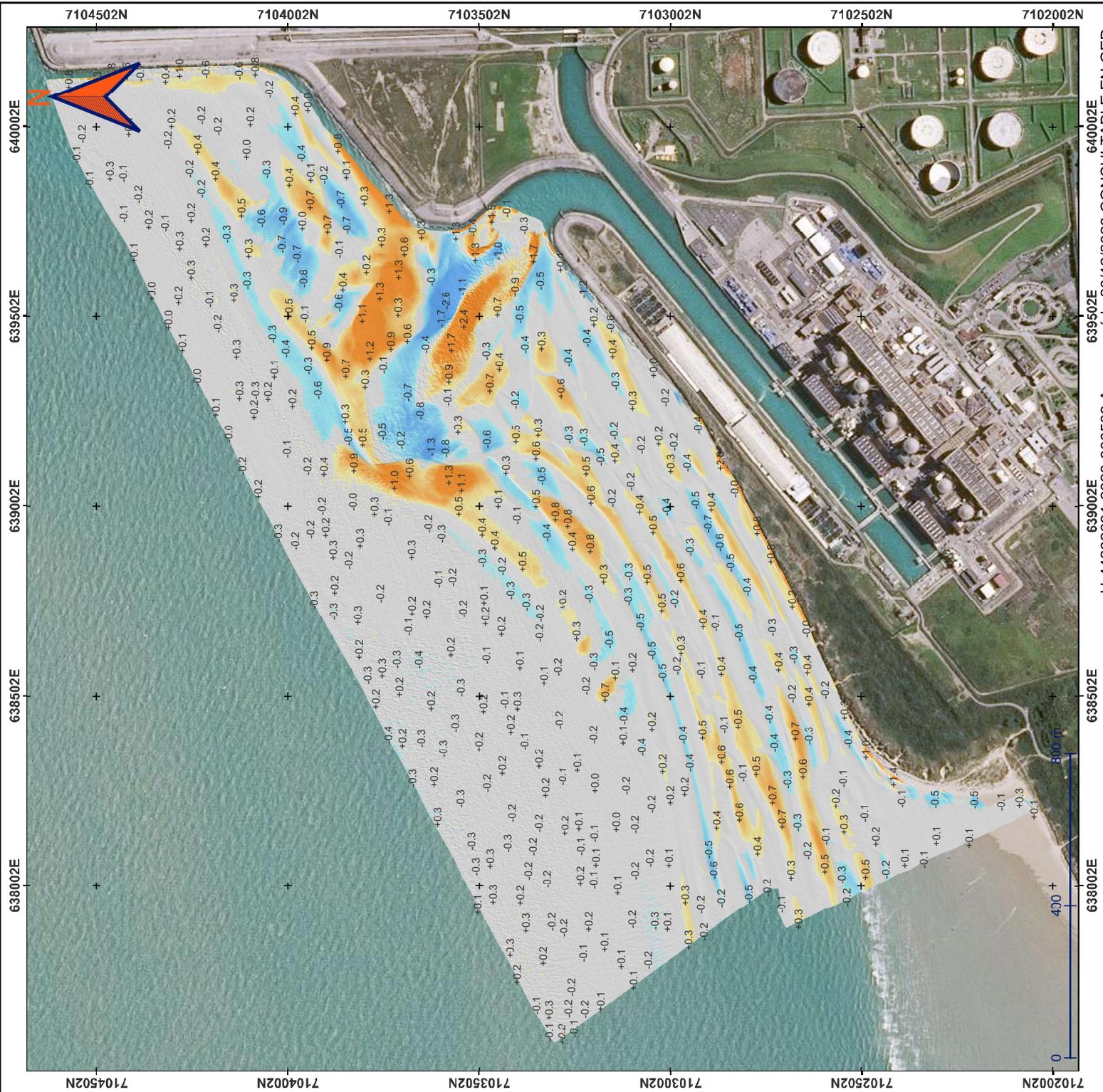
Échelle de couleur :  
La zone blanche représente la plage d'incertitude de la mesure à +/- 20cm



Référence documentaire

H-44202631-2023-000539 A 2.2

Édition du 10/11/2023  
par VELUT Paul



H-44202631-2023-000539-A approuvé le 20/11/2023 CONSULTABLE EN GED



DTG - Ingénierie Topographie

134, chemin de l'étang  
38950 Saint-Martin-le-Vinoux

# Gravelines

## Plage - Grande Zone sur Mer du Nord

Évolution entre septembre 2022 et octobre 2023

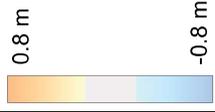
Zone de rejet	
Système Planimétrique	Système Altimétrique
RGF93 v2b / Lambert-93	NGFN
Echelle	Conversion Altimétrique
1/2500	Alti CM = Alti NGFN + 2.84 m

Type et origine des données :

- Bathymétrie 2022 : multifaisceau et perche topo par GEOxyz
- Bathymétrie 2023 : monofaisceau et lidar par GEOxyz

