

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

# Gravelines

**2021**

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 2021</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>10</b>
I. Prélèvement d'eau destinée au refroidissement	11
II. Prélèvement d'eau destinée à l'usage industriel	12
III. Prélèvement d'eau destinée à l'usage domestique	13
IV. Milieu de prélèvement : comparaison pluriannuelle, prévisionnel, valeurs limites et maintenance	13
<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	25
III. Rejets thermiques	47
<b>Partie V - Surveillance de l'environnement</b>	<b>50</b>
I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement	50
II. Physico-chimie des eaux souterraines	58
III. Chimie et physico-chimie des eaux de surface	59
IV. Surveillance écologique et halieutique	60
V. Levées topographiques et bathymétriques	67
VI. Acoustique environnementale	67
<b>Partie VI - Évaluation de l'impact environnemental et sanitaire des rejets de l'installation</b>	<b>69</b>

<b>Partie VII - 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 2020 (IRSN)

**ANNEXE 3** – Résultats de la campagne estivale 2021 de contrôle des eaux du canal d'amenée et du canal de rejet

**ANNEXE 4** – Résultats des levées bathymétriques 2021, différentiel 2020/2021 « petite zone »

**ANNEXE 5** – Rapport du Prévisionnel de prélèvement et consommation d'eau et de rejets du CNPE pour l'année 2021

# Partie I - Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité de Gravelines en 2021

## 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 2021 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). En 2021, le parc nucléaire français a produit 360 milliards de kWh (360 TWh). La centrale de Gravelines a, quant à elle, produit 29,8 milliards de kWh, soit près de 8,3% de la production nucléaire française d'EDF.

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

- deux unités de la filière à eau sous pression (REP) d'une puissance de 910 mégawatts électriques refroidies chacune par l'eau de mer : Gravelines 1 et Gravelines 2, mises en service en 1980. Ces deux réacteurs constituent l'installation nucléaire de base (INB) n° 96 ;
- deux unités de la filière à eau sous pression (REP) d'une puissance de 910 mégawatts électriques refroidies chacune par l'eau de mer : Gravelines 3 et Gravelines 4, mises en service respectivement en 1980 et 1981. Ces deux réacteurs constituent l'installation nucléaire de base (INB) n° 97 ;
- deux unités de la filière à eau sous pression (REP) d'une puissance de 910 mégawatts électriques refroidies chacune par l'eau de mer : Gravelines 5 et Gravelines 6, mises en service respectivement en 1984 et 1985. Ces deux réacteurs constituent l'installation nucléaire de base (INB) n° 122.

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

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

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

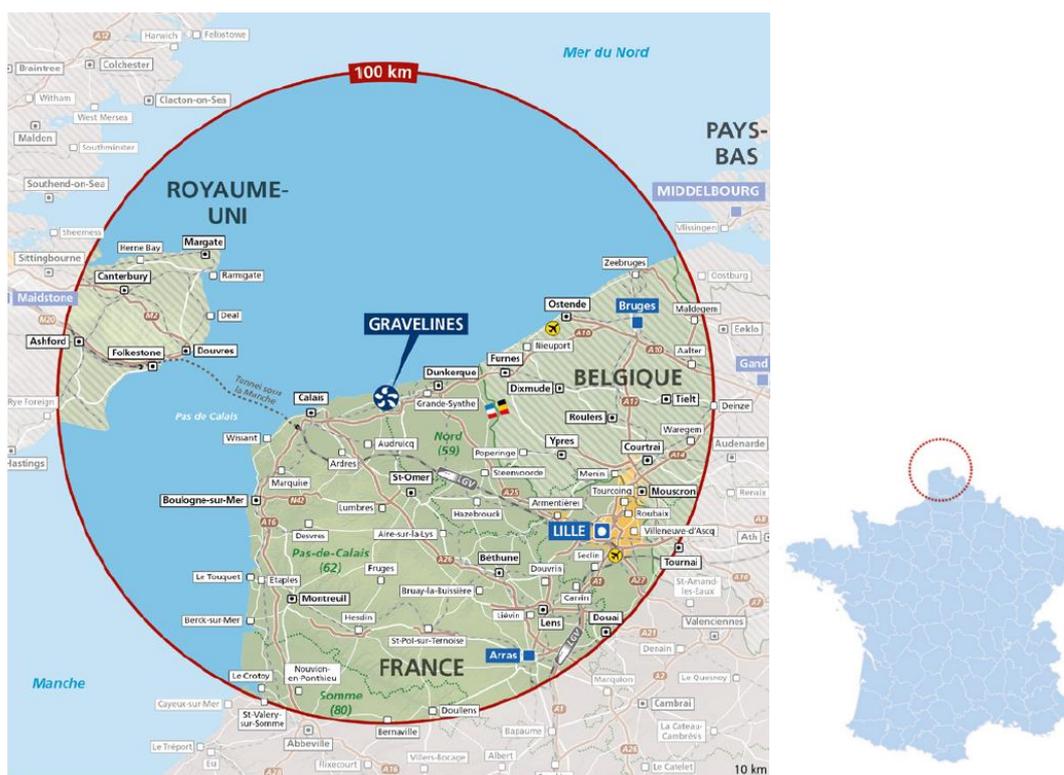


Figure 1 : Localisation du site

### **III. Modifications apportées au voisinage du CNPE de Gravelines**

La surveillance de l'environnement industriel est réalisée en application d'une prescription interne d'EDF. Lors de l'année 2021, aucune modification notable au voisinage du CNPE de Gravelines n'a été identifiée.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 1. Bilan des événements significatifs pour l'environnement déclarés

Le tableau suivant récapitule les événements significatifs pour l'environnement déclarés par le CNPE de Gravelines en 2021.

Typologie	Date de l'événement	Description de l'événement	Principales actions correctives
ESE 4	24/01/2021	Indisponibilité simultanée des bâches 9 TEG 208 BA et 9 TEG 003 BA	<p><u>AC1</u> : revoir l'organisation lors des passations TEM/AT, afin d'inclure un focus sur les chantiers dimensionnant à venir et les attendus du TEM en sortie d'AT.</p> <p><u>AC2</u> : disposer d'une planification site des activités de prélèvements et rejets gazeux, en prenant en compte : les butées réglementaires des visites des réservoirs, les contraintes site, les temps d'analyses et la disponibilité des appareils analytiques.</p> <p><u>AC3</u> : demander un ARSS auprès de l'ASN afin de relaxer le contrôle manœuvrabilité des soupapes lors des inspections externes.</p>
ESE 2	16/04/2021	Déversement de liquide de refroidissement (Coolelf) suite à une fuite sur le réfrigérant 0 LHT 507 RF	<p><u>AC1</u> : Mettre en place une solution permettant de se prémunir d'une fatigue mécanique sur le tubing de l'évent des réfrigérants.</p> <p><u>AC2</u> : Réaliser une fiche REX afin d'informer le parc EDF.</p> <p><u>AC3.1</u>: Etudier la faisabilité de réaliser des mesures de vibration sur les motoventilateurs 0 LHT 523 ZV à 0 LHT 530 ZV.</p> <p><u>AC3.2</u>: Définir un Programme Local de Maintenance Préventive ainsi que sa déclinaison (sous couvert de la faisabilité de l'action 3.1). La réalisation des mesures sera réalisée à la suite de la réalisation de l'action AC3.2 et conformément au Programme Local de Maintenance Préventive.</p> <p><u>AC4</u> : Analyser les valeurs WINSERVIR et affiner les valeurs de tolérance.</p> <p><u>AC5</u> : Mettre à jour l'application WINSERVIR et réaliser une communication interne CDT.</p> <p><u>AC6</u> : Créer et mettre en place une trame afin de disposer des données nécessaires au suivi de tendance.</p>

Typologie	Date de l'événement	Description de l'événement	Principales actions correctives
			<p><u>AC7</u> : Mettre en place une organisation interne service MTE pour le suivi des appoints en Coolelf</p> <p><u>AC8</u> : Travailler avec le service LNU afin d'éclaircir le processus de réintégration des PDR pour réparation et de redéfinir les attendus de chacun via la rédaction d'une note d'information.</p>
ESE 2	24/07/2021	Dépassement de la limite de concentration maximale autorisée en Hydrocarbures lors du rejet automatique 9 SEO (émissaire B1)	<p><u>AC1</u> : définir une solution technique permettant de retrouver la fonctionnalité des vannes 9 SEH 008 VK et 9 SEH 009 VK.</p> <p><u>AC2</u> : former les Agents de Terrain du service Conduite à l'exploitation du déshuileur SEH.</p> <p><u>AC3</u> : réaliser une action de communication à l'ensemble des agents du CNPE concernant l'orientation des effluents vers les déshuileurs SEH.</p>
ESE 2	01/05/2021	Absence des prélèvements sur le minibloc N°4 pour les mois d'avril, juin et juillet et dépassement de la concentration maximale en MeS et DCO pour le mois d'août.	<p><u>AC1</u> : réaliser une réunion de transfert formalisée par mini-bloc conformément à l'organisation en vigueur sur le site, avec rédaction d'un PV de transfert mentionnant les réserves éventuelles. Ce PV devra être signé par toutes les parties prenantes : LNU-A2PS – PCE – entreprise.</p> <p><u>AC2</u> : effectuer des points de contrôles et prélèvements COFRAC périodiques sur les trois MB restant à transférer.</p> <p><u>AC3</u> : présenter l'analyse de l'événement lors de la prochaine réunion modifications du CNPE.</p>
ESE 2	06/09/2021	Déversement accidentel de liquide de refroidissement sur 1 LHQ	<p><u>AC1</u> : Réaliser la fusion des fichiers de suivi des FNC des différentes tranches dans un seul fichier de synthèse.</p> <p><u>AC2</u> : Réaliser le listing avant chaque activité de l'ensemble des REX issus des mêmes activités sur les différentes tranches en préparation et les présenter à chaque LDP au client EDF.</p> <p><u>AC3</u> : Mise à jour du plan « cahier de support » et du DSI « de dépose / repose des supports ».</p> <p><u>AC4</u> : Réalisation par l'entreprise titulaire d'une sensibilisation auprès des managers sur les thèmes qualité et sûreté pour les entités de CMI.</p> <p><u>AC5</u> : Entretien disciplinaire avec la Direction avec l'ensemble des acteurs concernés.</p> <p><u>AC6</u> : Identifier les supports jugés sensibles à la levée des préalables</p> <p><u>AC7</u> : Réaliser un briefing et un débriefing lors des phases de montage des supports sensibles.</p>
ESE 6	30/09/2021	Cumul annuel des émissions de gaz SF6 supérieur à 100 kg sur l'année 2021.	<p><u>AC1</u> : partage du REX Gravelines au PEX Postes 2021</p> <p>Le site poursuit les actions engagées dans le cadre des plans de résorption de fuites définies dans les rapports d'ESE de 2018, 2019 et 2020.</p>

## **2. Bilan des incidents de fonctionnement**

En 2021, les indisponibilités des dispositifs de traitement des effluents radioactifs des tranches 8 et 9 déjà présentes en 2020 se sont poursuivies. Ceci est lié à leur requalification au titre de la réglementation ESPN (Equipements Sous Pression Nucléaire). Ces indisponibilités n'ont pas eu d'incidence sur la qualité de la surveillance environnementale, et des moyens de traitement palliatifs ont été mis en œuvre pour limiter l'impact de ces indisponibilités sur les rejets du CNPE.

## Partie II - Prélèvements d'eau

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

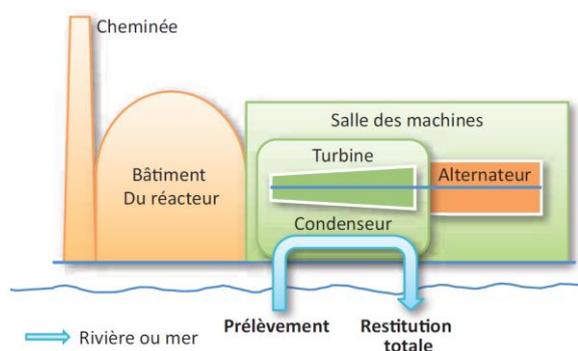
Que cette eau soit prélevée en mer, dans un cours d'eau, ou dans des nappes d'eaux souterraines, son utilisation est strictement réglementée et contrôlée par les pouvoirs publics.

Dans un CNPE, l'eau est nécessaire pour :

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

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

- le circuit primaire pour extraire la chaleur : c'est un circuit fermé parcouru par de l'eau sous pression (155 bars) et à une température de 300° C. L'eau passe dans la cuve du réacteur, capte la chaleur produite par la réaction de fission du combustible nucléaire et transporte cette énergie thermique vers le circuit secondaire au travers des générateurs de vapeur.
- le circuit secondaire pour produire la vapeur : au contact des milliers de tubes en « U » des générateurs de vapeur, l'eau du circuit primaire transmet sa chaleur à l'eau circulant dans le circuit secondaire, lui-aussi fermé. L'eau de ce circuit est ainsi transformée en vapeur qui fait tourner la turbine. Celle-ci entraîne l'alternateur qui produit l'électricité. Après son passage dans la turbine, la vapeur repasse à l'état liquide dans le condenseur ; cette eau est ensuite renvoyée vers les générateurs de vapeur pour un nouveau cycle.
- un troisième circuit, appelé « circuit de refroidissement » : pour condenser la vapeur et évacuer la chaleur, le circuit de refroidissement comprend un condenseur, appareil composé de milliers de tubes dans lesquels circule de l'eau froide prélevée dans la rivière ou la mer. Au contact de ces tubes, la vapeur se condense. Pour le CNPE de Gravelines situé en bord de mer, le circuit de refroidissement totalement ouvert. De l'eau (environ 40 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, à une température légèrement plus élevée.



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

Annuellement, en moyenne, le volume d'eau nécessaire au fonctionnement du circuit de refroidissement d'un réacteur du CNPE de Gravelines est autour d'un milliard de mètres cubes (si l'eau est rejetée directement dans le milieu naturel) soit un besoin 160 litres d'eau prélevés pour produire 1 kWh.

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

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

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

## I. Prélèvement d'eau destinée au refroidissement

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel du prélèvement d'eau destinée au refroidissement de l'année 2021, réalisé dans la mer du Nord.

	Prélèvement d'eau (en millions de m <sup>3</sup> )
Janvier	594,58
Février	517,66
Mars	545,07
Avril	506,47
Mai	545,39

	Prélèvement d'eau (en millions de m <sup>3</sup> )
Juin	479,38
Juillet	579,61
Août	576,19
Septembre	490,37
Octobre	444,54
Novembre	426,24
Décembre	412,58
<b>TOTAL</b>	<b>6 118,08</b>

**Commentaire :** Dans ce tableau, il s'agit d'eau de mer uniquement destinée au refroidissement. De l'eau de mer est également prélevée pour un usage industriel, ceci est pris en compte au § II.

## 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 2021. Le prélèvement est réalisé dans le réseau d'eau industrielle du Dunkerquois et dans la mer du Nord (pour le lavage des tambours filtrants des stations de pompage, système CFI).

	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	2 565 123	2 471 020	94 103
Février	2 437 116	2 335 269	101 847
Mars	2 687 904	2 595 436	92 468
Avril	2 576 524	2 510 666	65 858
Mai	2 765 133	2 704 833	60 300
Juin	1 758 563	1 690 879	67 684
Juillet	1 849 817	1 776 768	73 049
Août	1 837 266	1 745 972	91 294
Septembre	1 785 168	1 726 108	59 060
Octobre	1 822 544	1 745 879	76 665
Novembre	1 662 073	1 597 599	64 474
Décembre	1 661 768	1 611 200	50 568
<b>TOTAL (en m<sup>3</sup>)</b>	<b>25 408 999</b>	<b>24 511 629</b>	<b>897 370</b>

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

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel d'eau potable consommée en 2021.

	Prélèvement d'eau (en m <sup>3</sup> )
Janvier	4 628
Février	6 850
Mars	8 476
Avril	8 569
Mai	8 637
Juin	8 761
Juillet	8 917
Août	5 788
Septembre	6 656
Octobre	7 300
Novembre	7 371
Décembre	6 036
TOTAL	87 989

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

#### 1. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel des prélèvements d'eau pour 2021

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de prélèvement des années 2019 à 2021 avec la valeur du prévisionnel 2021.

Milieu	Année	Volume (milliers de m <sup>3</sup> )
Eaux marines pour le refroidissement	2019	6 187 979
	2020	6 341 478
	2021	6 118 078
	Prévisionnel 2021	6 300 000
Eaux marines pour un usage industriel	2019	25 666
	2020	26 438
	2021	24 512
	Prévisionnel 2021	-
Eaux douces du réseau pour un usage industriel	2019	775 002
	2020	873 001
	2021	897 370
	Prévisionnel 2021	850 000
Eaux potable à usage domestique	2019	76,809
	2020	58,627
	2021	87,989
	Prévisionnel 2021	-

**Commentaires :** Jusqu'à 2021, les eaux marines à usage industriel (eaux de lavage des tambours filtrants des stations de pompage, système CFI) étaient prises en compte avec les

eaux de refroidissement (cumul des eaux marines prélevées). Depuis 2021, les deux usages des eaux marines sont dissociés. Les valeurs présentées ci-dessus de 2019 à 2021 sont actualisées en prenant en compte cette dissociation.

Les volumes d'eau prélevés sont cohérents au prévisionnel qui avait été défini pour l'année 2021, compte tenu du temps effectif de fonctionnement des tranches, malgré un léger dépassement du prévisionnel en eaux du réseau à usage industriel (5,6%).

Le volume d'eau potable consommé a augmenté par rapport à 2020, en lien avec le nombre plus élevé d'intervenants sur le site et l'apparition de nouvelles fuites sur le réseau d'eau potable. Les consommations d'eau sont suivies régulièrement et les fuites font l'objet de recherches et de réparations.

## 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	Valeur moyenne	
Eaux souterraines	Débit instantané	90	0	0	m <sup>3</sup> / h
	Volume journalier	2 160	0	0	m <sup>3</sup>
	Volume annuel	35 000	0 *	0	m <sup>3</sup>

\*correspond au volume annuel prélevé

**Commentaires :** En 2021, aucune opération de prélèvement en nappe n'a été réalisée.

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

L'année 2021 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 4 puits de pompage en nappe phréatique et d'un réservoir de stockage d'eau. Les travaux ont débutés en 2021.

## 4. Opérations exceptionnelles de prélèvements

Le CNPE de Gravelines n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de prélèvement d'eau en 2021.

## Partie III – Restitution et consommation d'eau

### I. Restitution d'eau

La restitution d'eau du CNPE de Gravelines pour l'année 2021 est présentée dans le tableau ci-dessous.