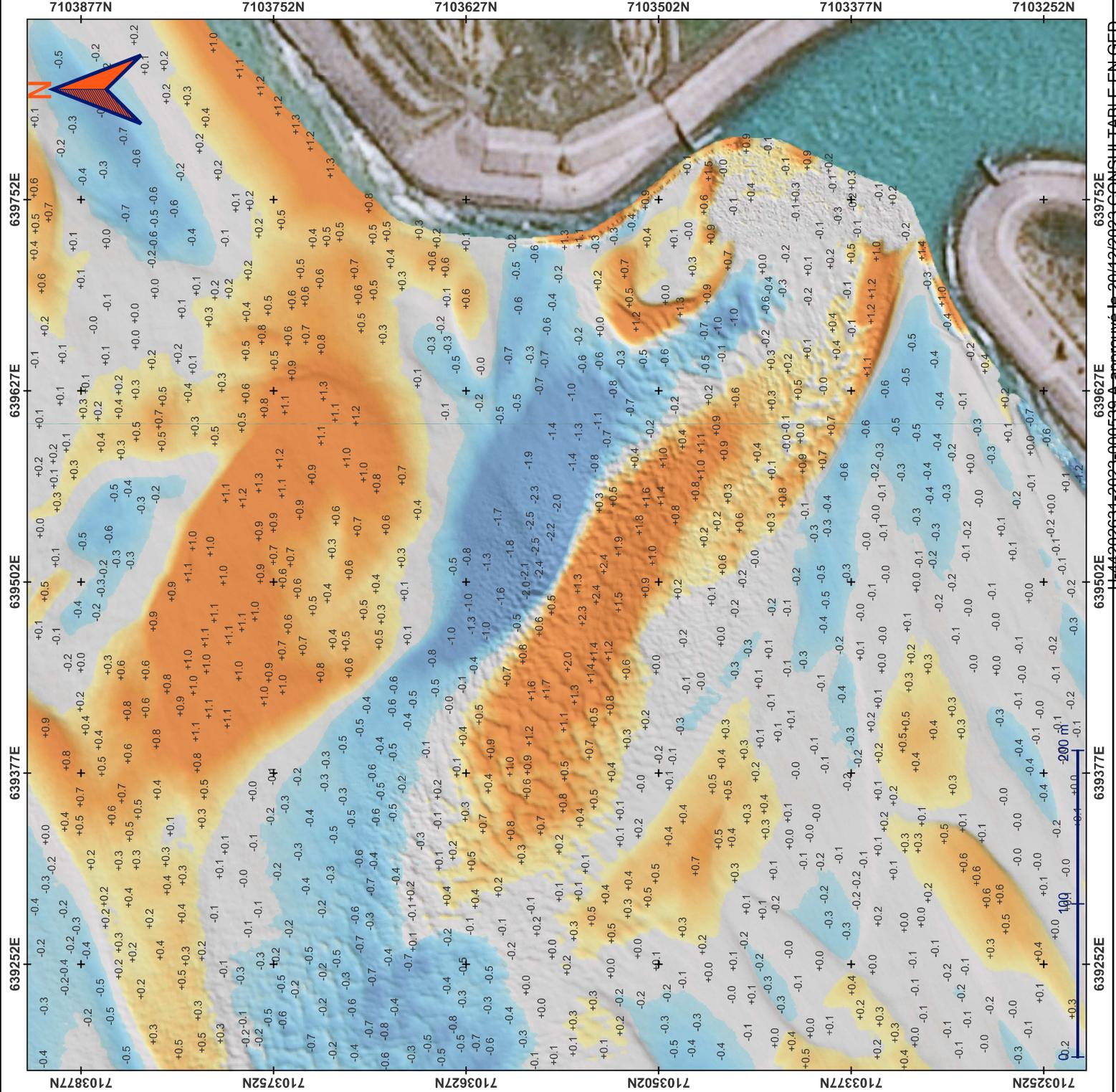
### Légende

Échelle de couleur :  
La zone blanche représente la plage d'incertitude de la mesure à +/- 20cm



Référence documentaire H-44202631-2023-000539 A 2.3

Edition du 10/11/2023 par VELUT Paul



H-44202631-2023-000539-A approuvé le 2014/2/2023 CONSULTABLE EN GED

639502E 639627E 639752E

7103252N 7103377N 7103502N 7103627N 7103752N 7103877N



DTG - Ingénierie Topographie  
134, chemin de l'étang  
38950 Saint-Martin-le-Vinoux

# Gravelines

## Plage - Grande Zone en Mer du Nord

Évolution entre décembre 2020 et octobre 2023

### Vue Générale

Système Planimétrique	Système Altimétrique
RGF93 v2b / Lambert-93	NGFN
Echelle	Conversion Altimétrique
1/17250	Alti CM = Alti NGFN + 2.84 m

Type et origine des données :

- Bathymétrie 2023 : multifaisceau et Lidar par GEOXwz
- Bathymétrie 2020 : multifaisceaux et perche topo par GEOXwz

### Légende

Échelle de couleur :