	Restitution d'eau			Unité
	Eau de refroidissement	Rejet radioactifs	Rejets industriels	
Janvier	594 581 876	5 460	2 548 784	m <sup>3</sup>
Février	517 657 813	5 830	2 401 598	
Mars	545 069 908	4 550	2 660 887	
Avril	506 466 855	7 840	2 563 302	
Mai	545 385 799	6 470	2 752 954	
Juin	479 382 308	8 963	1 740 661	
Juillet	579 607 397	7 217	1 826 515	
Août	576 186 743	10 068	1 801 694	
Septembre	490 374 935	6 198	1 763 450	
Octobre	444 540 561	7 694	1 802 507	
Novembre	426 244 044	6 687	1 652 223	
Décembre	412 579 585	5 675	1 651 056	
<b>Restitution globale</b>	<b>6 143 326 105</b>			<b>m<sup>3</sup></b>
<b>Pourcentage de restitution d'eau globale par rapport au prélèvement</b>	<b>99,996</b>			<b>%</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 2021.

	Consommation d'eau (en m <sup>3</sup> )
Janvier	15 507
Février	36 539
Mars	30 943
Avril	13 951
Mai	14 346
Juin	17 700
Juillet	25 002
Août	31 292
Septembre	22 176
Octobre	19 643
Novembre	10 534
Décembre	11 073
<b>TOTAL</b>	<b>248 705</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
	<sup>76</sup> As

### 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)	<sup>76</sup> As (GBq)
Janvier	5,55	0,54	0,05	38,54	12,81	0,001	0,003	0,00025	0,00026	0,00023	0,00026	0,00000
Février	2,96	0,35	0,00	39,07	12,67	0,001	0,002	0,00008	0,00013	0,00008	0,00011	0,00000
Mars	3,83	0,04	0,00	45,58	12,88	0,001	0,003	0,00009	0,00012	0,00008	0,00010	0,00000
Avril	4,22	0,16	0,00	35,45	11,16	0,001	0,002	0,00009	0,00012	0,00007	0,00010	0,00000
Mai	6,70	0,21	0,00	36,53	10,09	0,000	0,003	0,00007	0,00009	0,00006	0,00006	0,00000
Juin	3,27	0,18	0,03	73,36	14,30	0,001	0,002	0,00013	0,00015	0,00010	0,00012	0,00000
Juillet	4,21	0,35	0,07	38,17	12,44	0,001	0,002	0,00015	0,00018	0,00013	0,00016	0,00000
Août	3,99	0,93	0,14	637,00	23,43	0,001	0,002	0,00010	0,00015	0,00009	0,00011	0,00000
Septembre	5,31	14,51	0,69	50,30	9,40	0,032	0,002	0,00012	0,00018	0,00010	0,00012	0,00187
Octobre	10,91	6,10	3,04	57,63	11,13	0,000	0,002	0,00010	0,00012	0,00007	0,00009	0,00000
Novembre	1,91	0,73	0,05	33,11	10,12	0,003	0,002	0,00012	0,00020	0,00011	0,00014	0,00000
Décembre	4,84	3,09	0,02	34,57	11,99	0,001	0,003	0,00031	0,00031	0,00026	0,00030	0,00000
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>57,70</b>	<b>27,18</b>	<b>4,09</b>	<b>1119,31</b>	<b>152,42</b>	<b>0,043</b>	<b>0,027</b>	<b>0,00162</b>	<b>0,00203</b>	<b>0,00138</b>	<b>0,00168</b>	<b>0,00187</b>
	<b>1360,71</b>					<b>0,0703</b>		<b>0,00857</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	57,50	96,94	0,003	0,0010	247	6,66E+08
Février	55,05	82,13	0,003	0,0004		6,00E+08
Mars	62,33	99,03	0,004	0,0004		6,71E+08
Avril	50,99	135,30	0,003	0,0004	179	6,76E+08
Mai	53,53	135,50	0,003	0,0003		6,10E+08
Juin	91,14	172,40	0,003	0,0005		6,11E+08
Juillet	55,23	179,10	0,002	0,0006	462	6,28E+08
Aout	665,49	182,60	0,003	0,0004		6,06E+08
Septembre	80,22	211,60	0,034	0,0024		6,15E+08
Octobre	88,81	155,80	0,003	0,0004	431	6,70E+08
Novembre	45,91	104,80	0,005	0,0006		6,30E+08
Décembre	54,52	79,95	0,004	0,0012		6,40E+08
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>1 360,71</b>	<b>1 635,15</b>	<b>0,0703</b>	<b>0,00857</b>	<b>1319</b>	<b>7,62E+09</b>

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 2021 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2021.

Année	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)				
	Gaz rares	Tritium	Carbone 14	Iodes	Autres produits de fission et d'activation
2019	1 530	1 770	1 024	0,075	0,006
2020	1 359	1 667	901	0,063	0,005
2021	1 361	1 635	1 319	0,070	0,009
Prévisionnel 2021	4 500	2 400	1 200	0,100	0,010

**Commentaires :** Les rejets radioactifs à l'atmosphère sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2021. Le prévisionnel prenait en compte une suspicion de défaut de gainage combustible en tranche 1. Ce défaut a bien été confirmé lors du déchargement en août 2021, mais a finalement eu peu d'impact sur les rejets en iodes et en gaz rares.

### e. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2021 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2018-DC-646.

Paramètres	Localisation prélèvement	Limites annuelles de rejet		Rejet	
		Prescriptions	Valeur	Valeur maximale	Valeur totale
Gaz rares	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	108 000		1 360,71
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^7$	$6,92 \cdot 10^6$	
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^7$	$1,23 \cdot 10^6$	
	Cheminée n° 3	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^7$	$9,50 \cdot 10^5$	
Carbone 14	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	3 300		1319
Tritium	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	12 000		1 635,15
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^6$	$6,07 \cdot 10^4$	
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^6$	$2,92 \cdot 10^4$	
	Cheminée n° 3	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^6$	$2,97 \cdot 10^4$	
Iodes	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	2,4		0,07
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^2$	42,3	
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^2$	1,11	
	Cheminée n° 3	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^2$	0,902	
Autres produits de fission et produits d'activation	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	2,4		0,0086
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^2$	3,15	
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^2$	0,173	
	Cheminée n° 3	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^2$	0,203	

**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 2021.

## 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	83,86	0,00
Février	7,20	0,00	56,82	0,00
Mars	0,00	0,00	95,32	0,00
Avril	48,00	0,00	108,11	0,28
Mai	22,08	0,00	75,26	0,00
Juin	0,00	0,00	107,39	0,00
Juillet	0,00	0,00	77,14	0,00
Août	0,00	0,00	59,53	0,00
Septembre	104,60	0,00	80,35	0,00
Octobre	0,00	0,00	56,27	0,00
Novembre	0,00	0,00	71,26	0,00
Décembre	0,00	0,00	54,40	0,00
<b>TOTAL ANNUUEL</b>	<b>181,88</b>	<b>0,00</b>	<b>925,73</b>	<b>0,28</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 (SO<sub>x</sub>) et d'azote (NO<sub>x</sub>) rejetée dans l'atmosphère lors du fonctionnement périodique des groupes électrogènes de secours (moteurs Diesels) ayant fonctionné pendant 331 heures, et des diesels d'ultime secours (DUS) ayant fonctionné pendant 60 heures, au total sur les 6 tranches pour 2021 est de :

Paramètre	Unité	Groupes électrogènes	DUS	TOTAL
SO <sub>x</sub>	kg	3	0	3
NO <sub>x</sub>	kg	33 603	6 497	40 100

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

En 2021, 91,9 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	1,01E-02	2,38E-04
		Monoxyde de carbone	9,40E-03	2,22E-04

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

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

Paramètre	Unité	TOTAL
Ammoniac	kg	786
Ethanolamine		45

### 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>
Hydrogéo-fluoro-carbone (HFC)	80,61	141
Hexafluorure de soufre (SF6)	136,72	3 140
<b>Total des émissions de GES en tonne équivalent CO<sub>2</sub></b>		<b>3 281</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 2021, les émissions liées à cette activité représentent 562 tonnes équivalent CO<sub>2</sub>.

L'équivalent CO<sub>2</sub> total des émissions de GES du CNPE constituées des pertes de fluides frigorigènes et SF6 et de la combustion des diesels de secours, représente 0,129 gCO<sub>2</sub> / kWh électrique produit, la production annuelle nette d'électricité ayant été de 29,8 TWh sur l'année 2021.

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

L'année 2021 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.

Le CNPE de Gravelines a poursuivi son plan de résorption des fuites de SF6 en 2021, en lien avec l'ESE déclaré le 30/09/2021 (cf Partie I - §V – 1).

### 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 2021.

## II. Rejets d'effluents liquides

### 1. Rejets d'effluents liquides radioactifs

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

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

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

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

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

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

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

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

#### a. Règles spécifiques de comptabilisation

Ces règles s'appuient en premier lieu sur la définition de « spectres de référence », en fonction du type de rejet (liquides ou atmosphériques). Ces rejets sont constitués d'une liste de radionucléides à identifier par les moyens de mesure adéquats. Cette liste a été déterminée

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

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

	<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 (MBq)
janvier	4,79	22,93	84,12	37,23	1,94	11,37	10,70	2,34	2,72	0,66	178,79
février	4,46	36,15	92,08	64,31	3,19	10,89	11,10	2,53	3,54	1,64	229,89
mars	3,48	30,20	53,20	78,64	2,36	3,60	8,32	2,20	3,00	7,87	192,86
avril	7,42	38,39	109,10	50,73	6,86	8,88	21,22	4,31	5,08	0,00	251,97
mai	4,55	26,59	94,29	40,02	4,65	12,38	16,89	3,30	4,88	0,00	207,55
juin	4,52	14,31	85,67	67,43	5,37	17,26	26,50	3,92	5,16	1,28	231,41
juillet	4,69	12,51	69,57	33,32	2,90	17,06	19,20	2,51	4,01	1,89	167,65
août	4,76	14,43	65,38	34,11	5,80	13,66	18,47	4,01	6,16	0,00	166,77
septembre	4,24	16,86	59,17	114,70	6,38	19,34	16,20	2,95	4,34	0,00	244,18
octobre	5,82	19,32	69,79	64,03	6,60	14,22	18,89	2,92	4,77	11,17	219,89
novembre	10,09	19,85	76,34	62,77	4,78	8,17	15,27	3,22	4,83	0,82	206,14
décembre	5,72	18,54	64,54	50,38	3,70	11,34	20,05	5,43	7,56	0,00	187,25
<b>TOTAL ANNUEL</b>	64,53	270,08	923,25	697,67	54,51	148,17	202,81	39,61	56,03	25,33	<b>2 484,35</b>

	Volumes rejetés (m <sup>3</sup> )	Activité Tritium (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Iodes (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)	Activité Ni63 (GBq)
Janvier	30 160	4 666	4,058	0,002457	0,1788	0,01038
Février	36 430	5 639	4,3	0,002658	0,2299	0,01982
Mars	29 850	4 741	3,368	0,002251	0,1929	0,015
Avril	33 440	7 967	4,291	0,004853	0,252	0,003918
Mai	32 170	4 716	2,106	0,003746	0,2075	0,01429
Juin	37 743	5 925	3,125	0,004275	0,2314	0,01398
Juillet	37 670	5 494	3,804	0,002598	0,1677	0,02454
Août	49 104	5 228	4,559	0,004513	0,1668	0,0295
Septembre	32 518	4 557	4,153	0,00335	0,2442	0,0269
Octobre	40 466	4 015	2,621	0,003142	0,2175	0,01877
Novembre	36 005	4 165	4,617	0,002966	0,2061	0,01411
Décembre	24 851	2 591	2,954	0,003044	0,1872	0,02113
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>420 408</b>	<b>59 704</b>	<b>43,956</b>	<b>0,039853</b>	<b>2,482</b>	<b>0,212338</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 :** En mai et juin 2021, plusieurs réservoirs SEK ont présenté une activité volumique en tritium entre 400 Bq/l et 4000 Bq/l (avec un maximum à 498 Bq/l). Cette activité est liée aux niveaux de fuite primaire-secondaire sur la tranche 6. Ces valeurs n'apparaissent plus depuis l'arrêt de la tranche 6 à partir de septembre 2021, durant lequel les générateurs de vapeur ont été remplacés.

#### d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejet de l'année 2021 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2021.

	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)			
	Tritium	Carbone 14	Iodes	Autres PA et PF (incluant le Ni63)
2019	61 471	44,05	0,051	5,181
2020	59 248	45,45	0,027	3,613
2021	59 704	43,96	0,040	2,694
Prévisionnel 2021	91 000	50	0,05	3,3

**Commentaires :** Les rejets radioactifs liquides sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2021. Les rejets de tritium sont inférieurs au prévisionnel en raison des prolongations d'arrêts de tranches, réduisant la production et donc les rejets de tritium.

### e. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2021 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	59 704
Carbone 14	Activité annuelle rejetée (GBq)	900	43,96
Iodes	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,9	0,04
Autres PA et PF	Activité annuelle rejetée (GBq)	90	2,48

Paramètres	Localisation prélèvement	Limites annuelles de rejet		Rejet	
		Prescriptions	Valeur	Valeur maximale annuelle (Bq/s)	Valeur moyenne (Bq/s)
Tritium	canal de rejet	Débit d'activité (Bq/s)	800 Bq/L x D	1,62E+07	3,43E+06
Iodes	canal de rejet	Débit d'activité (Bq/s)	1 Bq/L x D	8,00E+00	2,28E+00
Autres PA et PF	canal de rejet	Débit d'activité (Bq/s)	7 Bq/L x D	7,87E+02	1,48E+02

(D représente le débit des eaux de refroidissement, exprimé en L/s)

**Commentaires :** Les limites de rejet annuelles 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 2021 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 2021	Valeur maximale mesurée en 2021	Limite réglementaire	Valeur moyenne mesurée en 2021	Valeur maximale mesurée en 2021	Limite réglementaire
Eau filtrée (Bq/l)	Activité bêta globale	12,02	14,80	18	-	-	-
	Tritium	101,15	386,00	1 800	18,20	153	900 <sup>(1)</sup> / 100 <sup>(2)</sup>
	Potassium	409,15	440,00	-	-	-	-
Matières en suspension (Bq/m <sup>3</sup> )	Activité bêta globale	0,0145	0,043	-	-	-	-

(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 2021 sont cohérentes avec les valeurs attendues du fait des rejets d'effluents autorisés du CNPE. Les mesures d'activité bêta globale et de l'activité en tritium dans l'eau sont inférieures aux limites réglementaires.

La valeur de 153 Bq/L en activité volumique journalière maximale a été atteinte le 29 avril 2021 en présence de rejets d'effluents radioactifs.

## 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<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) : 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<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) : ce produit est utilisé principalement dans le circuit secondaire comme un agent antioxydant. 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 peuvent entraîner des rejets de cuivre et de zinc.

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

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

#### **a. Etat des connaissances sur la toxicité de l'éthanolamine et de leurs 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 les émissaires de rejet R1 et R2 est donné dans les tableaux suivants :

## Emissaire de rejet R1

	Acide borique (kg)	Morpholine (kg)	Ethanolamine (kg)	Hydrazine (kg)	Détergents (kg)	Ammonium (kg)	Phosphates (kg)	Métaux totaux (kg)	MES (kg)	DCO (kg)
Janvier	1 613,21	0	2,35	0,21	2,39	470,96	42,27	3,02	209,40	487,44
Février	2 595,34	0	3,23	0,37	3,88	247,27	33,79	4,14	234,49	194,07
Mars	1 831,52	0	3,12	0,15	3,87	345,43	22,09	4,06	195,53	157,28
Avril	3 394,44	0	4,81	0,35	4,08	384,87	68,13	4,47	40,38	325,39
Mai	2 240,71	0	2,39	0,22	3,69	268,11	127,81	4,86	332,58	274,60
Juin	2 410,54	0	2,80	0,21	5,33	268,76	67,17	6,29	449,90	491,58
Juillet	1 047,86	0	2,71	0,25	4,01	267,92	27,94	5,51	286,88	273,06
Août	1 738,45	0	4,42	0,28	6,30	324,34	32,43	7,99	372,26	298,89
Septembre	1 320,67	0	2,05	0,22	2,45	198,37	26,38	4,64	233,62	392,74
Octobre	2 817,94	0	2,74	0,21	12,08	191,10	20,60	5,75	400,65	865,25
Novembre	3 059,57	0	2,79	0,20	4,71	231,59	10,96	3,97	378,85	273,18
Décembre	1 373,92	0	2,02	0,21	4,38	228,72	17,77	10,50	311,99	482,02
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>25 444,15</b>	<b>0,00</b>	<b>35,43</b>	<b>2,88</b>	<b>57,18</b>	<b>3 427,42</b>	<b>497,33</b>	<b>65,20</b>	<b>3 446,52</b>	<b>4 515,49</b>

## Emissaire de rejet R2

	Morpholine (kg)	Ethanolamine (kg)	Hydrazine (kg)	Ammonium (kg)	Phosphates (kg)	Métaux totaux (kg)	MES (kg)	DCO (kg)
Janvier	0	0,40	0,03	86,99	0,85	0,38	25,40	75,39
Février	0	0,67	0,07	54,82	3,71	0,64	42,69	20,01
Mars	0	0,47	0,04	82,37	3,04	0,46	30,25	0,00
Avril	0	0,54	0,04	88,62	2,27	0,59	11,01	38,85
Mai	0	0,52	0,06	66,14	3,77	0,47	10,70	15,74
Juin	0	0,60	0,04	72,99	8,99	0,79	12,15	109,21
Juillet	0	0,74	0,04	79,69	3,39	0,75	40,50	18,22
Août	0	1,31	0,06	129,96	4,87	2,01	65,92	13,55
Septembre	0	0,99	0,10	107,61	3,08	1,18	48,44	104,40
Octobre	0	0,95	0,06	77,94	2,62	0,90	28,81	7,90
Novembre	0	2,44	0,04	39,35	1,31	0,35	16,34	6,02
Décembre	0	0,20	0,02	21,46	2,47	1,12	6,16	5,56
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>0,00</b>	<b>9,84</b>	<b>0,61</b>	<b>907,94</b>	<b>40,39</b>	<b>9,62</b>	<b>338,37</b>	<b>414,84</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	1 613,21	0,00	2,75	0,25	2,39	557,95	43,12	3,40	234,79	562,83	0,41
Février	2 595,34	0,00	3,90	0,44	3,88	302,08	37,50	4,77	277,18	214,09	0,59
Mars	1 831,52	0,00	3,60	0,20	3,87	427,80	25,13	4,52	225,78	157,28	0,54
Avril	3 394,44	0,00	5,35	0,39	4,08	473,49	70,40	5,05	51,39	364,24	1,03
Mai	2 240,71	0,00	2,91	0,28	3,69	334,25	131,58	5,33	343,28	290,33	0,64
Juin	2 410,54	0,00	3,40	0,25	5,33	341,76	76,16	7,08	462,05	600,79	1,00
Juillet	1 047,86	0,00	3,45	0,29	4,01	347,61	31,33	6,26	327,38	291,28	0,67
Août	1 738,45	0,00	5,73	0,34	6,30	454,30	37,30	10,00	438,18	312,43	1,49
Septembre	1 320,67	0,00	3,04	0,31	2,45	305,98	29,46	5,82	282,06	497,14	0,51
Octobre	2 817,94	0,00	3,69	0,27	12,08	269,04	23,23	6,65	429,46	873,15	0,77
Novembre	3 059,57	0,00	5,23	0,25	4,71	270,93	12,27	4,32	395,19	279,20	0,63
Décembre	1 373,92	0,00	2,22	0,23	4,38	250,17	20,24	11,62	318,15	487,58	8,26
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>25 444,15</b>	<b>0,00</b>	<b>45,27</b>	<b>3,49</b>	<b>57,18</b>	<b>4 335,36</b>	<b>537,71</b>	<b>74,82</b>	<b>3 784,89</b>	<b>4 930,34</b>	<b>16,52</b>