La zone blanche représente la plage d'incertitude de la mesure à +/- 20cm

0.8 m

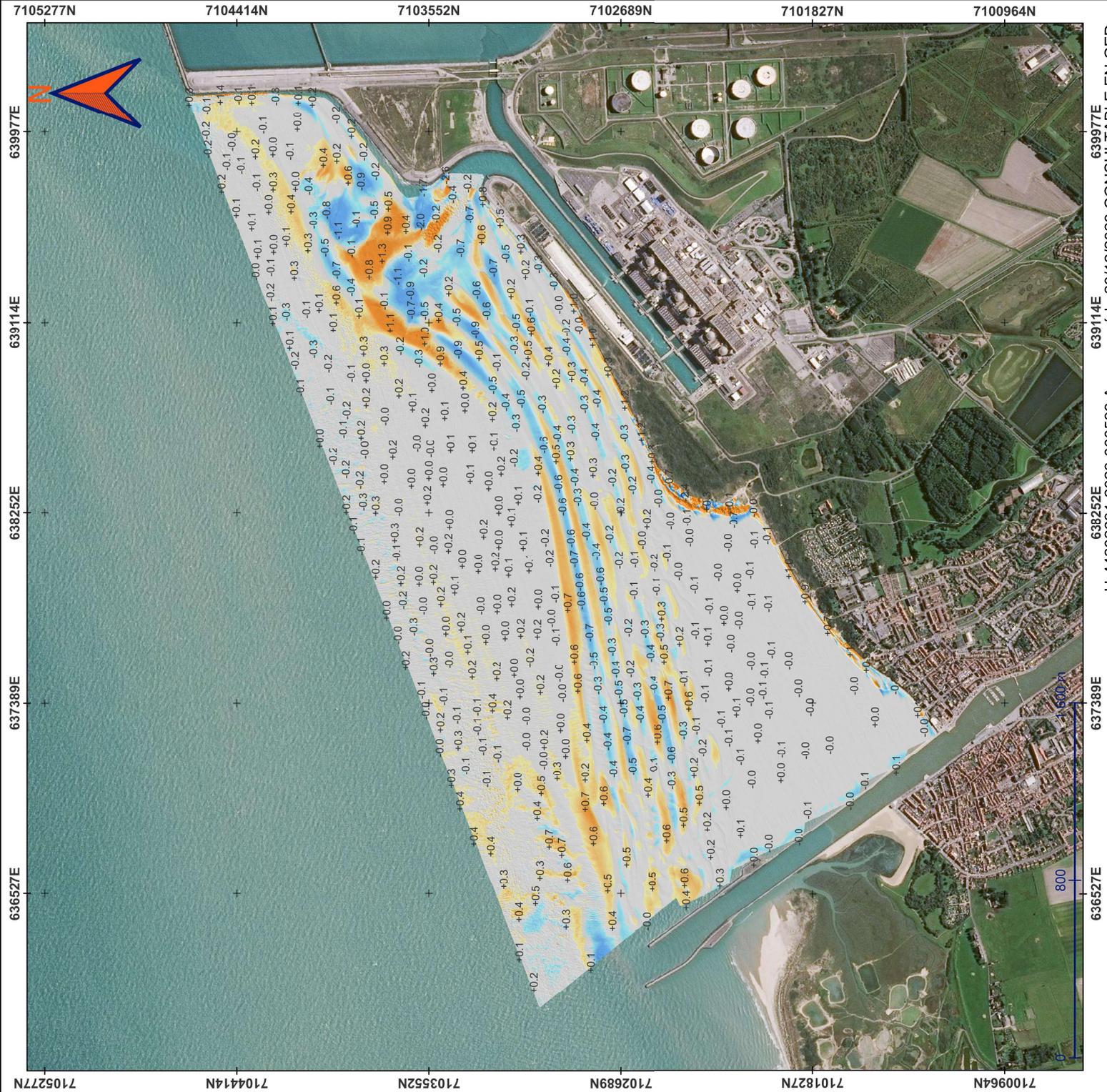
-0.8 m



Référence documentaire

H-44202631-2023-000539 A 3.1

Édition du 10/11/2023  
par VELUT Paul



H-44202631-2023-000539 A approuvée le 2014/2/2023 CONSULTABLE EN GED

639977E

639114E

638252E

637389E

636527E

7105277N 7104414N 7103552N 7102689N 7101827N 7100964N

639977E 639114E 638252E 637389E 636527E

7105277N 7104414N 7103552N 7102689N 7101827N 7100964N



DTG - Ingénierie Topographie

134, chemin de l'étang  
38950 Saint-Martin-le-Vinoux

# Gravelines

## Plage - Grande Zone en Mer du Nord

Évolution entre décembre 2020 et octobre 2023

Vue Zone petite Plage

Système Planimétrique	Système Altimétrique
RGF93 v2b / Lambert-93	NGFN
Echelle	Conversion Altimétrique
1/10000	Alti CM = Alti NGFN + 2.84 m

Type et origine des données :

- Bathymétrie 2023 : multifaisceau et Lidar par GEOXyz
- Bathymétrie 2020 : multifaisceaux et perche topo par GEOXyz

### Légende

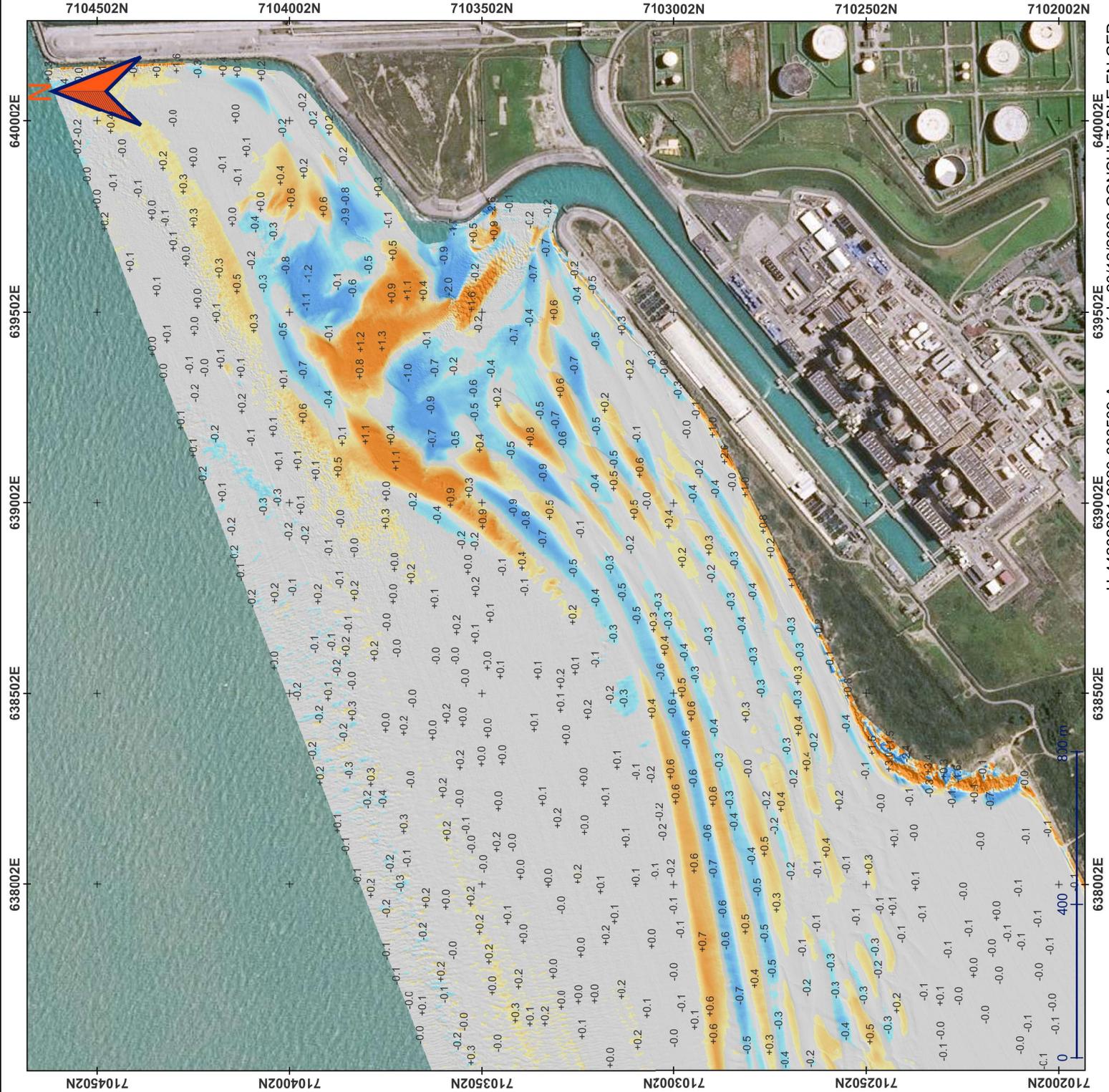
Échelle de couleur :  
La zone blanche représente la plage d'incertitude de la mesure à +/- 20cm