## Rejets des métaux

	Mn	Cu	Zn	Ni	Cr	Fe	Pb	Al	Total	Mn	Cu	Zn	Ni	Cr	Fe	Pb	Al	Total	Mn	Cu	Zn	Ni	Cr	Fe	Pb	Al	Total
	kg (KER)	kg (SEK)	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg																
Janvier	0,03	0,05	0,25	0,01	0,01	0,43	0,01	0,16	0,95	0,27	0,40	0,24	0,06	0,06	1,16	0,02	0,25	2,47	0,30	0,45	0,49	0,08	0,08	1,59	0,03	0,41	3,42
Février	0,04	0,09	0,38	0,01	0,06	0,99	0,01	0,28	1,86	0,31	0,08	0,30	0,08	0,08	1,74	0,03	0,31	2,91	0,35	0,17	0,68	0,09	0,13	2,73	0,04	0,59	4,77
Mars	0,16	0,21	0,36	0,01	0,01	1,00	0,02	0,29	2,06	0,28	0,18	0,43	0,06	0,06	1,17	0,03	0,25	2,46	0,44	0,39	0,79	0,07	0,07	2,16	0,05	0,54	4,52
Avril	0,14	0,15	0,38	0,02	0,02	1,14	0,01	0,42	2,28	0,28	0,06	0,56	0,06	0,06	1,10	0,03	0,61	2,77	0,42	0,21	0,95	0,08	0,08	2,24	0,03	1,03	5,05
Mai	0,23	0,14	0,50	0,02	0,02	1,76	0,01	0,38	3,05	0,22	0,14	0,51	0,06	0,06	1,00	0,03	0,26	2,28	0,45	0,27	1,02	0,08	0,08	2,76	0,03	0,64	5,33
Juin	0,17	0,55	0,48	0,02	0,02	1,54	0,09	0,39	3,27	0,49	0,15	0,66	0,07	0,07	1,73	0,03	0,60	3,81	0,66	0,70	1,15	0,09	0,09	3,27	0,12	1,00	7,08
Juillet	0,21	0,32	0,43	0,02	0,02	1,81	0,02	0,36	3,19	0,40	0,08	0,49	0,08	0,08	1,62	0,03	0,31	3,07	0,61	0,40	0,92	0,09	0,09	3,42	0,05	0,67	6,25
Août	0,28	0,61	0,43	0,03	0,03	1,68	0,01	0,52	3,58	0,51	0,90	0,62	0,10	0,10	3,16	0,11	0,98	6,47	0,79	1,50	1,06	0,12	0,12	4,84	0,12	1,49	10,05
Septembre	0,11	0,51	0,28	0,02	0,02	1,13	0,02	0,25	2,33	0,34	0,29	0,29	0,07	0,07	2,13	0,06	0,26	3,51	0,45	0,80	0,57	0,08	0,08	3,26	0,08	0,51	5,83
Octobre	0,19	0,42	0,55	0,02	0,02	1,95	0,02	0,45	3,63	0,30	0,20	0,46	0,08	0,08	1,54	0,03	0,33	3,02	0,49	0,63	1,01	0,10	0,10	3,49	0,05	0,77	6,65
Novembre	0,17	0,17	0,36	0,02	0,02	1,34	0,01	0,33	2,42	0,22	0,07	0,35	0,07	0,07	0,79	0,03	0,29	1,90	0,39	0,25	0,71	0,09	0,09	2,13	0,04	0,63	4,32
Décembre	0,35	0,08	0,06	0,01	0,01	0,40	0,01	0,06	1,00	0,18	0,16	0,27	0,05	0,05	1,59	0,07	8,20	10,57	0,53	0,24	0,33	0,06	0,06	2,00	0,09	8,26	11,57
<b>TOTAL ANNUEL</b>	2,09	3,31	4,49	0,21	0,25	15,17	0,22	3,88	29,60	3,79	2,70	5,19	0,84	0,84	18,73	0,50	12,64	45,24	5,87	6,01	9,68	1,05	1,09	33,90	0,72	16,52	74,85

## 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 2021 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2021.

Substances	Unité	2019	2020	2021	Prévisionnel 2021
Acide borique	kg	30 613	29 260	25 444	24 000
Ethanolamine	kg	50	72	45	100
Hydrazine	kg	4,09	4,53	3,49	3,60
Ammonium	kg	4 621	5 268	4 335	6 000
Détergents	kg	57	83,82	57,18	55
Phosphates	kg	221	242	538	300
Métaux totaux	kg	98	65	75	100
Aluminium	kg	20,93	9,14	16,52	15
MES	kg	2 274	2 823	3 785	-
DCO	kg	5 064	4 523	4 930	-

**Commentaires :** Les rejets d'acide borique sont légèrement supérieurs au prévisionnel, en lien avec l'indisponibilité des évaporateurs permettant le traitement des effluents radioactifs avant rejet en raison de travaux de requalification du matériel. Par ailleurs, le recyclage des effluents a été limité en 2021 afin de limiter l'accumulation de silice dans le circuit primaire.

Les rejets de phosphates sont supérieurs à l'attendu en raison d'une entrée d'eau de mer dans le circuit RRI de la tranche 6, due à une fuite dans un échangeur SEC-RRI. Afin de pallier à cette eau de mer et la présence de chlorures qu'elle apporte, des déconcentrations ont été nécessaires (appoints-rejets) dans le circuit RRI, ce qui a entraîné des rejets plus importants des produits de conditionnement (phosphates).

## iii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2021 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2018-DC-0646.

## Emissaires de rejet R1 et R2

	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)			Flux 2h maximal calculé (kg)	Flux 24h (kg)			Flux 24h maximal calculé (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	-	207,87	1 500	-		239,46	10 000	-		862,07	43 500	25 444,15	-	-	-	-
Ethanolamine	2,4	2,1	0,74	2,8	2,4		0,85	12,8	6		2,03	1 376	35,43	544	9,84	-	-
Hydrazine	13	13	0,04	15	15	15	0,05	54	34	54	0,12	176	2,88	22	0,61	-	-
Ammonium	43,4	47,9	12,93	50	55,2	90	18,43	145	111	240	48,06	15 560	3 427,42	7 650	907,94	-	-
Détergents	52,1	-	0,93	60	-		1,07	180	-		3,93	5 900	57,18	-	-	-	-
Phosphates	63,5	49,6	6,64	73,1	57,1	120	9,39	162	71,4	180	38,69	1 138	497,33	266	40,39	-	-
Métaux totaux	3	2,6	0,50	3,5	3		0,31	16	7,5		0,94	1 720	65,20	680	9,62	-	-
MES	103,3	88,5	9,44	119	102		9,74	544	255	680	50,77	58 480	3 446,52	23 120	338,37	-	-
DCO	121,5	104,2	0,07	140	120		16,99	640	300		75,16	68 800	4 515,49	27 200	414,84	-	-
Morpholine	6,1	5,2	0,00	7	6	12	0	32	15	45	0	2 257,5	0	892,5	0	-	-
Aluminium	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	124,9	16,52

L'article 5.3.1 de la décision ASN n°2017-DC-0588 demande une évaluation de la quantité annuelle de lithine rejetée. En 2021, la quantité de lithine rejetée par le CNPE de Gravelines est évaluée à 11,47 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.

#### 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 2021 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	610,31	37,84	210,39	37,96	3,92	17,84
Février	357,75	23,31	172,16	39,45	2,67	16,15
Mars	279,39	23,12	129,16	12,69	2,39	13,48
Avril	149,38	37,02	129,51	32,86	2,20	20,53
Mai	138,32	20,00	160,65	31,41	1,85	22,70
Juin	190,27	17,49	153,68	16,89	1,36	26,95
Juillet	350,43	24,63	193,20	15,88	16,47	23,78
Août	51,84	7,18	118,16	5,24	4,17	13,83
Septembre	45,41	118,31	374,41	3,94	0,31	15,03
Octobre	180,42	15,84	172,73	12,42	2,23	19,70
Novembre	207,29	9,53	96,25	14,61	0,99	13,27
Décembre	81,66	9,79	84,78	4,86	2,24	10,63
<b>TOTAL ANNUEL</b>	2642,48	344,08	1995,08	228,19	40,79	213,89

### Emissaire de rejet B2 (8 SEO)

	MES (kg)	DBO5 (kg)	DCO (kg)	Azote Kjeldahl (kg)	Hydrocarbures (kg)	Phosphates (kg)
Janvier	85,28	13,78	117,37	25,18	1,79	50,53
Février	31,09	5,55	42,72	8,54	0,45	16,37
Mars	19,06	2,74	44,26	6,94	0,80	10,20
Avril	14,28	6,26	49,20	8,16	0,74	8,71
Mai	20,28	5,88	66,64	9,74	0,27	11,42
Juin	142,68	18,62	140,81	25,28	1,04	20,44
Juillet	67,04	11,95	104,53	9,20	0,73	17,20
Août	16,23	4,45	74,60	3,52	1,59	21,23
Septembre	9,11	2,48	43,57	2,59	0,17	18,49
Octobre	21,34	3,67	59,59	5,35	1,65	16,57
Novembre	101,60	19,60	157,84	8,06	3,78	25,27
Décembre	71,01	15,27	192,53	15,75	9,75	34,49
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>598,98</b>	<b>110,23</b>	<b>1093,65</b>	<b>128,30</b>	<b>22,76</b>	<b>250,91</b>

### Emissaire de rejet B3 (7 SEO)

	MES (kg)	DBO5 (kg)	DCO (kg)	Azote Kjeldahl (kg)	Hydrocarbures (kg)	Phosphates (kg)
Janvier	193,80	21,88	80,75	46,26	2,89	14,05
Février	136,53	9,11	51,91	13,07	0,81	5,25
Mars	75,35	14,16	83,62	18,42	1,44	13,03
Avril	24,18	22,93	43,09	8,75	0,59	6,81
Mai	50,34	29,05	90,14	10,98	0,41	9,97
Juin	121,18	36,97	97,92	7,48	0,66	13,81
Juillet	109,47	24,36	112,14	15,49	0,52	19,32
Août	23,52	6,08	61,13	6,30	0,37	15,36
Septembre	26,18	3,60	60,07	12,84	0,08	16,54
Octobre	73,82	10,27	131,88	11,69	1,50	23,22
Novembre	85,34	11,09	119,29	9,83	2,11	28,54
Décembre	67,28	10,46	104,71	10,26	2,35	25,42
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>986,97</b>	<b>199,96</b>	<b>1036,67</b>	<b>171,38</b>	<b>13,72</b>	<b>191,32</b>

### Cumul des rejets B1, B2 et B3

	MES (kg)	DBO5 (kg)	DCO (kg)	Azote Kjeldahl (kg)	Hydrocarbures (kg)	Phosphates (kg)
Janvier	889,39	73,49	408,52	109,40	8,60	82,42
Février	525,36	37,98	266,79	61,06	3,92	37,77
Mars	373,80	40,02	257,04	38,04	4,63	36,71
Avril	187,83	66,20	221,80	49,77	3,54	36,05
Mai	208,94	54,93	317,42	52,12	2,53	44,09
Juin	454,13	73,08	392,41	49,66	3,06	61,20
Juillet	526,94	60,94	409,88	40,57	17,72	60,30
Août	91,59	17,71	253,90	15,06	6,13	50,42
Septembre	80,70	124,39	478,05	19,36	0,56	50,06
Octobre	275,58	29,78	364,20	29,46	5,37	59,49
Novembre	394,22	40,22	373,38	32,50	6,87	67,07
Décembre	219,94	35,52	382,02	30,87	14,34	70,54
<b>TOTAL ANNUEL</b>	4228,42	654,27	4125,40	527,87	77,28	656,12

#### 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 2021 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2021.

Paramètres	Unité	2019	2020	2021	Prévisionnel 2021
MES	kg	4061	3086	4228	-
DBO5	kg	1152	554	654	-
DCO	kg	4812	4765	4125	-
Azote Kjeldahl	kg	619	433	528	700
Hydrocarbures	kg	33	69	77	-
Phosphates	kg	436	455	656	400

**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 2021 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
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	136,77	25,76	280	101,44	1400	101,44
DBO5	25	430,00	3,35	80	102,34	400	102,34
DCO	120	1220,00	19,45	380	290,36	1900	290,36
Azote Kjeldahl	40	27,90	2,22	128	10,60	640	10,60
Hydrocarbures	5	37,00	0,40	-	9,58	-	9,58
Phosphates	28	14,50	2,09	16	8,29	36	8,29

Emissaire B2 (8 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	101,78	14,07	280	64,63	1400	64,63
DBO5	25	14,00	2,59	80	6,70	400	6,70
DCO	120	52,50	25,69	380	55,27	1900	55,27
Azote Kjeldahl	40	24,40	3,01	128	9,36	640	9,36
Hydrocarbures	5	3,50	0,53	-	4,48	-	4,48
Phosphates	28	15,78	5,89	16	11,03	36	11,03

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	102,30	21,33	280	110,86	1400	110,86
DBO5	25	22,00	4,32	80	12,54	400	12,54
DCO	120	76,00	22,40	380	39,61	1900	39,61
Azote Kjeldahl	40	23,70	3,70	128	21,07	640	21,07
Hydrocarbures	5	2,60	0,30	-	0,81	-	0,81
Phosphates	28	15,07	4,13	16	10,83	36	10,83

**Commentaires :** Sur les 363 rejets de fosses SEO réalisés en 2021, 14 dépassements de critères ont été détectés. Les paramètres en dépassement sont principalement les concentrations en MES (9), en DBO5 (1) en DCO (1), en hydrocarbures (2), et un dépassement du flux 2h pour la DBO5 (en lien avec le dépassement de concentration).

Pour l'émissaire de rejet B1, la limite de concentration en hydrocarbures a été dépassée en raison d'un dysfonctionnement du déshuileur 9 SEH. Ce dépassement a fait l'objet de la déclaration d'un événement significatif pour l'environnement (ESE) (cf Partie I - §V – 1).

Plusieurs dépassements ponctuels de concentration en MES ont eu lieu, en lien avec des périodes de fortes pluies générant un lessivage important de la voirie entraînant les matières en suspensions vers la fosse 9 SEO.

Des dépassements ponctuels et concomitants en DCO et DBO5 ont eu lieu, leur origine n'a pu être déterminée.

Pour l'émissaire de rejet B2, un dépassement ponctuel de concentration en MES a été observé, dû à une défaillance du système de détection du niveau bas de la fosse 8 SEO, qui n'a pas interrompu le rejet automatiquement, entraînant le rejet de boues présentes en fond de fosse.

Pour l'émissaire de rejet B3, un dépassement ponctuel de concentration en MES a eu lieu suite à une fuite sur le réseau d'eau décarbonatée (SDP) dans le sol qui est remontée en surface en entraînant du sable et des boues collectées pas le réseau 7 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 2021 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 substance chimiques.

	MES (kg)	Sulfates (kg)
janvier	178,19	14 393,98
février	270,21	16 683,02
mars	300,11	30 262,90
avril	450,33	37 006,71
mai	188,56	31 564,14
juin	154,76	26 567,70

	MES (kg)	Sulfates (kg)
juillet	199,83	27 508,00
août	94,69	40 094,80
septembre	58,49	24 951,60
octobre	128,11	36 957,49
novembre	219,13	29 238,66
décembre	210,09	17 658,45
<b>TOTAL ANNUEL</b>	2 452,50	332 887,45

### ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets d'effluents liquides chimiques de l'année 2021 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2021.

Paramètres	Unité	2019	2020	2021	Prévisionnel 2021
MES	kg	1 448	1 716	2 452	-
Sulfates	kg	350 747	382 711	332 887	390 000

**Commentaires :** Le prévisionnel a été respecté pour les rejets de sulfates. Les rejets de matières en suspension ne font pas l'objet d'un prévisionnel.

### iii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2021 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	367,05	18,56	60	80,75	300	229,21
Sulfates	6000	5900,00	2321,08	1440	1334,00	7200	6452,20

**Commentaires :** Concernant les MES, un dépassement de la concentration maximale a eu lieu, accompagné d'un dépassement du flux 2h. Ces dépassements sont dus à une défaillance des compresseurs permettant normalement le brassage des effluents des fosses SDX afin d'assurer leur homogénéisation.

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 :** En 2021, les débits instantanés sont compris entre 100 et 120 m<sup>3</sup>/h, le pH est compris entre 5,7 et 8,7.

### 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'aménée (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 2021, certains miniblocs ont dû être déconnectés du réseau SEO, en raison de travaux de remplacement, de la réalisation d'activités de maintenance ou de difficultés d'exploitation ne permettant pas d'assurer un traitement de qualité et de respecter les limites réglementaires de rejet et de rendement. Ceci explique l'absence de certaines données.

#### 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 :** Un événement significatif environnement (ESE) a été déclaré en 2021 sur le minibloc n°4 (cf. Partie I - §V - 1) suite à l'absence de mesures pour les mois d'avril à juillet 2021. Cette absence de mesure est due à un défaut d'organisation suite aux travaux de remplacement du minibloc et au transfert de responsabilités entre le service en charge du remplacement et le service en charge de l'exploitation normale.

Certains rendements sont plus faibles que l'attendu, en fonction des mois. Ces pertes de rendements sont en lien avec la faible charge arrivant dans les miniblocs ne favorisant pas l'efficacité du traitement.

### 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 2021.

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	257,87	0,00
Février	296,82	0,00
Mars	262,98	0,00
Avril	246,71	0,00
Mai	4 042,93	0,00
Juin	8 438,39	0,00
Juillet	8 238,07	0,00
Août	7 854,24	0,00
Septembre	7 750,56	0,00
Octobre	2 548,06	0,00
Novembre	2 417,45	0,00
Décembre	201,19	0,00
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>42 555,27</b>	<b>0,00</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 2021 liés au traitement biocide avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2021.

Paramètres	Unité	2019	2020	2021	Prévisionnel 2021
Bromoformes	kg	37 579	38 021	42 555	65 000
Oxydants résiduels	kg	0	0	0	75 000

**Commentaires :** Aucun dépassement de prévisionnel n'a eu lieu sur ces paramètres en 2021.

### 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	38,94	950	467,29	230 000	42 555
Oxydants résiduels	0,3	0,00	520	0,00	5700	0,00	1 370 000	0,00

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

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

L'année 2021 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 2021.

## 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 :  $\Delta T$ °C) est lié à la puissance thermique ( $P_{th}$ ) à évacuer au condenseur et du débit d'eau brute au condenseur ( $Q$ ).

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

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

## 1. En conditions climatiques normales

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

Le CNPE de Gravelines réalise en continu des mesures de températures en amont (thermographe T10), au rejet (thermographe T11) et en aval du CNPE (thermographe T7) et un suivi des rejets thermiques conformément aux autorisations de rejet en vigueur. Le bilan des valeurs mensuelles de ces différents paramètres pour l'année 2021 sont présentés dans les tableaux suivants :

	Température mesurée à la prise d'eau (°C) (T10)	Température mesurée au rejet (°C) (T11)	Echauffement au rejet (°C) (T11-T10)	Température eau de mer (°C) (T7)
Janvier	8,95	18,31	9,36	non requis
Février	11,32	17,22	5,90	non requis
Mars	12,43	20,04	7,61	non requis
Avril	13,25	19,94	6,69	non requis
Mai	15,75	23,46	7,71	non requis
Juin	19,33	26,52	7,19	17,12
Juillet	21,13	27,69	6,56	18,87
Août	21,26	28,47	7,21	19,49
Septembre	20,86	25,91	5,05	19,2
Octobre	17,53	24,10	6,57	16,94
Novembre	14,36	22,92	8,56	non requis
Décembre	10,50	20,05	9,55	non requis

## 2. Comparaison aux limites

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

Paramètre	Unité	Limite	Valeur maximale
Echauffement amont-aval calculé	°C	12	11,53
Température de l'eau de mer l'extrémité du canal de rejet	°C	30°C de novembre à mai	25,78
		35°C de juin à octobre	32,23
température de l'eau de mer après mélange	°C	30	23,51

**Commentaires :** Les limites réglementaires associées aux rejets thermiques ont toujours été respectées en 2021.

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

L'année 2021 n'a pas été concernée par des actions de maintenance (hors maintenance programmée) et aucune intervention ou opération de maintenance anticipée n'ont été nécessaires.

## Partie V - Surveillance de l'environnement

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

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

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

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

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

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

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

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

Ainsi, le CNPE réalise annuellement, sous le contrôle de l'ASN, plusieurs milliers d'analyses dont les résultats sont transmis à l'administration et publiés par EDF sur le site internet du CNPE <https://www.edf.fr/la-centrale-nucleaire-de-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

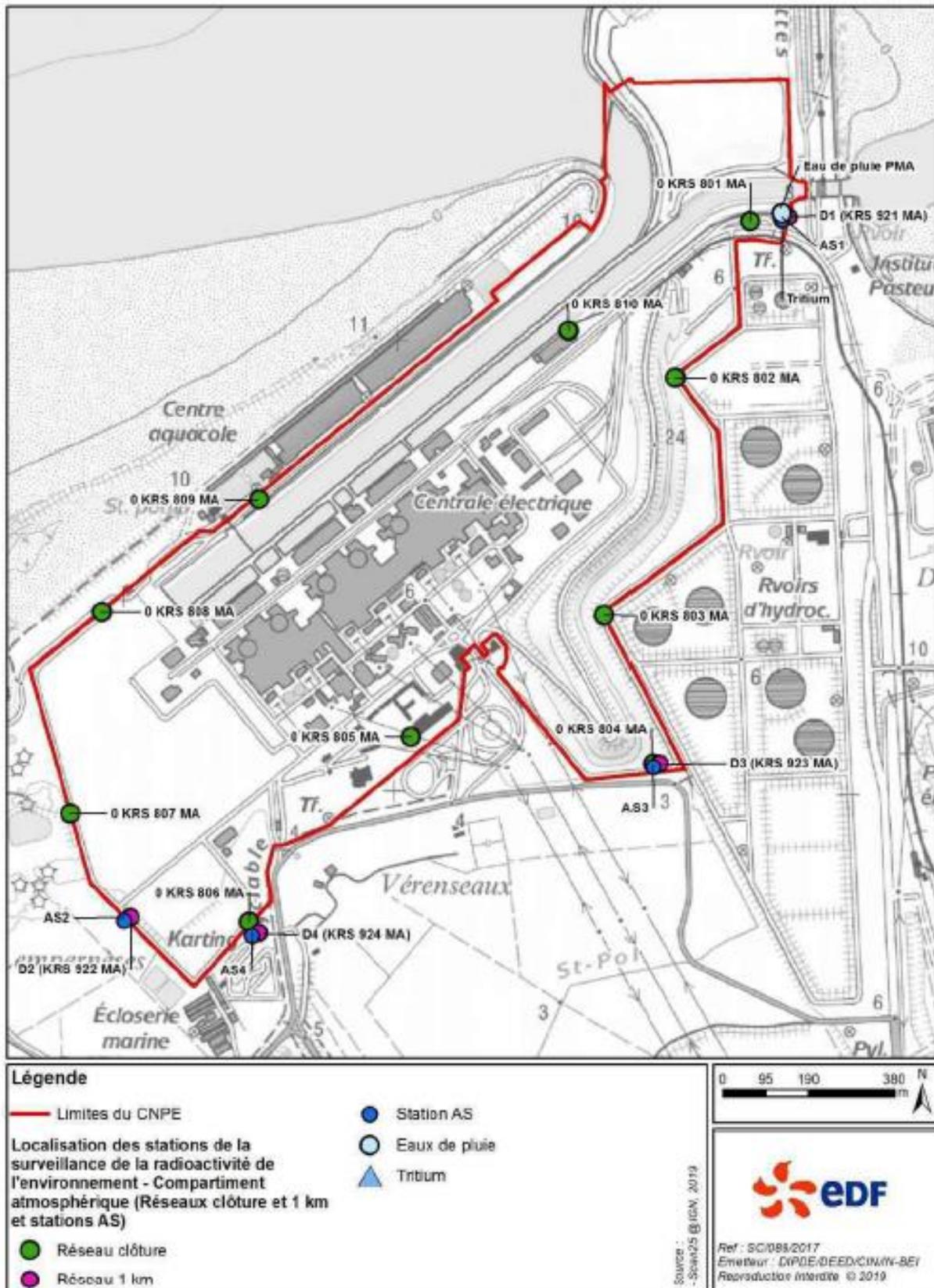


Figure 3 : Implantation des stations de surveillance des réseaux « clôture » et « 1 km »

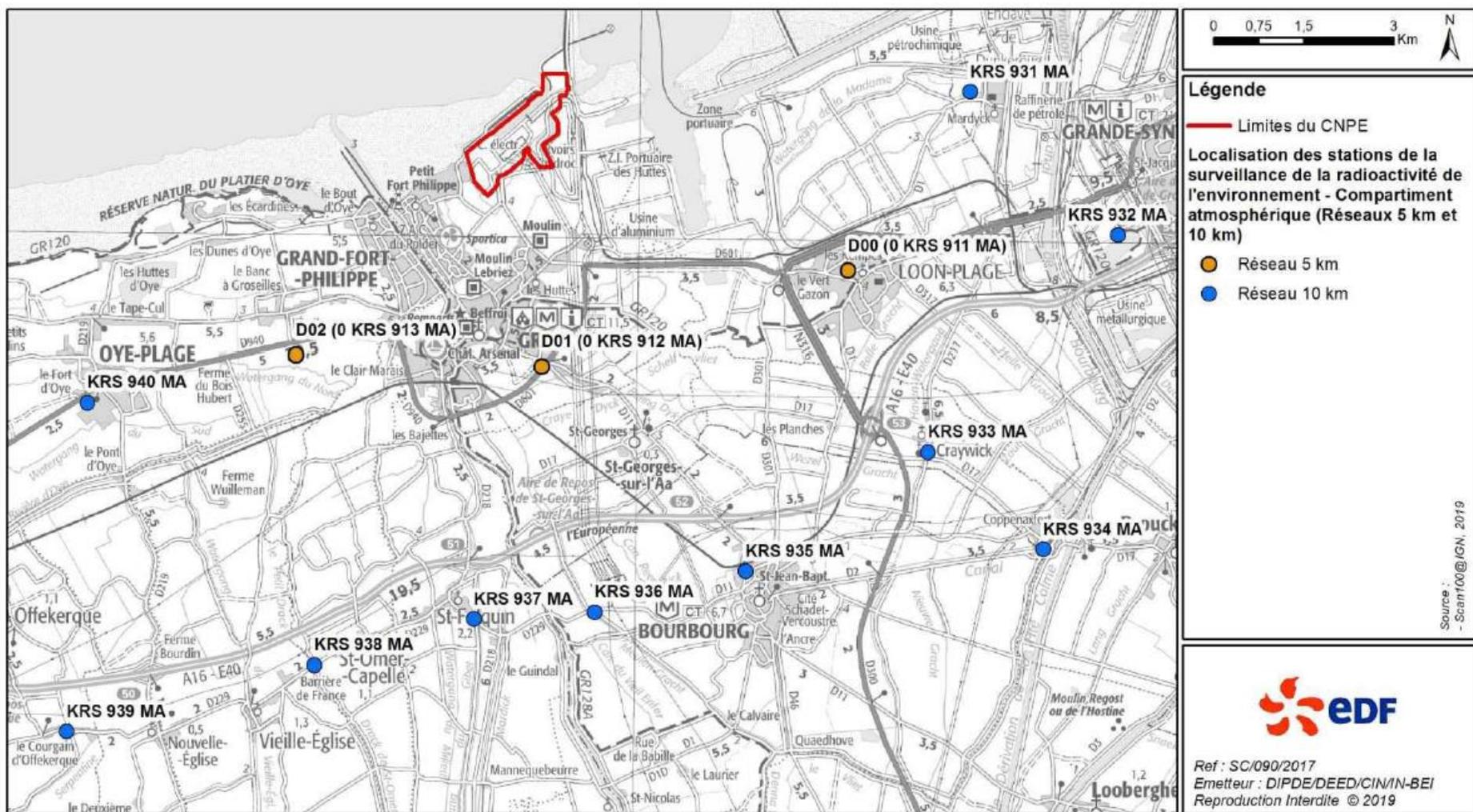


Figure 4 : Implantation des stations de surveillance des réseaux « 5 km » et « 10 km »

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 2021 sont présentés dans le tableau suivant. Les débits de dose maximaux et les données relatives à l'année antérieure sont également présentés à titre de comparaison.

Réseau de mesure	Débit de dose max année 2021 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2021 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2020 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2019 (nSv/h)
Clôture	177,6	87,1	87,05	85,2
1 km	136,8	83,8	84,5	87,6
5 km	183,6	104,8	105,3	105,6
10 km	146,4	95,5	95,7	94,8

**Commentaires :** Pour les quatre réseaux, les débits de dose moyens enregistrés pour l'année 2021 sont de l'ordre de grandeur du bruit de fond et cohérents 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 2021 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> )	< 3,93E-04	1,59E-03	0,01 Bq/m <sup>3</sup>
	AS2	Bêta global (Bq/m <sup>3</sup> )	< 3,88E-04	1,63E-03	0,01 Bq/m <sup>3</sup>
	AS3	Bêta global (Bq/m <sup>3</sup> )	< 3,92E-04	1,70E-03	0,01 Bq/m <sup>3</sup>
	AS4	Bêta global (Bq/m <sup>3</sup> )	< 4,13E-04	1,62E-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> )	< 1,32E-01	2,20E-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)	< 9,37E-02	2,01E-01	-
	AS1	Tritium (Bq/L)	< 4,22E+00	5,51E+00	-
	AS1	Potassium (mg/L)	< 3,65E-01	8,00E-01	-

**Commentaires :** Les mesures de surveillance du compartiment atmosphérique pour l'année 2021 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 2021 sont donnés dans le tableau suivant. Concernant les résultats des analyses par spectrométrie gamma, seules les activités relatives aux radionucléides d'origine artificielle et supérieures aux seuils de décision sont présentées.

Nature du prélèvement	Radionucléide	Périodicité	Moyenne annuelle	Valeur minimale mesurée	Valeur maximale mesurée
Végétaux terrestres 1 (Bq/kg sec)	137Cs	Mensuelle	3,42E-01	3,00E-01	4,00E-01
	40K		4,27E+02	1,43E+02	9,28E+02
Végétaux terrestres 2 (Bq/kg sec)	137Cs	Mensuelle	3,85E-01	3,00E-01	7,20E-01
	40K		6,16E+02	2,19E+02	1,20E+03
Lait (Bq/L)	137Cs	Mensuelle	4,17E-01	3,00E-01	5,00E-01
	40K		4,52E+01	3,50E+01	5,50E+01

**Commentaires :** Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment terrestre ainsi que leur interprétation pour l'année 2020 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 2021 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	12,32	10,40	14,90
		Tritium (Bq/L)	bi-mensuelle	6,34	4,09	10,20
		Potassium (mg/L)	bi-mensuelle	409,17	390,00	430,00
	Matières en suspension	Activité bêta globale (Bq/L)	bi-mensuelle	3,39E-02	9,57E-03	8,96E-02
Eaux du large 2 (hors influence des rejets)	Eau filtrée	Activité bêta globale (Bq/L)	mensuelle	12,10	10,70	15,10
		Tritium (Bq/L)	mensuelle	5,35	4,00	7,87
		Potassium (mg/L)	mensuelle	404,17	385,00	420,00
	Matières en suspension	Activité bêta globale (Bq/L)	mensuelle	2,38E-02	1,11E-02	3,72E-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 2020 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.

Milieux analysés	Paramètres	Valeur maximale de l'année
0 SEZ 001 PZ	Potassium (mg/L)	45,5
	β global (Bq/L)	1,7
	Tritium (Bq/L)	23,1
0 SEZ 002 PZ	Potassium (mg/L)	46,4
	β global (Bq/L)	1,6
	Tritium (Bq/L)	<3,1
0 SEZ 003 PZ	Potassium (mg/L)	55,7
	β global (Bq/L)	2,1
	Tritium (Bq/L)	5,1
0 SEZ 004 PZ	Potassium (mg/L)	27,8
	β global (Bq/L)	1,1
	Tritium (Bq/L)	26,0

Milieux analysés	Paramètres	Valeur maximale de l'année
0 SEZ 005 PZ	Potassium (mg/L)	756,0
	β global (Bq/L)	25,5
	Tritium (Bq/L)	67,5
0 SEZ 015 PZ	Potassium (mg/L)	96,2
	β global (Bq/L)	3,4
	Tritium (Bq/L)	11,4
0 SEZ 052 PZ	Potassium (mg/L)	136,0
	β global (Bq/L)	4,2
	Tritium (Bq/L)	12,4
0 SEZ 056 PZ	Potassium (mg/L)	28,2
	β global (Bq/L)	1,1
	Tritium (Bq/L)	7,4

**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.

La présence de tritium relevée sur certains piézomètres correspond, à notre connaissance aux événements historiques ayant eu lieu sur le site depuis sa création. Ils font l'objet d'un suivi renforcé.

## 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.

Piézo-mètre	Mois de mesure	pH	Hydro-carbures (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	11,4	<0,10	2,23	<0,27	2,86	2,37	0,0263	81,9
	juillet	11,2	<0,10	2,02	<0,27	2,36	2,08	0,0219	159
0 SEZ 002 PZ	janvier	8,2	<0,10	0,76	<0,27	<0,03	0,6	0,21	
0 SEZ 003 PZ	janvier	7,8	<0,10	1,11	9,59	<0,03	0,74	0,07	
0 SEZ 004 PZ	mars	10,8	<0,10	1,51	<0,27	2,31	1,76	0,012	
	septembre	10,3	<0,10	<0,50	8,8	0,14	<0,5	0,023	
0 SEZ 005 PZ	février	12,5	<0,10	18	3,55	<0,03	21,6	2,22	
	août	>12,0	0,10	18	<2,7	<0,03	18,1	0,0346	
0 SEZ 015 PZ	juin	11	<0,10	4,78	<0,27	<0,03	5,39	0,0401	
	décembre	10,8	<0,10	3,86	<0,27	0,31	3,91	0,046	
0 SEZ 052 PZ	avril	>12,0	<0,10	5,11	<0,27	<0,03	5,9	0,0897	52,4
	octobre	>12,0	<0,10	3,71	<2,7	<0,30	4,06	0,0905	52
0 SEZ 056 PZ	mai	10,7	<0,10	2,03	<0,27	1,21	1,72	0,0879	
	novembre	11,3	<0,10	1,49	<0,27	0,08	2,26	0,12	

**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 2021.

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'amenée, 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 :

*« Les rejets du CNPE n'affectent pas de façon générale la distribution et les variations saisonnières des paramètres étudiés autres que la température. Cependant, 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 2021 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'amenée et le canal de rejet. Les résultats présentés dans le rapport annuel de l'IFREMER aboutissent aux conclusions suivantes :

*« 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 2021, et uniquement lorsque la température de l'eau au canal de prise était supérieure à 10°C (hormis début décembre). Le bromoforme est le principal produit dérivé des opérations d'électrochloration. Mis à part le mois de février pour lequel une faible concentration a été détectée au point Prise, le bromoforme n'a été détecté au point Rejet qu'en période de chloration et ses concentrations sont restées inférieures à 50 µg.l-1. Le dosage du bromoforme, outre son rôle de traceur de la chloration, permet d'estimer le taux de recirculation de l'eau de refroidissement entre les canaux de rejet et de prise, qui était de 10,6 % cette année. Les composés organohalogénés issus des opérations de chloration (bromophénols) représentaient en moyenne moins de 1 µg.l-1, ce qui est largement en dessous de la limite autorisée (300 µg.l-1). »*

#### 3. Surveillance biologique des eaux de surface

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

La décision ASN n°2018-DC-0647 demande le suivi des paramètres suivants : Escherichia Coli et entérocoques intestinaux. En complément, la campagne estivale intègre

également les paramètres suivants : nitrites, nitrates, phosphates, ammonium, oxygène dissous, température, pH et salinité.