Référence documentaire

H-44202631-2023-000539 A 3.2

Édition du 10/11/2023  
par VELUT Paul



H-44202631-2023-000539-A approuvé le 2014/2/2023 CONSULTABLE EN GED

638502E

639002E

639502E

640002E



# Gravelines

## Plage - Grande Zone en Mer du Nord

Évolution entre décembre 2020 et octobre 2023

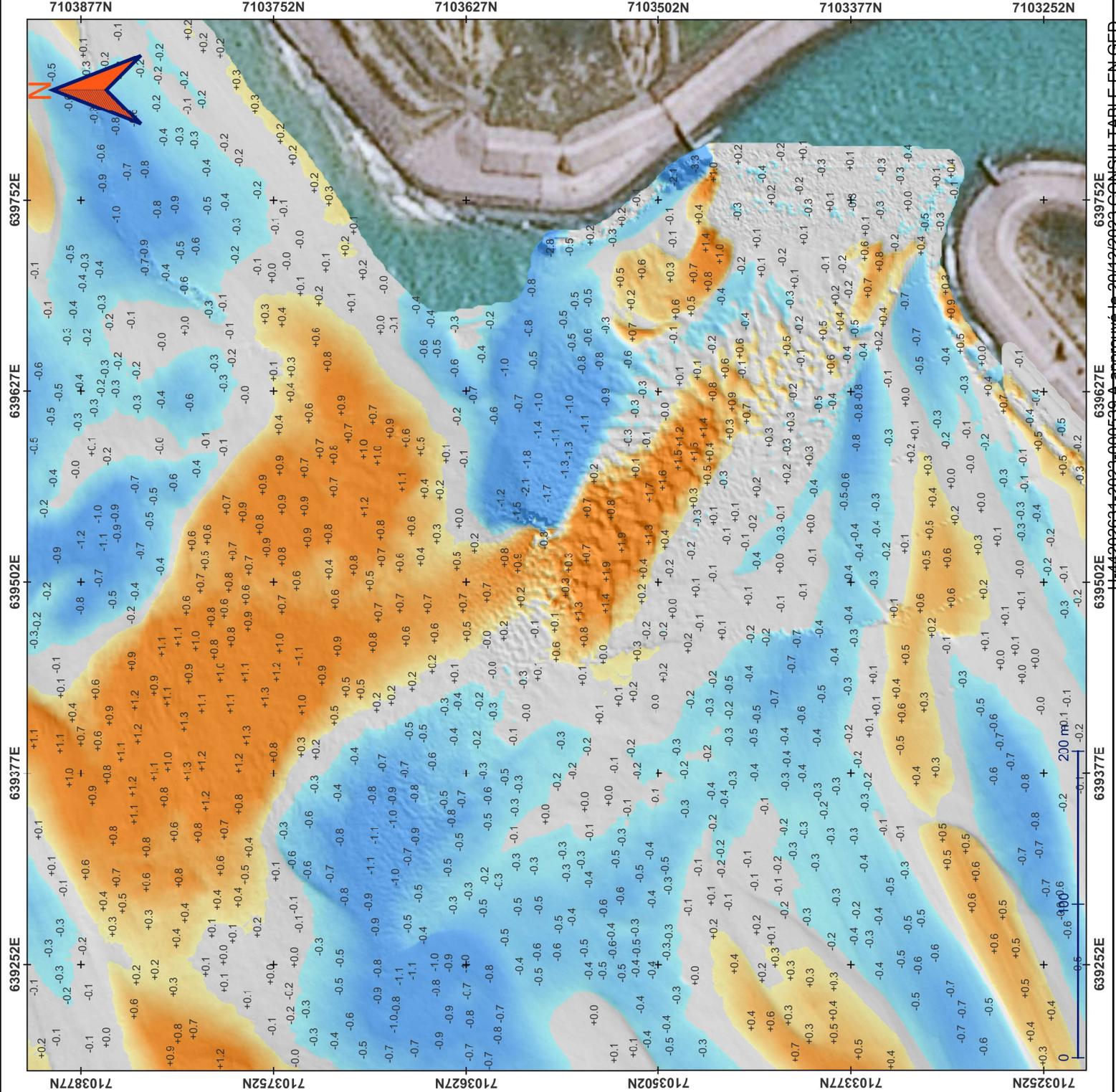
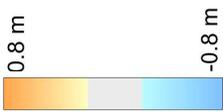
<b>Zone de rejet</b>	
Système Planimétrique	Système Altimétrique
RGF93 v2b / Lambert-93	NGFN
Echelle	Conversion Altimétrique
1/2500	Alti CM = Alti NGFN + 2.84 m

Type et origine des données :

- Bathymétrie 2023 : multifaisceau et Lidar par GEOXyz
- Bathymétrie 2020 : multifaisceaux et perche topo par GEOXyz

### Légende

Échelle de couleur :  
La zone blanche représente la plage d'incertitude de la mesure à +/- 20cm



## ANNEXE 5

### ***Rapport du Prévisionnel de prélèvement et consommation d'eau et de rejets du CNPE pour l'année 2023***

Prévisionnel de prélèvement et consommation d'eau et de rejets  
pour l'année 2023 du CNPE de Gravelines

26 janvier 2023

## 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 2023 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.

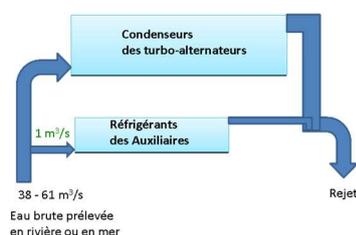


Fig. 1 : Schéma simplifié d'une unité de production refroidie en circuit ouvert

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

Depuis 2022, le CNPE prélève 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.

L'année 2023 sera également marquée par les travaux de construction du CCL (Centre de Crise Local) qui vont nécessiter le pompage d'eau de nappe supplémentaire estimé à 43 000 m<sup>3</sup>.

**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 2023 :**

- Prélèvements en mer : **5 980 000** milliers de m<sup>3</sup>
- Prélèvements d'eaux de réseaux de distribution : **850** milliers de m<sup>3</sup>
- Prélèvements d'eau de nappe : **78** milliers de m<sup>3</sup>

#### 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.

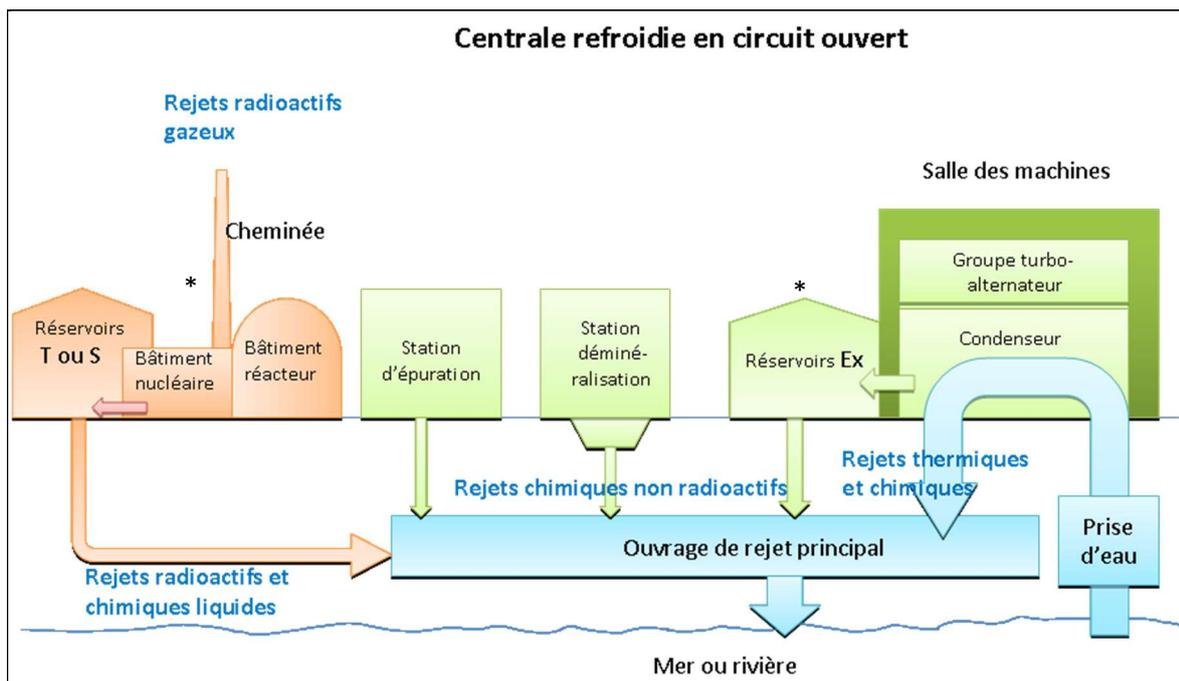


Fig. 2 : Schéma de principe des circuits de rejets d'une centrale nucléaire

##### 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 :

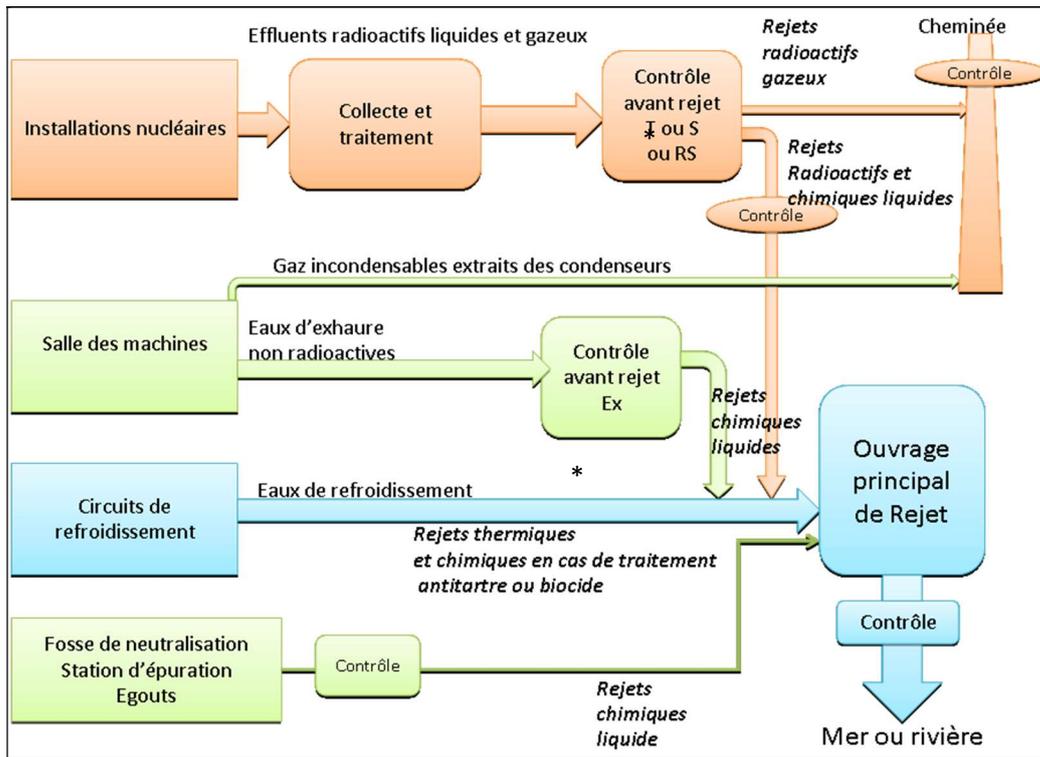


Fig. 3 : Collecte, traitement et contrôle des effluents (radioactifs et/ou chimiques) : principe

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 iodes 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.