Les résultats relatifs à la campagne 2021 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

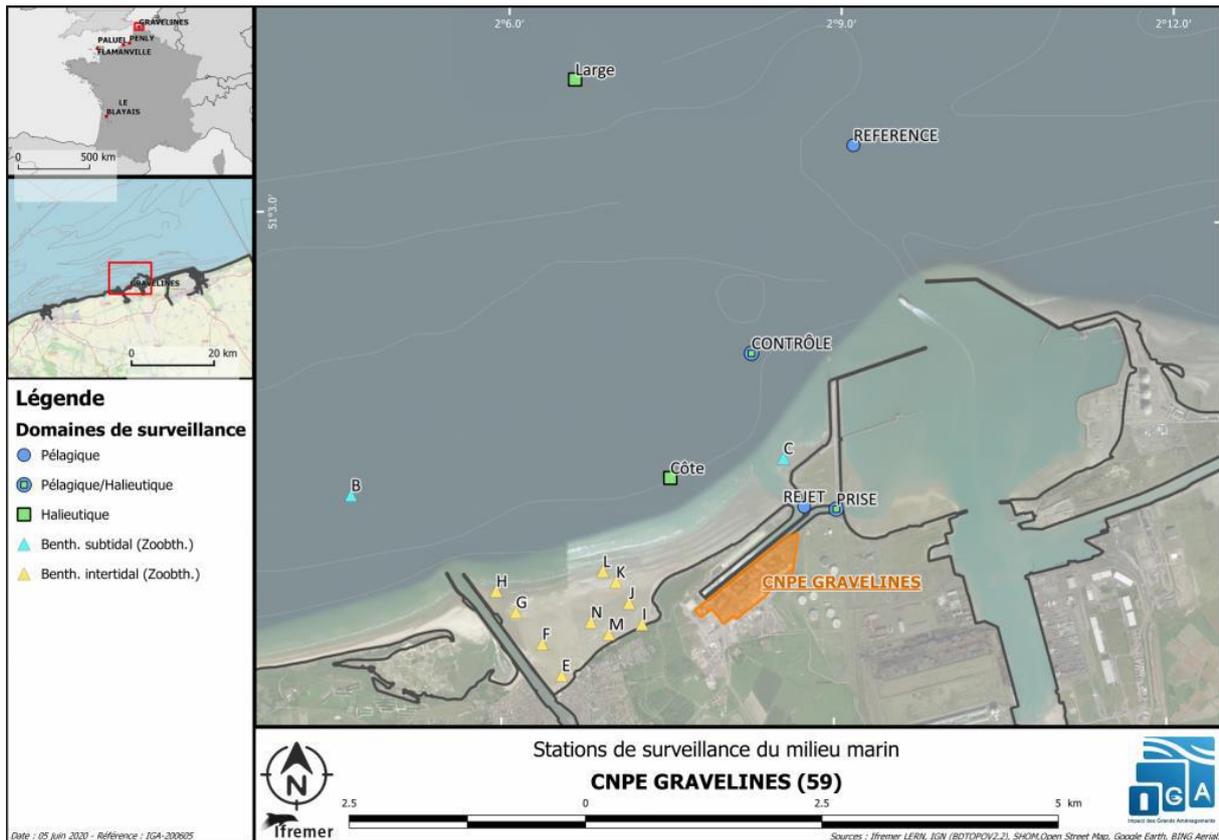
La synthèse du rapport de surveillance, réalisée par l'IFREMER, est présentée ci-dessous.

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

*Synthèse du rapport de surveillance 2021 :*

#### **Stratégie d'échantillonnage**

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



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 24 juin et 03 septembre 2021 (+ 19 novembre pour la biomasse sestonique au point Contrôle, suite à la perte du matériel de prélèvement due aux forts courants lors de la campagne de septembre). En complément, certains paramètres sont suivis hebdomadairement ou mensuellement aux points Prise et Rejet tout au long de l'année.

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

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

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

En 2021, ces campagnes en mer ont eu lieu les 09 avril et 06 mai juillet 2021, et les prélèvements supplémentaires au point Prise, les 18 mars et 26 avril 2021.

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 26 juin 2021.

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 11 février, 11 mai, 12 juillet et 06 septembre 2021.

### **Contexte environnemental**

L'année 2021 était un peu plus douce (8ème année consécutive où la température moyenne est supérieure à la normale) et un peu plus pluvieuse (excédent de 12%) que la normale, mais cette tendance annuelle masquait des températures et des précipitations contrastées suivant les mois. Sur la côte, l'année 2021 a été un peu moins ventée que la normale (19 km/h contre 22 km/h), malgré quelques épisodes de vent fort.

Liste des opérateurs responsables des différentes actions dans le cadre de la surveillance des eaux autour du CNPE de Gravelines (dates des campagnes réalisées en 2021 en rouge)

Domaine	Compartiment	Paramètres	Points	Fréquence Dates campagnes réalisées en 2021
Pélagique	Hydrologie	Température	Prise, Rejet	Hebdomadaire
		Salinité		
	Physico-chimie / Chimie	Chlore résiduel	Prise, Rejet	Hebdomadaire
		Halofomes		
		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, Rejet	Hebdomadaire
		Variations spatiales et temporelles des espèces microphytoplanctoniques		
Zooplancton	Biomasse sestoniques	Prise, Rejet	Mensuel	
	Variations spatiales et temporelles des espèces mésozooplanctoniques			

Domaine	Compartiment	Paramètres	Points	Fréquence Dates campagnes réalisées en 2021
Campagnes pélagiques	Tous	Température, Salinité, Nutriments, Turbidité, Oxygène dissous, Vibrions halophiles, Phytoplancton et Zooplancton	Prise, Rejet, Contrôle, Référence	24/06/2021 03/09/2021 + 19/11/2021, uniquement pour la biomasse sestonique au point Contrôle (rattrapage de la campagne de septembre).
Halieutique	Ichtyoplancton	Variations spatiales et temporelles (soles et sprats)	Prise, Côte, Contrôle, Large	18/03/2021 09/04/2021 26/04/2021 06/05/2021
	Larves de crustacés	Variations spatiales et temporelles (crevettes grises)		
Benthique	Benthos intertidal	Sédiment (granulométrie)	Estran Petit-Fort-Philippe	26/06/2021
		Variations spatiales et temporelles de la macrofaune		
	Benthos subtidal	Sédiment (granulométrie)	B (hors influence) C (sous influence)	11/02/2021 11/05/2021 12/07/2021 06/09/2021
		Variations spatiales et temporelles de la macrofaune		

### 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 8 mois (du 29 avril au 11 décembre) au cours de l'année 2021, et uniquement lorsque la température de l'eau au canal de prise était supérieure à 10°C (hormis début décembre). Les concentrations en oxydants résiduels et en composés organohalogénés volatils (haloformes, essentiellement le bromoforme) générées par ce procédé sont restés 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 10,6 %.

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, même si cet écart s'est réduit en 2021 par rapport aux dernières années (+ 0,2 °C). Néanmoins, aucune température de l'eau supérieure à 25 °C, de novembre à mai, et à 30 °C, de juin à octobre, n'a été enregistrée au point Rejet au cours de cette période et l'échauffement moyen hebdomadaire est toujours resté inférieur à 12 °C.

La température est le facteur principal expliquant la dynamique saisonnière des vibrions et leur multiplication entre les points Prise et Rejet. Le passage de l'eau de mer dans l'ensemble du système constitué par la centrale et les installations aquacoles installées sur le site de Gravelines, entraîne une multiplication du nombre de vibrions d'un facteur toujours plus important au printemps qu'aux autres saisons (de mai à juin, le facteur de multiplication des vibrions entre les points Prise et Rejet est supérieur à 100 en moyenne depuis 1997), même si en 2021 ce facteur était exceptionnellement élevé durant la seconde moitié de la période estivale avec des valeurs supérieures aux maxima mesurés depuis 1997 en août et

septembre. Si l'impact du réchauffement thermique des eaux sur la multiplication des vibrions reste important 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'impact lié 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 (10,6 %) 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 2021, bien que la pluviométrie excédentaire de janvier ait entraîné des débits de rivières plus importants (notamment de l'Aa), le renouvellement des stocks d'azotes inorganiques a été modéré (en particulier pour les nitrites et les nitrates). Dès le démarrage de la poussée phytoplanctonique en mars, les concentrations de DIN ont rapidement baissé. Cela a tout de même suffi à soutenir la production phytoplanctonique, caractérisée par la prolifération de la prymnésiofycée *Phaeocystis globosa* (accompagnée du groupe *Pseudo-nitzschia complexa delicatissima*, en concentrations assez élevées en 2021) de mi-mars à mi-mai, dans la moyenne des abondances observées ces dernières années. Cette année, la biomasse phytoplanctonique (estimée par la concentration en chlorophylle a) était assez faible pour la région, avec tout de même un pic supérieur à la moyenne observée sur la période 1989-2020 en début de printemps, qui est la période de développement de la biomasse phytoplanctonique. 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 2021 ont montré que la biomasse chlorophyllienne, l'abondance et la diversité phytoplanctonique étaient dans l'ensemble plus faibles au point Rejet par rapport aux points situés hors influence de la centrale Prise et Référence. La hausse de la température, la chloration et les effets mécaniques lors du transit du phytoplancton dans la centrale, portent atteinte à la structure des cellules phytoplanctoniques (mortalité, rupture des colonies, cassure des appendices), cependant cet impact reste très localisé 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'impact du transit dans le CNPE sur le phytoplancton et l'hétérogénéité de la distribution spatiale du phytoplancton dans l'eau.

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, 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 points lors des campagnes pélagiques, sans que cela soit en lien avec les activités du CNPE. Les abondances et la composition zooplanctonique observées au point Contrôle étaient comparables à celles faites au point Prise en septembre, mais largement supérieures en juin avec notamment, une forte concentration de noctiluques sur le point Contrôle lors de cette première campagne, à mettre en relation avec les conditions hydroclimatiques. 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 2021, 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, bien que la biomasse moyenne du macrozoobenthos était, en 2021, la plus faible acquise depuis 2000 (presque 4 fois inférieure à la moyenne du suivi). Les analyses ont permis de distinguer des assemblages faunistiques caractéristiques qui correspondent à la zonation naturelle de l'estran. Cette zonation est principalement fonction des temps d'exondation, de l'influence des eaux douces (fleuve Aa et eaux de ruissellement), du substrat et de la compétition interspécifique. Les autres facteurs qui pourraient modifier cette zonation (enrichissement en matière organique, perturbation thermique liée au panache de rejet du CNPE, ...) ne l'ont pas modifié en 2021.

En ce qui concerne le benthos subtidal, les sédiments au point B (hors influence de la centrale) sont composés majoritairement de sables fins à *Abra alba*, alors que ceux du point C (sous l'influence du panache de rejet du CNPE) sont composés essentiellement de sables moyens à fins. Le lessivage des fines du sédiment par les eaux rejetées par la centrale, parfaitement matérialisé par les analyses granulométriques, provoque la disparition des espèces vasicoles. Toutefois, cette année en période hivernale, suite à un ralentissement des rejets d'eaux par le CNPE, ce lessivage n'a pas eu cet effet puisque les sédiments fins étaient dominants (i.e. pélites et sables fins dominants), et un cortège spécifique habituellement rencontré au point B avec des espèces à affinité vasicole, était présent. Excepté pour cette période, les peuplements benthiques subtidaux établis à ce point restent toujours du type sabulicole et le déficit en densité et biomasse au point C reste toujours significatif par rapport au point B. Malgré ces déficits, la qualité écologique du milieu au point C apparaît comme bonne et même meilleure qu'au point B. En 2021, elle était cependant moins bonne par rapport aux années antérieures évoquant une légère dégradation du milieu. Les résultats enregistrés en 2021 au point C confirment donc à la fois l'impact de la centrale sur les communautés benthiques du champ proche de l'embouchure du canal de rejet (à l'exception de la période hivernale), mais aussi la stabilité de cet impact au cours du temps. 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. La zone de déficit

est localisée au débouché du canal de rejet et ne s'étend pas a priori au-delà de quelques centaines de mètres. Enfin, ce déficit est uniquement dû à l'action de la courantologie et rien ne permet de penser, avec les informations recueillies, que l'on puisse être en présence d'un autre impact que celui courantologique du rejet.

**Au vu des données disponibles pour le compartiment benthique en 2021 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.**

### **Le domaine halieutique**

En 2021, les abondances d'oeufs et de larves de sole, ainsi que les oeufs de sprat étaient dans la tendance haute observée ces dernières années, alors que les abondances de larve de sprat étaient particulièrement faibles comparativement aux années précédentes. Toutefois, les faibles volumes d'eau filtrés au point Côte lors de la dernière campagne du 06 mai, dus au colmatage important des filets (potentiellement dû aux colonies de la prymnésiphycée *Phaeocystis globosa*) sont un biais potentiel dans l'interprétation des résultats à ce point pour cette campagne. Il est donc difficile de conclure avec certitude sur la pertinence des abondances obtenues. Pour la crevette grise, les abondances en 2021 étaient également dans la tendance observée ces dernières années.

Lors des deux campagnes en mer en 2021, les valeurs d'abondance de la sole, du sprat et de la crevette grise enregistrées au niveau du point Large étaient globalement assez faibles au regard des abondances mesurées les années précédentes. Toutefois, l'influence éventuelle des rejets du CNPE de Gravelines sur ces populations reste difficile à évaluer. En effet, l'échantillonnage tel qu'il est réalisé actuellement, couplé aux fluctuations naturelles des recrutements pour la plupart des espèces marines ainsi que la pression de pêche sur les géniteurs, ne permet pas de couvrir entièrement la période de reproduction des trois espèces et d'établir un lien éventuel avec l'activité du CNPE. Pour la crevette grise, la reproduction s'étend sur une longue période et seule une petite partie est couverte par l'échantillonnage. Un échantillonnage plus fréquent et couvrant une plus grande partie de la saison permettrait de mieux suivre la dynamique des oeufs et larves de sole et de sprat, et de couvrir entièrement la période larvaire de la crevette grise.

**La stratégie de surveillance du domaine halieutique n'a pas mis en évidence au cours de l'année 2021 à Gravelines, de modification significative des abondances d'oeufs et de larves de sole et de sprat, ainsi que des larves de crevette grise, pouvant être en lien avec l'activité du CNPE.**

\*\*\*\*\*

**Le suivi écologique et halieutique réalisé à proximité du CNPE de Gravelines en 2021, ne met pas en évidence d'influence perceptible du fonctionnement du CNPE sur les différents compartiments des domaines pélagique, benthique et halieutique.**

Le suivi des paramètres physico-chimiques, microbiologiques et planctoniques aux points Prise et Référence ne montrent pas une évolution anormale du milieu marin qui serait imputable au fonctionnement du CNPE de Gravelines. Globalement, la disparition des espèces vasicoles au profit d'espèces sabulicoles confirme l'impact courantologique du CNPE

*sur la communauté benthique subtidale, mais reste toutefois circonscrit au débouché du canal de rejet et n'affecte pas la qualité écologique du milieu.*

## V. Levées topographiques et bathymétriques

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

A cet effet, deux zones ont été définies :

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

Les contrôles de la « petite zone » ont été réalisés en septembre 2021. La « grande zone » avait été contrôlée en 2020 et n'a donc pas fait l'objet d'une nouvelle bathymétrie en 2021.

La bathymétrie du 6 septembre 2021 montre une légère augmentation des dépôts sur la petite zone du même ordre de grandeur que celle de l'an dernier (+4cm environ). À noter également en sortie de canal la présence d'un plateau sédimentaire surplombant une fosse avec un delta d'environ 4m de hauteur pouvant, en cas d'affaissement, entraver la circulation naturelle des flux.

La bathymétrie 2021 ainsi que les plans différentiels de de la « petite zone » entre 2020 et 2021 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 réalise des informations, par le biais de son site internet, de son compte Twitter, mais aussi en s'adressant directement aux mairies dans un rayon de 2 km, lors de la réalisation d'opérations pouvant générer du bruit, comme par exemple lors de la réalisation de certains essais périodiques sur l'installation.

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

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

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

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

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

Les résultats de cette surveillance et des mesures associées montrent que la radioactivité mesurée dans l'environnement du CNPE est principalement d'origine naturelle.

Les niveaux de radioactivité artificielle mesurés dans l'environnement du CNPE sont faibles et trouvent pour partie leur origine dans d'autres sources (rejets de l'usine ORANO La Hague, retombées atmosphériques des essais nucléaires, Tchernobyl, ...). 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/IRSNENV\\_Bilan-Radiologique-France-2018-2020.pdf](https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/environnement/IRSNENV_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 :

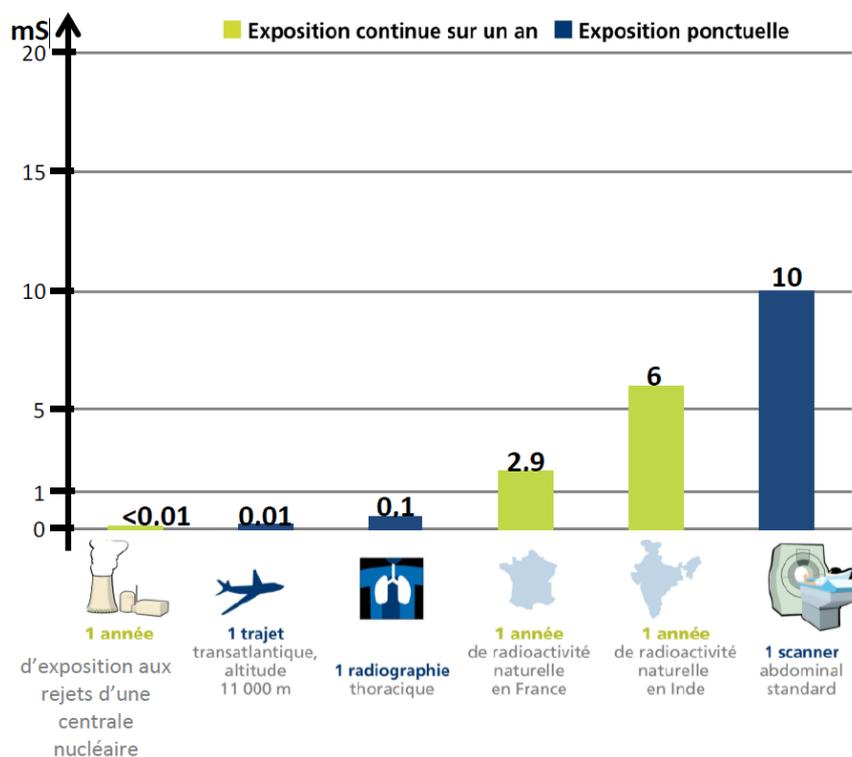
- les habitants consomment pour partie des aliments produits dans l'environnement proche du CNPE ;
- ils vivent toute l'année à proximité de leur lieu d'habitation (non prise en compte de leurs périodes d'absence pour le travail, les vacances...).

---

<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 ».

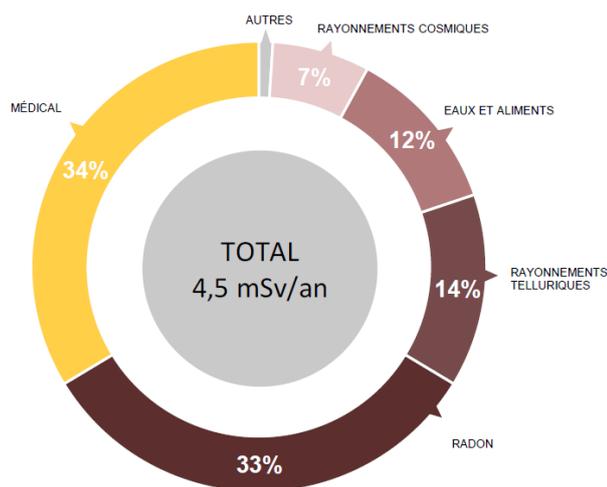
Les principaux facteurs d'incertitudes dans le calcul de dose sont associés essentiellement à quelques données et paramètres difficiles à acquérir sur le terrain, tels que certaines caractéristiques de l'environnement et comportements précis des populations riveraines (les rations alimentaires par exemple).