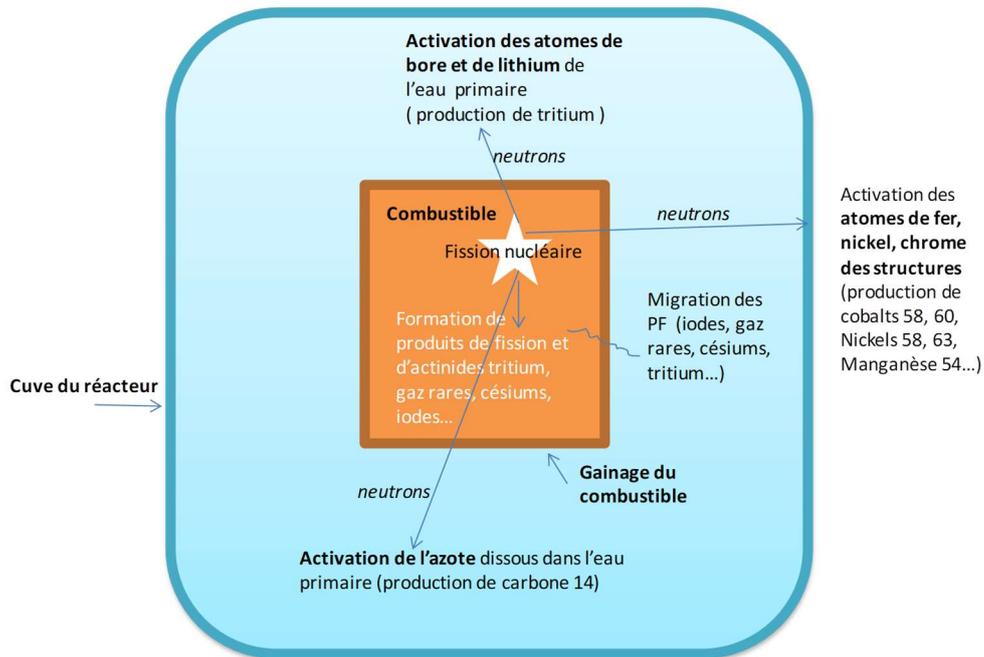


Fig.4 : Produits de fission et produits d'activation dans l'eau du circuit primaire

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.

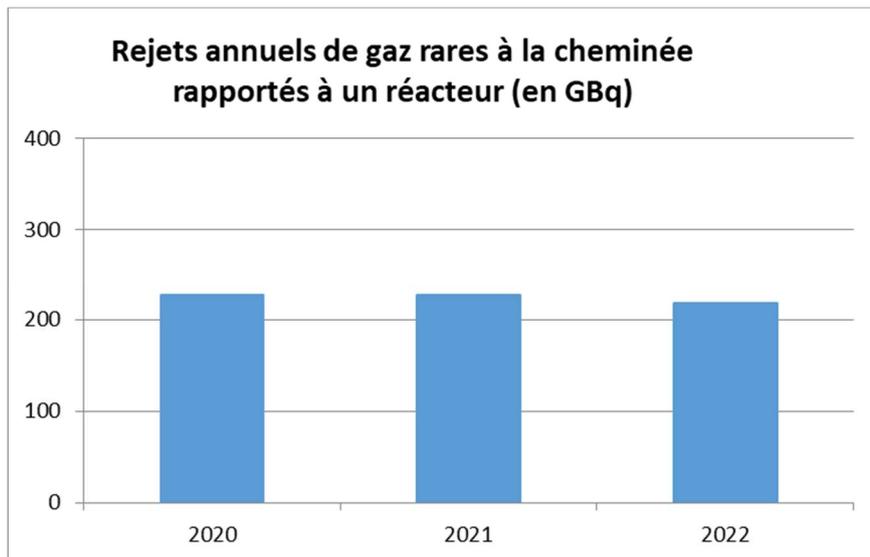


Fig. 5 : Historique des rejets annuels de **gaz rares** à la cheminée rapporté à un réacteur

- 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.

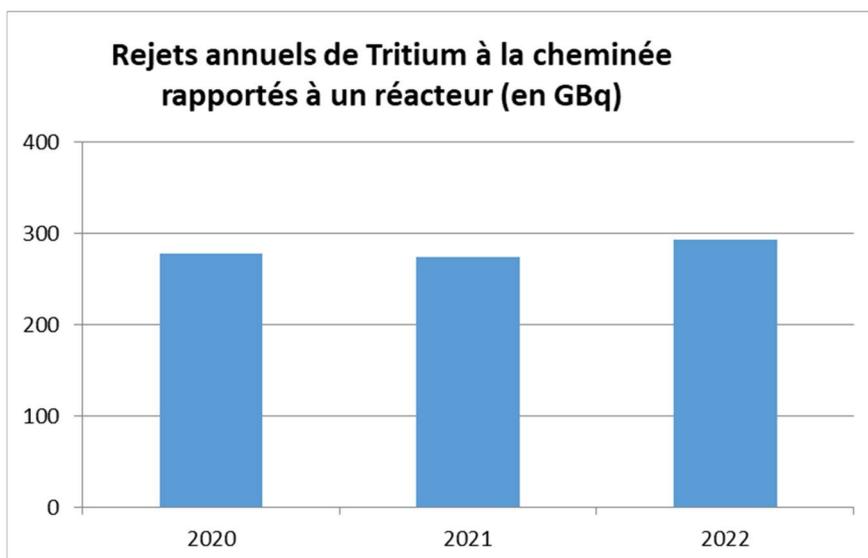


Fig. 6 : Historique des rejets annuels de **tritium gazeux** à la cheminée rapporté à un réacteur

- Le carbone 14 est essentiellement rejeté à la cheminée sous la forme de méthane (CH<sub>4</sub>) et de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). 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 2023 :**

- Rejets de gaz rares : **2 000** GBq
- Rejets gazeux de tritium : **2 000** GBq
- Rejets gazeux de carbone 14 : **1 400** GBq
- Rejets gazeux d'iodes : **0,10** GBq
- Rejets gazeux d'autres produits de fission et d'activation<sup>1</sup> : **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 m<sup>3</sup> environ (cf. fig. 7).

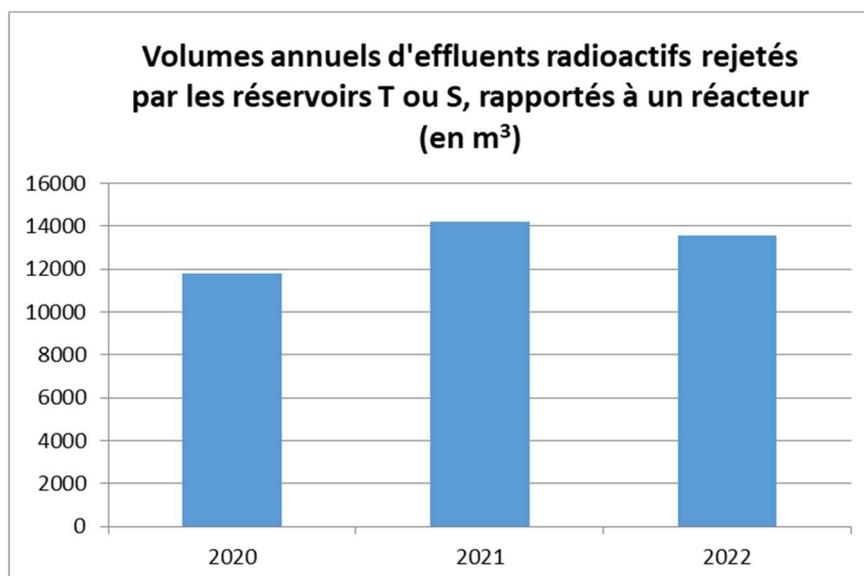


Fig. 7 : Historique des volumes annuels d'effluents radioactifs rejetés par les réservoirs T ou S, rapporté à un réacteur

<sup>1</sup> 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.

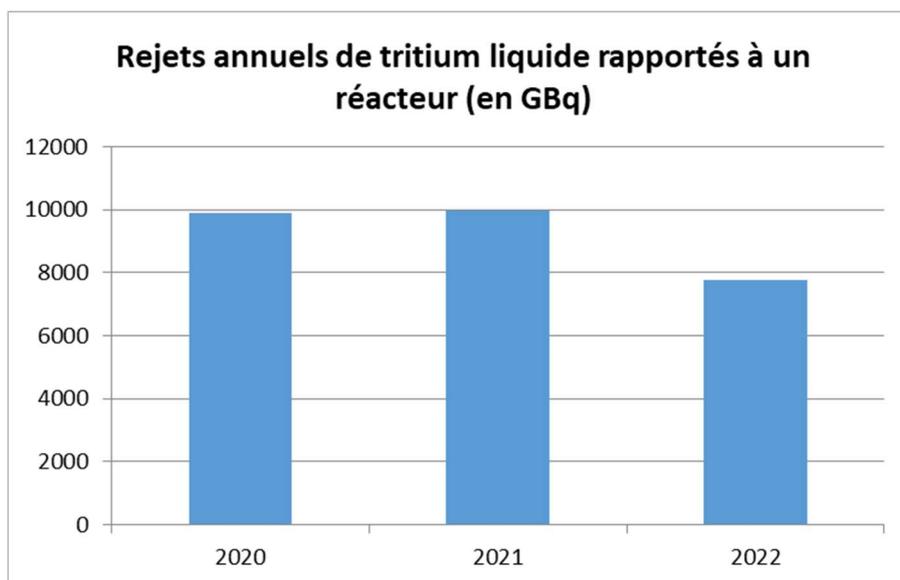


Fig. 8 : Historique des rejets annuels de **tritium liquide**, rapporté à un réacteur

- Le carbone 14 est présent dans les effluents sous forme de CO<sub>2</sub> 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.

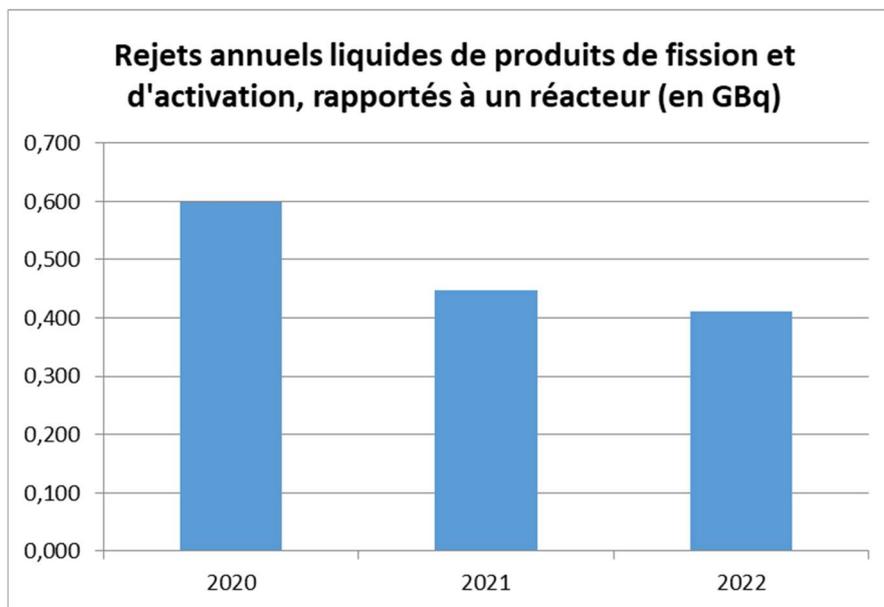


Fig. 9 Historique des rejets annuels de **produits de fission et d'activation**, rapporté à un réacteur

**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 2023 :**

- Rejets liquides de tritium : **90 000** 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 réacteur<sup>2</sup>. 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).