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 2021 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	9,8E-07	3,1E-05	3,2E-05
Rejets d'effluents liquides	1,4E-06	7,0E-04	7,0E-04
<b>Total</b>	<b>2,4E-06</b>	<b>7,3E-04</b>	<b>7,3E-04</b>

ENFANT DE 10 ANS	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	1,0E-06	2,9E-05	3,0E-05
Rejets d'effluents liquides	2,2E-06	4,0E-04	4,0E-04
<b>Total</b>	<b>3,2E-06</b>	<b>4,3E-04</b>	<b>4,3E-04</b>

ENFANT DE 1 AN	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	1,1E-06	3,7E-05	3,8E-05
Rejets liquides	8,2E-07	3,9E-05	4,0E-05
<b>Total</b>	<b>1,9E-06</b>	<b>7,5E-05</b>	<b>7,7E-05</b>

Les valeurs de doses calculées sont inférieures à  $1.10^{-3}$  mSv/an pour l'adulte et l'enfant de 10 ans et  $1.10^{-4}$  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 2021 sont plus de 1 000 fois inférieures à la limite d'exposition fixée à 1 mSv par an pour la population, par l'article R1333-11 du Code de la Santé Publique. L'ensemble des populations résidant de manière permanente ou temporaire autour du CNPE est exposé à une dose efficace inférieure ou égale à la dose calculée pour la personne représentative, présentée ci-dessus.

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

## Partie VII - Gestion des déchets

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

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

La démarche industrielle repose sur 4 principes :

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

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

### I. Les déchets radioactifs

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

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

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

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

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

#### 1. Les catégories de déchets radioactifs

Selon la durée de vie des éléments radioactifs contenus et le niveau d'activité radiologique qu'ils présentent, les déchets sont classés en plusieurs catégories. On distingue

les déchets « à vie courte » des déchets « à vie longue » en fonction de leur période (une période s'exprime en années, jours, minutes ou secondes. Elle quantifie le temps au bout duquel l'activité radioactive initiale du déchet est divisée par deux).

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

Ces déchets proviennent essentiellement :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 2. Le transport des déchets

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

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

### DE LA CENTRALE AUX CENTRES DE TRAITEMENT ET DE STOCKAGE

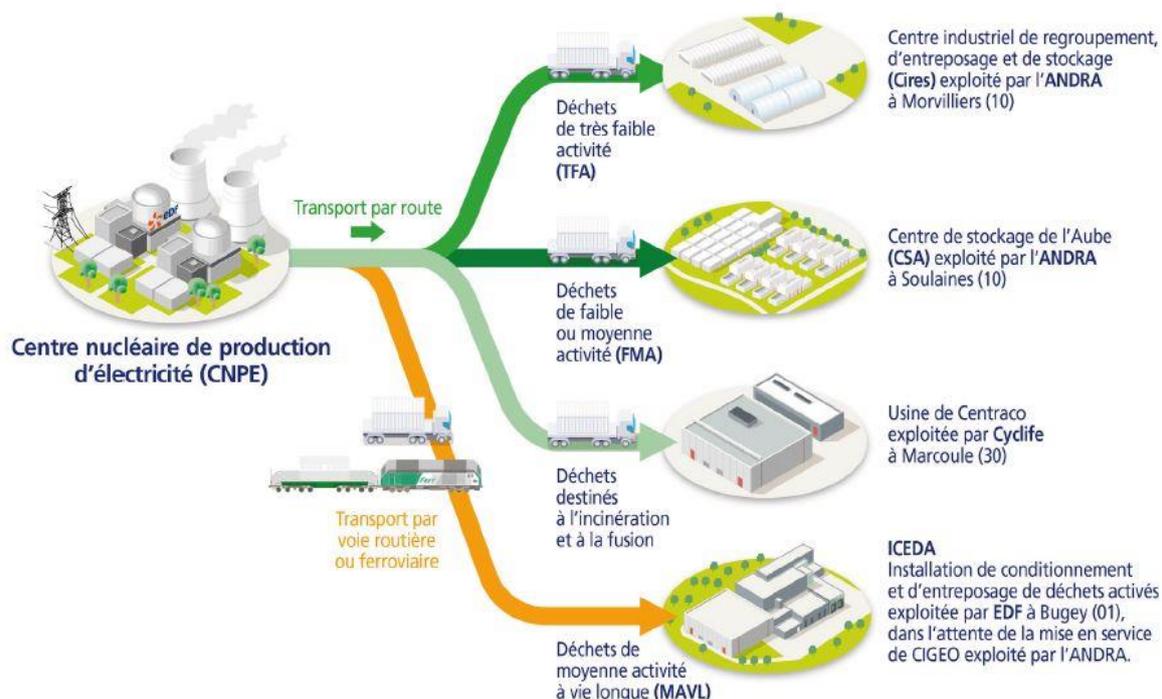


Figure 7 : Transport des déchets radioactifs (Source : EDF)

## 3. Les quantités de déchets entreposés au 31/12/2021

Le tableau suivant présente les quantités de déchets en attente de conditionnement au 31 décembre 2021 pour les 6 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Gravelines.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2021	Commentaires
TFA	282,015 tonnes	En conteneur sur l'aire TFA
FMAVC (Liquides)	11,042 tonnes	Effluents du lessivage chimique, huiles, solvants...
FMAVC (Solides)	392,475 tonnes	Localisation Bâtiment des Auxiliaires Nucléaire et Bâtiment Auxiliaire de Conditionnement (BAC)
MAVL	434 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 2021 pour les 6 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Gravelines.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2021	Commentaires
TFA	519 colis	Tous types d'emballages confondus
FMAVC	108 colis	Coques béton
FMAVC	481 colis	Fûts (métalliques, PEHD)
FMAVC	28 colis	Autres (caissons, pièces massives...)

Le tableau suivant présente le nombre de colis évacués et les sites d'entreposage en 2021 pour les 6 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Gravelines.

Site destinataire	Nombre de colis évacués
Cires à Morvilliers	1 125
CSA à Soulaines	259
Centraco à Marcoule	3 150
ICEDA au Bugey	0

En 2021, 4 534 colis ont été évacués vers les différents sites de traitement ou de stockage appropriés (Centraco, Andra ou ICEDA).

## 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 2021 par les INB d'EDF.

Quantités 2021 en tonnes	Déchets dangereux		Déchets non dangereux non inertes		Déchets inertes		Total	
	produits	valorisés	produits	valorisés	produits	valorisés	produits	valorisés
Sites en exploitation	11 316	9 782	41 512	34 966	124 577	124 502	177 404	169 250
Sites en déconstruction	135	44	964	878	1 618	1 618	2717	2 540

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

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

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

Les productions de déchets dangereux et de déchets non dangereux non inertes restent relativement stables.

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

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

En 2021, les 6 unités de production du CNPE de Gravelines ont produit 32 062 tonnes de déchets conventionnels : 99,1% 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>	210	392	941	3	6	59	99%	98%	94%
<b>MB3</b>	45	440	569	1,5	6	44	97%	99%	92%
<b>MB4</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>MB5</b>	80	2540	4380	6	26	169	93%	99%	96%
<b>MB6</b>	87	240	379	4	12	56	95%	95%	85%
<b>MB7</b>	370	356	1140	8	17	64	98%	95%	94%
<b>MB8</b>	960	1160	2440	1,5	3	21	100%	100%	99%
<b>MB9</b>	300	480	549	1,5	35	82	100%	93%	85%
<b>MB10</b>	17	66	121	1,5	5	15	91%	92%	88%
<b>MB11</b>	30	73	254	5,5	15	35	82%	79%	86%

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>	150	528	658	3,3	8	32	98%	98%	95%
<b>MB3</b>	17	25	193	1,5	8	51	91%	68%	74%
<b>MB4</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>MB5</b>	560	716	8890	1,5	16	54	100%	98%	99%
<b>MB6</b>	290	820	1400	4	26	71	99%	97%	95%
<b>MB7</b>	210	326	803	3	20	52	99%	94%	94%
<b>MB8</b>	520	246	1250	1,5	1	20	100%	100%	98%
<b>MB9</b>	290	316	997	3	23	65	99%	93%	93%
<b>MB10</b>	16	41	145	1,5	3	14	91%	93%	90%
<b>MB11</b>	290	694	779	1,5	7	13	99%	99%	98%

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>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>MB3</b>	11	125	206	1,5	7	43	86%	94%	79%
<b>MB4</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>MB5</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>MB6</b>	250	416	893	3	19	116	99%	95%	87%
<b>MB7</b>	3400	2600	8190	3,8	15	46	100%	99%	99%
<b>MB8</b>	190	123	652	1,5	5	33	99%	96%	95%
<b>MB9</b>	130	159	306	1,5	19	49	99%	88%	84%
<b>MB10</b>	470	848	1550	1,5	5	25	100%	99%	98%
<b>MB11</b>	41	100	239	1,5	8	18	96%	92%	92%

Avril									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
MB1 bis	120	721	544	3	32	111	98%	96%	80%
MB3	310	74	747	14	21	113	95%	72%	85%
MB4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB6	76	128	356	5	29	68	93%	77%	81%
MB7	36	66	179	3	6	22	92%	91%	88%
MB8	47	24	129	3	2	15	94%	92%	88%
MB9	64	87	264	5	29	48	92%	67%	82%
MB10	110	300	568	3	5	16	97%	98%	97%
MB11	120	214	513	3	5	19	98%	98%	96%

Mai									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
MB1 bis	280	1040	1850	5	35	79	98%	97%	96%
MB3	120	106	467	4	14	65	97%	87%	86%
MB4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB5	200	162	701	8	127	197	96%	22%	72%
MB6	150	428	539	4	29	62	97%	93%	88%
MB7	350	400	1360	3	15	47	99%	96%	97%
MB8	120	82	393	3	2	15	98%	98%	96%
MB9	120	380	424	6	27	66	95%	93%	84%
MB10	attente	513	2510	3	2	53	-	100%	98%
MB11	25	81	138	3	9	10	88%	89%	93%

Juin									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
MB1 bis	24	110	227	3	9	27	88%	92%	88%
MB3	200	55	602	4	7	57	98%	87%	91%
MB4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB7	350	565	1030	14	28	87	96%	95%	92%
MB8	300	144	1000	3	2	25	99%	99%	98%
MB9	340	9460	5070	5	19	72	99%	100%	99%
MB10	34	50	162	4	4	69	88%	92%	57%
MB11	95	163	421	3	9	18	97%	94%	96%

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>	430	648	1320	5	8	49	99%	99%	96%
<b>MB3</b>	130	27	443	9	2	36	93%	93%	92%
<b>MB4</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>MB5</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>MB6</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>MB7</b>	210	485	1210	6	15	39	97%	97%	97%
<b>MB8</b>	460	183	1050	3	2	11	99%	99%	99%
<b>MB9</b>	280	179	779	5	10	31	98%	94%	96%
<b>MB10</b>	110	239	522	6	7	125	95%	97%	76%
<b>MB11</b>	270	1070	1430	3	23	52	99%	98%	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>	81	213	441	3	4	16	96%	98%	96%
<b>MB3</b>	34	233	437	3	6	45	91%	97%	90%
<b>MB4</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>MB5</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>MB6</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>MB7</b>	220	271	691	3	4	24	99%	99%	97%
<b>MB8</b>	440	246	1050	3	2	24	99%	99%	98%
<b>MB9</b>	180	364	661	3	20	40	98%	95%	94%
<b>MB10</b>	19	106	129	3	2	23	84%	98%	82%
<b>MB11</b>	150	233	688	6	19	41	96%	92%	94%

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>	480	1090	1180	3	2	20	99%	100%	98%
<b>MB3</b>	130	53	429	3	4	19	98%	92%	96%
<b>MB4</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>MB5</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>MB6</b>	350	386	1320	3	8	24	99%	98%	98%
<b>MB7</b>	210	168	623	4	22	69	98%	87%	89%
<b>MB8</b>	730	363	1550	3	2	19	100%	99%	99%
<b>MB9</b>	720	937	1430	3	4	20	100%	100%	99%
<b>MB10</b>	76	320	367	3	9	25	96%	97%	93%
<b>MB11</b>	450	288	2600	3	11	40	99%	96%	98%

Octobre									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
MB1 bis	340	1080	1710	3	4	37	99%	100%	98%
MB3	20	6	91	5	2	45	75%	67%	51%
MB4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB6	120	200	532	3	18	48	98%	91%	91%
MB7	190	280	912	3	11	44	98%	96%	95%
MB8	320	386	834	3	3	25	99%	99%	97%
MB9	240	3000	2630	3	7	20	99%	100%	99%
MB10	75	296	391	3	8	32	96%	97%	92%
MB11	62	306	245	7	23	63	89%	92%	74%

Novembre									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
MB1 bis	70	300	270	3	11	64	96%	96%	76%
MB3	59	51	196	6	6	56	90%	88%	71%
MB4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB7	200	146	498	3	6	24	99%	96%	95%
MB8	540	176	1170	3	5	30	99%	97%	97%
MB9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB10	160	100	412	4	5	10	98%	95%	98%
MB11	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Décembre									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
MB1 bis	310	988	1350	3	24	105	99%	98%	92%
MB3	38	317	464	3	2	44	92%	99%	91%
MB4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB6	510	625	2000	5	10	69	99%	98%	97%
MB7	1400	546	3310	3	12	33	100%	98%	99%
MB8	1200	2490	4010	4	7	33	100%	100%	99%
MB9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB10	22	92	152	3	3	20	86%	97%	87%
MB11	-	-	-	-	-	-	-	-	-

## **ANNEXE 2**

### ***Suivi radio-écologique annuel des CNPE de la Manche et de la mer du Nord 2020 (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 16 page 129). Au regard de la circulation résiduelle générale des masses d'eau en Manche, dont la résultante est orientée vers l'est, le CNPE de Gravelines est situé "en aval" de l'usine de traitement de combustibles usés ORANO La Hague (320 km à vol d'oiseau) et des CNPE de Flamanville (330 km), Paluel (167 km) et Penly (130 km). Le CNPE de Gravelines se compose de six tranches de la filière des réacteurs à eau pressurisée (REP) de 900 MWe, couplées au réseau en mars et août 1980 (réacteurs 1 et 2 ; INB n° 96), en novembre 1980 et mai 1981 (réacteurs 3 et 4 ; INB n° 97) et en août 1984 et juillet 1985 (réacteurs 5 et 6 ; INB n° 122).

Les modalités d'exploitation et les limites des rejets d'effluents du CNPE de Gravelines, en mer et dans l'atmosphère, sont définies par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). L'exploitant n'a pas porté à la connaissance de l'IRSN d'événements significatifs ou intéressant l'environnement pour l'année 2020 ayant pu avoir une conséquence mesurable sur les niveaux d'activité des échantillons analysés dans le cadre du suivi.

La dispersion des rejets d'effluents dans l'environnement est contrainte par les conditions météorologiques et hydrodynamiques propres au site. Le régime éolien est généralement dominé par les vents de secteur ouest-sud-ouest. Les vents de secteur nord-est, bien que non dominants, n'en demeurent pas moins fréquents. La circulation résiduelle générale des masses d'eaux le long de la côte d'Opale et des dunes de Flandre assure, quant à elle, la dispersion des effluents liquides vers le nord-est. Cependant, le modèle TRANSMER développé par l'IFREMER et l'IRSN a permis de mettre en évidence que sous certaines conditions météorologiques, associées à des vents persistants de nord-est, le régime de dispersion des masses d'eau vers le nord-est peut être freiné, voire inversé et orienté vers le Cap Gris-Nez [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]).

La chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Gravelines est présentée sur la Figure 15 page 126. Les références bibliographiques sont présentées en pages 163 et suivantes.

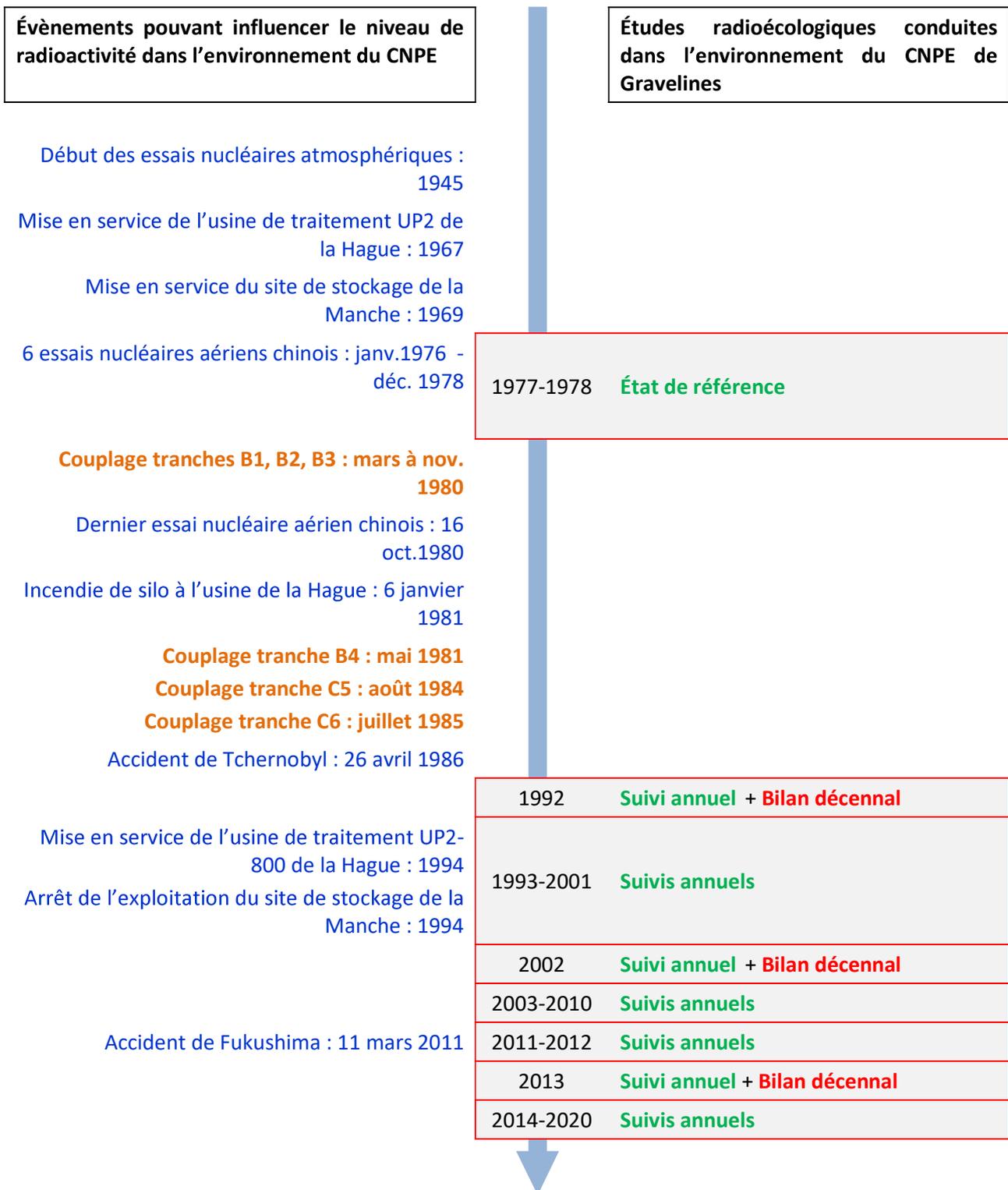


Figure 15 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Gravelines.

## 7.2. Etat radiologique de l'environnement terrestre

### 7.2.1. Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvements ainsi que la nature des échantillons collectés sont reportées sur la Figure 16 page 129. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 68 page 128. Le choix des stations et de la nature des prélèvements permet la comparaison des résultats avec ceux des études antérieures. Les sols échantillonnés sont des sols non cultivés sur lesquels les cultures, pluriannuelles, ne demandent aucun remaniement (pâturages). Ce type de sol est privilégié dans l'objectif de mesurer l'accumulation des dépôts atmosphériques. Les échantillons sont, en dehors des indicateurs végétaux (mousses terricoles et lierre), des vecteurs directs ou indirects de radioactivité vers l'homme. Ils sont caractéristiques des principales activités agricoles de la région. Les végétaux cultivés (salade et herbe) sont communs sur l'ensemble du territoire français. Leur cycle végétatif annuel et leur grande surface d'interception en font d'assez bons indicateurs de marquage. De l'eau de boisson et du lait de vache sont collectés sur une commune à proximité du site. Dans la stratégie générale, une mousse terricole, une production agricole, un sol de prairie, de l'herbe, un lait et une eau de boisson sont prélevés sous les vents dominants. Une production agricole et un sol de pâturage sont prélevés hors vents dominants.

Les stations de prélèvements ont été définies en fonction du régime éolien local, généralement dominé par les vents de secteurs ouest-sud-ouest portant les effluents atmosphériques en majorité vers la mer. La zone terrestre potentiellement la plus influencée par les rejets d'effluents à l'atmosphère du CNPE (ZI) se trouve majoritairement sous les vents à l'est du CNPE (Gravelines, AS1, Loon-Plage et Dunkerque). La zone hors vents dominants (ZNI) se situe dans le secteur sud (Saint-Georges-sur-l'Aa).

En 2020, du fait de la crise sanitaire, l'IRSN a été contraint de réduire la stratégie d'échantillonnage aux seules analyses réglementaires, en accord avec l'exploitant. Seuls quelques sites ont pu faire l'objet de quelques analyses non réglementaires, principalement avant le premier confinement. Ce fut le cas du CNPE de Gravelines, pour lequel des analyses d'iode 131 ont pu être réalisées au titre du suivi annuel dans une mousse terrestre. Concernant les analyses réglementaires, il n'a pas été possible de prélever deux des trois salades demandées dans l'environnement du CNPE de Gravelines en 2020. Le lait a été prélevé en ZNI, comme c'est le cas depuis 2015 du fait de l'absence de ferme laitière en ZI. Enfin, les analyses de  $^{14}\text{C}$  sur la salade échantillonnée sous les vents dominants ont exceptionnellement été réalisées par AMS. L'IRSN n'a rencontré aucune autre difficulté de prélèvement dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines.

Par rapport à l'année 2019, les analyses effectuées au titre des prescriptions réglementaires sont identiques, hormis pour les salades.

**Tableau 68 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique de 2020 et analyses réalisées.**

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction Prélevée/Analysée	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
1,42 km ENE	Gravelines - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Gravelines, AS1	02,14922	51,02167	Autres végétaux	Lierre <i>Hedera helix</i>	Feuilles annuelles	11/02/2020	Tritium lié + %H (sec)	2,66	-
1,42 km ENE	Gravelines - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Gravelines, AS1	02,14922	51,02167	Autres végétaux	Lierre <i>Hedera helix</i>	Feuilles annuelles	11/02/2020	Tritium libre (liquide)	2,66	-
1,43 km ENE	Gravelines - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Gravelines, AS1	02,14958	51,02139	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	11/02/2020	Spectrométrie gamma (sec)	1,11	-
4,17 km E	Gravelines - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Loon-Plage	02,19089	51,02344	Mousses terricoles	Tortula <i>Tortula ruralis</i>	Entier	10/02/2020	Spectrométrie gamma (frais) + I-131	1,16	-
6,85 km S	Gravelines - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13844	50,95222	Aliments liq. non transformés	Lait de vache	Entier	11/08/2020	Tritium libre (liquide)	7,71	-
6,85 km S	Gravelines - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13844	50,95222	Aliments liq. non transformés	Lait de vache	Entier	11/08/2020	<sup>14</sup> C + C stable + <sup>13</sup> C/ <sup>12</sup> C (sec)	7,71	-
6,85 km S	Gravelines - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13844	50,95222	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	11/08/2020	Spectrométrie gamma (sec)	1,15	-
8,14 km E	Gravelines - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	02,24900	51,02100	Légumes	Salades	Feuilles	06/10/2020	Spectrométrie gamma (sec)	26,47	-
8,14 km E	Gravelines - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	02,24900	51,02100	Légumes	Salades	Feuilles	06/10/2020	Tritium lié + %H (sec)	18,32	-
8,14 km E	Gravelines - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	02,24900	51,02100	Légumes	Salades	Feuilles	06/10/2020	Tritium libre (liquide)	18,32	-
8,14 km E	Gravelines - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	02,24900	51,02100	Légumes	Salades	Feuilles	06/10/2020	<sup>14</sup> C + C stable + <sup>13</sup> C/ <sup>12</sup> C (sec)	18,32	-

- : absence de traitement.

Prélèvements hors vents dominants de l'installation

Prélèvements sous les vents dominants principaux de l'installation



Figure 16 - Localisation de CNPE de Gravelines et des stations terrestres<sup>11</sup> échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2020.

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

## 7.2.2. Résultats et interprétation

### 7.2.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

#### 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 82 page 149.

En 2020, 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, 24, 25]. 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 83 page 150.

Dans les sols, le seul radionucléide d'origine artificielle quantifié est le  $^{137}\text{Cs}$ . Ce radionucléide ne l'est pas dans les salades (exceptionnellement analysées en sec et non en cendres en 2020) ni dans les mousses. Les activités en  $^{137}\text{Cs}$  détectées dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines en 2020 sont en accord avec les niveaux observés au cours des dix dernières années (Tableau 70, Tableau 71 et Tableau 74, pages 137 et suivantes) 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. 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 84 et du Tableau 85 page 151, respectivement.

Les activités en tritium libre et en tritium organiquement lié sont proches du bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence d'un apport industriel local (0,5 à 2 Bq.L<sup>-1</sup> ED pour l'HTO et 0,39 à 1,9 Bq.L<sup>-1</sup> EC pour le TOL d'après [3]) pour la salade et le lait. Elles sont en revanche supérieures à ce bruit de fond dans le lierre (3,1±0,7 Bq.L<sup>-1</sup> ED et 2,9±0,7 Bq.L<sup>-1</sup> EC, respectivement), et mettent en évidence un apport local en champ proche du CNPE de Gravelines pour le lierre.

#### Carbone 14

Les résultats d'analyse des activités en  $^{14}\text{C}$  dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 86 page 152.

L'activité en  $^{14}\text{C}$  dans le lait échantillonné en champ lointain ( $229\pm 11 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ ) et dans les salades échantillonnées en champ proche ( $224,5\pm 1,7 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ ) sont comparables au bruit de fond sur le territoire métropolitain français hors influence industrielle locale ( $224\pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$  d'après [3]), et ne mettent en évidence aucun apport local dans l'environnement du site de Gravelines. Par contre, les résultats des quatre prélèvements trimestriels de feuilles de lierre ( $251\pm 12$  à  $264\pm 13 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ , Tableau 73 page 140) 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 17 page 133. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 69 pages 131 et suivante. 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.

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 125). 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 2020, du fait de la crise sanitaire, l'IRSN a été contraint de réduire la stratégie d'échantillonnage aux seuls prélèvements et analyses réglementaires, en accord avec l'exploitant. Seuls quelques sites ont pu faire l'objet de quelques prélèvements et analyses non réglementaires, principalement avant le premier confinement. Ce fut le cas du CNPE de Gravelines, pour lequel des analyses d'iode 131 ont pu être réalisées au titre du suivi annuel dans les algues. L'IRSN n'a rencontré aucune autre difficulté de prélèvement dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines

Par rapport à l'année 2019, la stratégie d'échantillonnage réglementaire est restée identique.

**Tableau 69 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines en 2020 et analyses réalisées.**

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction Prelevée/ Analysée	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/ Sec	Sec/ Cendres
0,52 km	Ferme Aquacole	Gravelines, lieu-dit Ferme Aquanord	02,13580	51,01810	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	10/02/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	3,37	23,07
0,52 km	Ferme Aquacole	Gravelines, lieu-dit Ferme Aquanord	02,13580	51,01810	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	10/02/2020	Tritium lié + %H (sec)	3,66	-
0,52 km	Ferme Aquacole	Gravelines, lieu-dit Ferme Aquanord	02,13580	51,01810	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	10/02/2020	<sup>14</sup> C + C stable + <sup>13</sup> C/ <sup>12</sup> C (sec)	3,66	-
1,54 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Prise d'eau	02,15134	51,02161	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	entier	11/02/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	5,14	3,70
1,54 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Prise d'eau	02,15134	51,02161	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	11/02/2020	Spectrométrie gamma (sec)	1,30	-
2,16 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,13440	51,03310	Crustacés	Crevette grise <i>Crangon crangon</i>	entier	31/07/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	3,97	3,80
2,16 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,13440	51,03310	Crustacés	Crevette grise <i>Crangon crangon</i>	entier	31/07/2020	Tritium lié + %H (sec)	3,44	-
2,16 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,13440	51,03310	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	16/01/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	4,45	16,26
2,16 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,13440	51,03310	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	16/01/2020	Tritium lié + %H (sec)	4,24	-
2,16 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,13440	51,03310	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	16/01/2020	<sup>14</sup> C + C stable + <sup>13</sup> C/ <sup>12</sup> C (sec)	4,24	-
2,22 km	Gravelines - Champ proche	Grand-Fort-Philippe	02,10538	51,00426	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	12/02/2020	Spectrométrie gamma (sec)	2,01	-
2,24 km	Gravelines - Champ proche	Grand-Fort-Philippe	02,10368	51,00591	Algues brunes	Fucus <i>Fucus ceranoides</i>	entier	12/02/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	7,64	4,18
2,48 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,14994	51,03339	Mollusques	Moule bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Chair	11/02/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	12,70	3,12
2,48 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,14994	51,03339	Mollusques	Moule bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Chair	11/02/2020	Tritium lié + %H (sec)	6,17	-
2,57 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15020	51,03422	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	entier	11/02/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	4,82	3,27
2,57 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15020	51,03422	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	entier	11/02/2020	Spectrométrie gamma (frais) + I-131	4,82	3,27
2,57 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15020	51,03422	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	11/02/2020	Spectrométrie gamma (sec)	1,21	-
40,68 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59738	50,87286	Mollusques	Moule bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Chair	07/08/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	4,67	10,16
40,68 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59738	50,87286	Mollusques	Moule bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Chair	07/08/2020	Tritium lié + %H (sec)	4,26	-
41,04 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59316	50,87082	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	12/02/2020	Spectrométrie gamma (frais) + I-131	5,39	3,95

- : absence de traitement.

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

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



Figure 17 - Localisation du CNPE de Gravelines et des stations marines<sup>12</sup> échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2020.

<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).

## 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 87 pages 153 et suivante.

En 2020, 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. Il est également détecté dans les crustacés. 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 88 pages 155 et suivante.

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, les algues et les mollusques en champ proche), au  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  (dans les crustacés en champ proche) et à l' $^{241}\text{Am}$  (dans les mollusques en champ lointain). Le  $^{137}\text{Cs}$  est le plus fréquemment quantifié (détecté dans 11 des 12 échantillons analysés). L' $^{131}\text{I}$  recherché dans les algues ne présente pas d'activité supérieure au seuil de décision. Les résultats de mesure par spectrométrie gamma obtenus en 2020 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 77 à Tableau 81, pages 144 et suivantes). Par ailleurs, le contexte régional (dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague en « amont » du CNPE de Gravelines) et hydrologique local rend difficile une discrimination du marquage spécifique par les rejets du CNPE de Gravelines sur l'environnement marin.

### 7.3.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

#### Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium organiquement lié dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 89 page 157.

Les activités en tritium organiquement lié dans les mollusques prélevés en champ lointain, dans les crustacés prélevés en champ proche et dans les poissons de la Ferme Aquacole ( $3,0 \pm 0,8$  à  $4,0 \pm 0,8 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ EC}$ ) correspondent aux valeurs attendues du fait des niveaux d'activités mesurables dans l'eau de mer en Manche (de l'ordre de  $5 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ EC}$ , et comprises entre  $3,7$  et  $5,9 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ EC}$  à distance de l'usine ORANO [3, 26, 27]) et majoritairement imputables à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague. Pour les mollusques et les poissons, les activités en tritium organiquement lié en champ proche sont plus élevées ( $6,3 \pm 1,0$  et  $6,4 \pm 1,0 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ EC}$ ). Cette observation, cohérente avec les valeurs observées au cours de la dernière décennie, témoigne d'un marquage par les rejets d'effluents liquides du CNPE pour ce radionucléide.

## 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 90 page 157.

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 ( $233\pm 5 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$  en 2020 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 ( $342\pm 17 \text{ Bq.kg}^{-1}\text{C}$ ) est en revanche supérieure à ce bruit de fond. 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.

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

Les niveaux d'activités des radionucléides naturels détectés en 2020 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 exclusivement imputable au  $^{137}\text{Cs}$ , présent dans les sols échantillonnés, sans que la contribution des rejets du site ne soit démontrée. La présence de ce radionucléide artificiel dans l'environnement terrestre est essentiellement liée aux retombées des essais aériens d'armes nucléaires, l'accident de Tchernobyl ayant peu marqué la côte d'Opale. La dispersion de  $^{137}\text{Cs}$  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. Les activités en tritium libre et organiquement lié mettent en évidence un apport local pour le lierre. L'activité en  $^{14}\text{C}$  dans les salades et le lait est proche du bruit de fond sur le territoire français hors influence industrielle ( $224 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$  d'après [3]). Au vu des résultats obtenus dans le cadre du suivi radioécologique 2020, 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 et le  $^{14}\text{C}$  dans le lierre.

En 2020, 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, les algues et les mollusques), le  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  (dans les crustacés) et le  $^{241}\text{Am}$  (dans les mollusques) 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. Le  $^{241}\text{Am}$ , caractéristique des rejets d'effluents de l'usine ORANO La Hague, est quantifié dans les moules prélevées en champ lointain du CNPE en 2020. 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. Les activités en tritium organiquement lié restent toutefois plus élevées en champ proche qu'en champ lointain en 2020 pour les mollusques. Les activités en  $^{14}\text{C}$  témoignent de l'influence globale des INB de la Manche [3].

## 7.5. Tableaux de résultats

**Tableau 70 - Activités en radionucléides émetteurs  $\gamma$  et  $\beta$  au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.**

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	11,0 et 11,6 km	11 et 11,6 km	6,9 et 11,6 km	6,9 à 18,0 km	11,6 et 13 km	6,9 à 13 km	6,9 à 13 km	1,2 à 6,9 km	1,2 à 6,9 km	1,1 et 6,9 km	1,4 et 6,9 km
Émetteurs $\gamma$ d'origine artificielle (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)											
<sup>134</sup> Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>137</sup> Cs	2,8-3,0 (2/2)	2,8-3,4 (2/2)	2,5-5,1 (3/3)	3,1-8,7 (8/8)	3,4-3,5 (2/2)	2,3-5,9 (3/3)	1,9-7,1 (3/3)	0,99-11,80 (3/3)	1,03-6,20 (3/3)	1,57-1,98 (2/2)	0,58-3,30 (2/2)
<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.							
Date											
Distance au site	11,0 et 11,6 km	11 et 11,6 km	6,9 et 11,6 km	6,9 à 18,0 km	11,6 et 13 km	6,9 à 13 km	6,9 à 13 km	1,2 à 6,9 km	1,2 à 6,9 km	1,1 et 6,9 km	1,4 et 6,9 km
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	n.a.	n.a.	n.a.	1,1-3,2 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<sup>3</sup> H lié	n.a.	n.a.	n.a.	1,9-2,3 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<sup>14</sup> C	n.a.	n.a.	n.a.	236-240 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

**Tableau 71 - Activités en radionucléides émetteurs  $\gamma$  au sein d'échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.**

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2,7 à 19 km	2,7 à 19 km	2,7 à 19 km	2,7 à 19 km	2,7 à 19 km	2,7 à 19 km	2,7 à 19 km	2,7 à 19 km	4,4 km	4,0 km	4,2 km
Émetteurs $\gamma$ d'origine artificielle (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)											
<sup>134</sup> Cs	-	-	0,6 (1/3)	0,05-0,15 (2/3)	-	-	-	-	-	-	-
<sup>137</sup> Cs	34 (1/3)	1,7-7,0 (2/3)	1,2-12,6 (3/3)	0,8-3,7 (3/3)	8,7 (1/3)	1,5-6,3 (2/3)	0,4-4,1 (2/3)	0,5-6,8 (2/3)	-	0,45 (1/1)	-
<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 72 - Activités en radionucléides émetteurs  $\gamma$  et  $\beta$  au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.**

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	11,0 et 11,6 km	11,0 et 11,6 km	11,0 et 11,6 km	6,9 à 18,0 km	11,6 et 13,0 km	12,0 et 13,0 km	1,2 et 6,9 km	1,2 et 6,9 km	1,2 km	1,1 km	-
Émetteurs $\gamma$ d'origine artificielle (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)											
<sup>134</sup> Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
<sup>137</sup> Cs	-	-	-	-	-	-	0,04-0,29 (2/2)	0,17 (1/2)	-	0,034 (1/1)	n.a.
<sup>57</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
<sup>58</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
<sup>60</sup> Co	-	-	-	-	-	-	0,072 (1/2)	0,105 (1/2)	-	0,058 (1/1)	n.a.
<sup>110m</sup> Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,134 (1/1)	n.a.
<sup>106</sup> Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
<sup>241</sup> Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	11,0 et 11,6 km	11,6 km	11,6 km	6,9 à 18,0 km	11,6 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,1 km	-

Émetteurs  $\beta$  (<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	n.a.	n.a.	n.a.	1,6 (2/2)	n.a.	1,6 (1/1)	6,7 (1/1)	1,9 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.
<sup>3</sup> H lié	n.a.	n.a.	n.a.	1,7-2,1 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	3,1 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.
<sup>14</sup> C	n.a.	229 (1/1)	232 (1/1)	229-234 (3/3)	227 (1/1)	222-271 (2/2)	272 (1/1)	268 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.