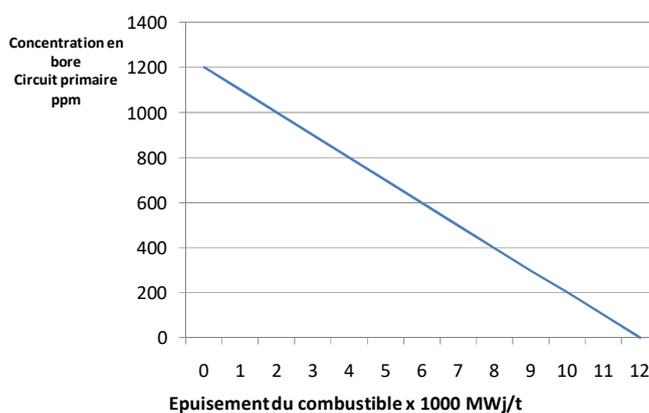


Fig. 10 : Evolution de la concentration en bore en fonction de l'épuisement du combustible

*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 2023.

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.

<sup>2</sup> 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.

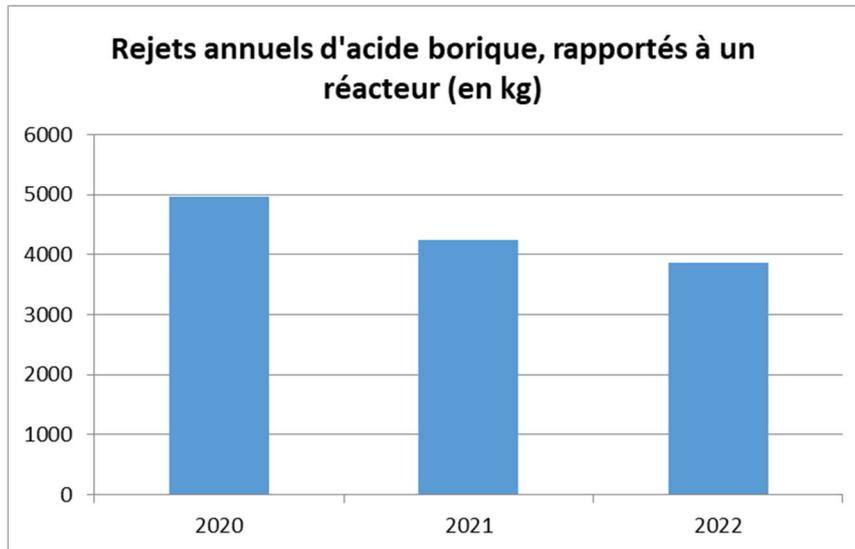


Fig. 11 : Historique des rejets annuels d'acide borique, ramenés à une unité de production

#### 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<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) est injectée, sous forme d'hydrate d'hydrazine (N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>OH), 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<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) 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<sub>2</sub>H<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O), l'hydrazine se décompose en ammoniac (NH<sub>4</sub>OH) 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 m<sup>3</sup> 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).

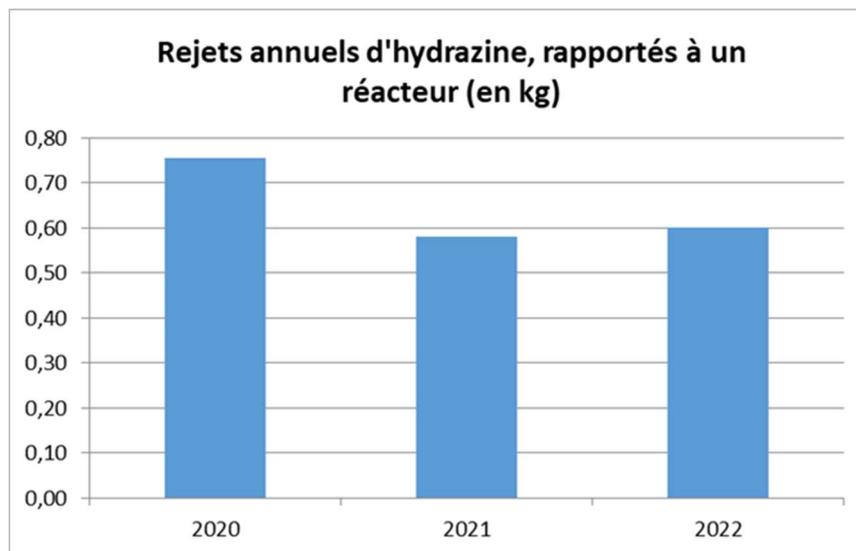


Fig. 12 : Historique de rejets annuels d'hydrazine, ramenés à une unité de production

- L'éthanolamine (C<sub>2</sub>H<sub>7</sub>NO) 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 ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) 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 2023 :**

Rejets issus des réservoirs T, S et Ex :

- Rejets d'acide borique : **25 200** kg
- Rejets d'hydrazine : **3,6** kg
- Rejets d'éthanolamine : **70** kg
- Rejets d'ammonium : **5 000** kg
- Rejets de phosphate : **500** kg
- Rejets de détergents : **60** 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 2023 CNPE de Gravelines

### Prélèvements en eau :

- Prélèvements en mer : **5 980 000** milliers de m<sup>3</sup>
- Prélèvements d'eaux de réseaux de distribution : **850** milliers de m<sup>3</sup>
- Prélèvements d'eau de nappe : **78** milliers de m<sup>3</sup>

### Rejets radioactifs gazeux :

- Rejets de gaz rares : **2 000** GBq
- Rejets gazeux de tritium : **2 000** GBq
- Rejets gazeux de carbone 14 : **1 400** 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 : **90 000** 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 : **70** kg
- Rejets d'ammonium : **5 000** kg
- Rejets de phosphate : **500** kg
- Rejets de détergents : **60** 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 2 084 365 041 euros  
552 081 317 R.C.S. Paris  
[www.edf.fr](http://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