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

**Tableau 73 - Activités en radionucléides émetteurs  $\beta$  au sein d'échantillons de lierre collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.**

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	-	-	-	9,7 et 19 km	-	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,4 km
Émetteurs $\beta$ ( $^3\text{H}$ libre : 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)											
$^3\text{H}$ libre	n.a.	n.a.	n.a.	1,7 (2/2)	n.a.	n.a.	7,8 (1/1)	n.a.	3,9 (1/1)	2,5 (1/1)	3,1 (1/1)
$^3\text{H}$ lié	n.a.	n.a.	n.a.	2,4-3,0 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,6 (1/1)	2,1 (1/1)	2,9 (1/1)
$^{14}\text{C}$	n.a.	n.a.	n.a.	228-229 (2/2)	n.a.	263 (3/3)	248-261 (4/4)	252-264 (4/4)	242-263 (4/4)	243-261 (4/4)	251/264 (4/4)

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

**Tableau 74 - 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 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.**

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	11,0 et 11,6 km	11,0 et 11,6 km	6,9 à 11,6 km	6,9 à 11,6 km	11,6 et 13,0 km	3,5 à 13,0 km	3,5 à 13,0 km	3,5 à 13,0 km	3,5 à 13,0 km	3,7 à 11,1 km	8,1 km
Nature	Salade	Salade	Salade	Salade, Choux-fleurs et Pommes de terre	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade
Émetteurs $\gamma$ d'origine artificielle (Bq.kg <sup>-1</sup> sec)											
<sup>134</sup> Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>137</sup> Cs	0,52 (1/2)	0,20 (1/2)	0,18-0,34 (2/3)	0,2-0,5 (2/5)	0,48 (1/2)	0,1-0,5 (3/3)	0,1-0,4 (3/3)	-	0,11-0,30 (2/3)	0,13-0,31 (2/3)	-
<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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
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	n.a.	n.a.	n.a.	1,0-1,8 (3/3)	n.a.	1,2 (1/1)	1,6 (1/1)	1,4 (1/1)	1,6 (1/1)	1,8-2,4 (3/3)	-
<sup>3</sup> H lié	n.a.	n.a.	n.a.	1,7-2,7 (3/3)	n.a.	1,3 (1/1)	1,6 (1/1)	1,5 (1/1)	2,2 (1/1)	1,1-2,3 (3/3)	1,4 (1/1)
<sup>14</sup> C	n.a.	n.a.	n.a.	229-232 (3/3)	n.a.	224-229 (3/3)	228-233 (3/3)	233-234 (3/3)	231-243 (3/3)	237-243 (3/3)	225 (1/1)

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

**Tableau 75 - Activités en radionucléides émetteurs  $\gamma$  et  $\beta$  au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.**

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	11,6 km	-	11,6 km	6,9 à 18,0 km	11,6 km	6,9 km	6,9 km	6,9 km	6,9 km	6,9 km	6,9 km
Émetteurs $\gamma$ d'origine artificielle (Bq.L <sup>-1</sup> )											
<sup>134</sup> Cs	-	n.a.	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	n.a.
<sup>137</sup> Cs	-	n.a.	-	-	0,0077 (1/1)	n.a.	-	-	-	-	n.a.
<sup>57</sup> Co	-	n.a.	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	n.a.
<sup>58</sup> Co	-	n.a.	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	n.a.
<sup>60</sup> Co	-	n.a.	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	n.a.
<sup>110m</sup> Ag	-	n.a.	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	n.a.
<sup>106</sup> Ru/Rh	-	n.a.	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	n.a.
<sup>241</sup> Am	-	n.a.	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	n.a.
Date											
2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2020
Distance au site	11,6 km	-	11,6 km	6,9 à 18,0 km	11,6 km	6,9 km	6,9 km	6,9 km	6,9 km	6,9 km	6,9 km
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	-	n.a.	0,9 (1/1)	0,7-0,8 (2/3)	-	n.a.	-	1,0 (1/1)	0,8 (1/1)	0,8 (1/1)	-
<sup>3</sup> H lié	n.a.	n.a.	0,8 (1/1)	0,9-2,1 (3/3)	1,0 (1/1)	n.a.	1,5 (1/1)	0,9 (1/1)	3,6 (1/1)	1,3 (1/1)	n.a.
<sup>14</sup> C	n.a.	n.a.	n.a.	233-235 (2/2)	n.a.	230-237 (5/5)	227-240 (4/4)	233 (1/1)	250 (1/1)	234 (1/1)	229 (1/1)

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

**Tableau 76 - Activités en radionucléides émetteurs  $\gamma$  et  $\beta$  au sein d'échantillons d'eau de boisson collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.**

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	11,6 km	11,6 km	11,6 km	11,6 km	11,6 km	11,6 km	9,5 km	9,5 km	9,5 km	9,5 km	-
Émetteurs $\gamma$ d'origine artificielle (Bq.L <sup>-1</sup> )											
<sup>134</sup> Cs	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<sup>137</sup> Cs	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<sup>57</sup> Co	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<sup>58</sup> Co	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<sup>60</sup> Co	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<sup>110m</sup> Ag	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<sup>106</sup> Ru/Rh	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<sup>241</sup> Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Émetteurs $\beta$ ( <sup>3</sup> H libre : Bq.L <sup>-1</sup> , <sup>14</sup> C : Bq.kg <sup>-1</sup> C)											
<sup>3</sup> H libre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
<sup>14</sup> C	n.a.	n.a.	n.a.	165 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

**Tableau 77 - Activités en radionucléides émetteurs  $\gamma$  et  $\beta$  au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.**

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,0 à 41 km	1,0 à 41 km	1,7 à 41 km	0,7 à 41 km	1,5 à 2,6 km			
<b>Émetteurs <math>\gamma</math> d'origine artificielle (Bq.kg<sup>-1</sup> sec)</b>											
<sup>134</sup> Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>137</sup> Cs	0,1-4,2 (4/4)	0,1-2,8 (4/4)	0,1-3,9 (4/4)	0,1-3,3 (4/4)	0,09-3,60 (4/4)	0,18-3,90 (2/4)	0,12-4,10 (4/4)	0,10-3,38 (4/4)	0,14-4,01 (4/4)	0,08-3,89 (4/4)	0,11-2,16 (3/3)
<sup>57</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>58</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>60</sup> Co	1,9 (1/4)	1,0 (1/4)	2,3 (1/4)	1,5 (1/4)	0,3-1,7 (2/4)	1,2 (1/4)	0,2-1,6 (2/4)	0,3-1,5 (2/4)	0,1-1,9 (3/4)	0,5-1,9 (2/4)	0,7 (1/3)
<sup>110m</sup> Ag	-	-	-	0,2 (1/4)	-	-	-	-	-	0,2 (1/4)	-
<sup>106</sup> Ru/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.	n.a.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,0 à 41 km	1,0 à 41 km	1,7 et 41 km	1,7 à 41 km	1,5 à 2,6 km			

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	n.a.	n.a.	n.a.	3,4-5,9 (4/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<sup>3</sup> H lié	n.a.	n.a.	n.a.	8,1 (1/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.
<sup>14</sup> C	n.a.	n.a.	n.a.	305 (1/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	232-307 (2/2)	n.a.	n.a.

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

**Tableau 78 - Activités en radionucléides émetteurs  $\gamma$  et  $\beta$  au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.**

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,0 à 41 km	1,0 à 41 km	1,7 à 41 km	0,7 à 41 km	1,5 à 41,0 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)	0,2-0,4 (4/4)	0,2-0,4 (4/4)	0,2-0,3 (4/4)	0,20-0,27 (4/4)	0,19-0,31 (4/4)	0,22-0,30 (4/4)	0,15-0,23 (4/4)	0,18-0,28 (4/4)	0,14-0,34 (4/4)	0,16-0,28 (3/4)
<sup>57</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>58</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>60</sup> Co	0,4 (1/4)	0,3 (2/4)	0,4 (1/4)	0,2-0,3 (4/4)	0,16-0,49 (4/4)	-	0,18-0,20 (3/4)	0,25-0,35 (3/4)	0,11-0,15 (3/4)	0,18 (1/4)	0,23-0,43 (3/4)
<sup>110m</sup> Ag	-	0,46 (1/4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>106</sup> Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>241</sup> Am	-	-	-	-	0,18 (1/4)	-	0,11 (1/4)	-	-	0,15 (1/4)	-
<sup>129</sup> I	n.a.	n.a.	n.a.	1,8 (1/4)	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)</b>											
<sup>3</sup> H libre	n.a.	n.a.	n.a.	2,8-3,0 (3/3)	n.a.	1,8-4,4 (3/3)	2,2-3,2 (3/3)	n.a.	5,7-6,6 (2/2)	4,9-5,3 (2/2)	n.a.
<sup>3</sup> H lié	n.a.	n.a.	n.a.	2,6-4,2 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	5,5-6,0 (2/2)	6,0-6,7 (2/2)	n.a.
<sup>14</sup> C	n.a.	n.a.	n.a.	238-286 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	241-270 (2/2)	255-270 (2/2)	n.a.

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

**Tableau 79 - Activités en radionucléides émetteurs  $\gamma$  et  $\beta$  au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radiocécologique.**

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,7 à 41 km	1,7 et 41 km	1,7 et 41 km	1,7 à 41 km	1,7 et 41 km	1,7 et 41 km	1,7 et 41 km	1,7 et 41 km	1,7 et 41 km	1,1 et 41 km	2020
Émetteurs $\gamma$ d'origine artificielle (Bq.kg <sup>-1</sup> frais)											
<sup>134</sup> Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>137</sup> Cs	0,03-0,04 (3/3)	0,03-0,10 (2/2)	0,03-0,04 (2/2)	0,01-0,03 (5/5)	0,02-0,03 (2/2)	0,01-0,02 (2/2)	0,01-0,02 (2/2)	0,02-0,03 (2/2)	0,01 (2/2)	0,01-0,02 (2/2)	0,01-0,02 (2/2)
<sup>57</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>58</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>60</sup> Co	0,02-0,03 (2/3)	0,05 (1/2)	-	0,02-0,04 (4/5)	0,03 (1/2)	-	0,01 (1/2)	0,03 (1/2)	0,02 (1/2)	0,02 (1/2)	0,02 (1/2)
<sup>110m</sup> Ag	0,17 (1/3)	0,50 (1/2)	0,36 (1/2)	0,03-1,49 (3/5)	-	-	-	-	-	-	-
<sup>108m</sup> Ag	-	-	-	0,02 (1/5)	-	-	-	-	-	-	-
<sup>106</sup> Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04 (1/2)	-	-
<sup>241</sup> Am	-	-	-	0,01 (3/5)	0,01-0,02 (2/2)	-	0,01 (1/2)	-	0,01 (1/2)	-	0,01 (1/2)

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,7 à 41 km	1,7 et 41 km	1,7 et 41 km	1,7 à 41 km	1,7 et 41 km	1,1 et 41 km	2020				

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	n.a.	3,9-31,3 (2/2)	3,8-5,0 (2/2)	1,6-2,7 (3/3)	4,2-7,0 (2/2)	3,4-3,7 (2/2)	4,6-6,9 (2/2)	4,9-6,4 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.
<sup>3</sup> H lié	n.a.	3,4-11,7 (2/2)	3,0-6,6 (2/2)	4,0-5,6 (3/3)	4,4-5,7 (2/2)	4,4-5,8 (2/2)	3,6-6,6 (2/2)	4,3 (2/2)	3,9-7,1 (2/2)	4,3-9,5 (2/2)	3,5-6,3 (2/2)
<sup>14</sup> C	n.a.	333-350 (2/2)	324-358 (2/2)	330-393 (3/3)	318-399 (2/2)	342-373 (2/2)	321-454 (2/2)	337-390 (2/2)	314-420 (2/2)	323-363 (2/2)	n.a.

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

**Tableau 80 - Activités en radionucléides émetteurs  $\gamma$  et  $\beta$  au sein d'échantillons de crustacés collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radiocécologique.**

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2,0 km	-	2,0 km	2,0 et 41 km	2,0 et 41 km	-	-	2,0 et 41 km	2,0 km	2,0 km	2,2 km
Émetteurs $\gamma$ d'origine artificielle (Bq.kg <sup>-1</sup> frais)											
<sup>134</sup> Cs	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-	-
<sup>137</sup> Cs	-	n.a.	0,06 (1/1)	0,07 (1/1)	0,04-0,05 (2/2)	n.a.	n.a.	0,04 (1/2)	0,05 (1/1)	0,05 (1/1)	0,04 (1/1)
<sup>57</sup> Co	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-	-
<sup>58</sup> Co	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-	-
<sup>60</sup> Co	-	n.a.	0,02 (1/1)	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-	-
<sup>110m</sup> Ag	-	n.a.	-	0,25 (1/1)	0,05 (1/2)	n.a.	n.a.	-	-	0,06 (1/1)	0,04 (1/1)
<sup>108m</sup> Ag	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-	-
<sup>106</sup> Ru/Rh	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-	-
<sup>241</sup> Am	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	0,03 (1/1)	-	-

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2,0 km	-	2,0 km	2,0 et 41 km	2,0 et 41 km	-	-	2,0 km	2,0 km	2,0 km	2,2 km
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	n.a.	n.a.	n.a.	6,3 (1/1)	4,6 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<sup>3</sup> H lié	n.a.	n.a.	n.a.	7,5 (1/1)	5,2 (1/1)	n.a.	n.a.	6,4 (1/1)	3,9 (1/1)	5,1 (1/1)	3,0 (1/1)
<sup>14</sup> C	n.a.	n.a.	n.a.	562 (1/1)	308 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

**Tableau 81 - Activités en radionucléides émetteurs  $\gamma$  et  $\beta$  au sein d'échantillons de poissons collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.**

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,5 et 2,2 km
Émetteurs $\gamma$ d'origine artificielle (Bq.kg <sup>-1</sup> frais)											
<sup>134</sup> Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>137</sup> Cs	0,04-0,20 (4/4)	0,1-0,2 (5/5)	0,06-0,20 (5/5)	0,06-0,28 (6/6)	0,07-0,26 (5/5)	0,05-0,21 (5/5)	0,06-0,24 (5/5)	0,07-0,12 (3/3)	0,05-0,14 (4/4)	0,08-0,21 (3/3)	0,08-0,11 (2/2)
<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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
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	2,7-3,3 (2/2)	n.a.	n.a.	2,8-3,5 (3/3)	n.a.	3,8-5,5 (3/3)	5,0-6,9 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<sup>3</sup> H lié	n.a.	n.a.	n.a.	1,0-4,7 (3/3)	n.a.	2,5-4,8 (3/3)	2,6-5,1 (3/3)	1,8-6,0 (3/3)	1,7-4,9 (3/3)	4,0-6,5 (2/2)	4,0-6,4 (2/2)
<sup>14</sup> C	n.a.	n.a.	n.a.	240-312 (3/3)	n.a.	233-440 (3/3)	237-408 (3/3)	239-477 (3/3)	236-433 (3/3)	248-353 (2/2)	223-342 (2/2)

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

**Tableau 82 - 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 2020 (Bq.kg<sup>-1</sup> sec pour les sols et les végétaux).**

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	<sup>40</sup> K	Famille de l' <sup>238</sup> U		<sup>7</sup> Be
										<sup>232</sup> Th	<sup>234m</sup> Pa	
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Gravelines, AS1	11/02/2020	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,11	21/09/2020	248±22	9,4±1,2	n.a.	≤ 11
Gravelines - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-la-Aa	11/08/2020	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,15	29/10/2020	336±29	19,9±2,4	n.a.	≤ 2,4
Gravelines - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	06/10/2020	Légumes	Salades	Feuilles	sec	26,47	10/11/2020	2 380±290	≤ 3,7	n.a.	386±48
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Loon-Plage	10/02/2020	Mousses terrestres	Tortula <i>Tortula ruralis</i>	Entier	frais	1,16	14/02/2020	124±10	3,6±1,6	n.a.	445±24

n.a. : non analysé.

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

Prélèvements hors vents dominants de l'installation

Prélèvements sous les vents dominants principaux de l'installation

**Tableau 83 - 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 2020 (Bq.kg<sup>-1</sup> sec pour les sols et les végétaux).**

Chronique	Station	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>131</sup> I*
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Gravelines, AS1	11/02/2020	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,11	21/09/2020	≤ 0,11	0,580 ±0,090	≤ 0,80	≤ 0,11	≤ 0,19	≤ 0,16	≤ 1,0	≤ 0,28	n.a.
Gravelines - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	11/08/2020	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,15	29/10/2020	≤ 0,12	3,30 ±0,30	≤ 0,24	≤ 0,14	≤ 0,17	≤ 0,16	≤ 0,28	≤ 0,35	n.a.
Gravelines - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	06/10/2020	Légumes	Salades	Feuilles	sec	26,47	10/11/2020	≤ 0,82	≤ 0,87	≤ 1,2	≤ 1,0	≤ 0,85	≤ 0,93	≤ 1,1	≤ 2,1	≤ 16
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Loon-Plage	10/02/2020	Mousses terrestres	Tortula <i>Tortula ruralis</i>	Entier	frais	1,16	14/02/2020	≤ 0,29	≤ 0,32	≤ 0,29	≤ 0,35	≤ 0,29	≤ 0,35	≤ 0,29	≤ 0,70	≤ 0,34

n.a. : non analysé.

**Tableau 84 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2020.**

Chronique	Station	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 - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	06/10/2020	Légumes	Salades	Feuilles	18,32	06/01/2021	≤ 2,4	≤ 2,3	Frais
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Gravelines, AS1	11/02/2020	Végétaux terrestres non consommés	Lierre <i>Hedera helix</i>	Feuilles annuelles	2,66	28/10/2020	3,10±0,70	1,93±0,44	Frais
Gravelines - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	11/08/2020	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,71	28/10/2020	≤ 0,60	≤ 0,52	Liquide

n.a. : non analysé.

**Tableau 85 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2020.**

Chronique	Station	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 - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	06/10/2020	Légumes	Salades	Feuilles	18,32	09/06/2021	1,37±0,15	0,039±0,004	Frais
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Gravelines, AS1	11/02/2020	Végétaux terrestre non consommés	Lierre <i>Hedera helix</i>	Feuilles annuelles	2,66	24/11/2020	2,90±0,70	0,69±0,17	Frais

n.a. : non analysé.

**Tableau 86 - Activités en  $^{14}\text{C}$  mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2020.**

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure du $^{14}\text{C}$	$^{14}\text{C}$ (Bq.kg $^{-1}\text{C}$ )	$^{14}\text{C}$ (Bq.kg $^{-1}$ frais ou sec ou Bq.L $^{-1}$ d'ECH)	$\text{C}_{\text{TOT}}$ (g.kg $^{-1}$ frais ou sec ou g.L $^{-1}$ d'ECH)	$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (‰)	pMC (%)	Unité
Gravelines - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	06/10/2020	Légumes	Salades	Feuilles	sec	18,32	21/12/2020	224,5±1,7	4,78±0,04	21	-29,8	100,3±0,8	Frais
Gravelines - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Ar	11/08/2020	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	sec	7,71	19/10/2020	229±11	15,27±0,73	67	-21,38	100,6±4,8	Liquide

**Tableau 87 - Activités en radionucléides émetteurs  $\gamma$  d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2020 (Bq.kg<sup>-1</sup> sec pour les sédiments et les algues, Bq.kg<sup>-1</sup> frais pour les mollusques, les crustacés et les poissons).**

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	<sup>40</sup> K	Famille de l <sup>238</sup> U		<sup>7</sup> Be		
										<sup>232</sup> Th	<sup>235</sup> U			
										<sup>232</sup> Th	<sup>235</sup> U	<sup>210</sup> Pb		
Gravelines - champ proche	Gravelines, prise d'eau	11/02/2021	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,30	21/09/2020	234±21	3,90±0,60	≤ 10	n.a.	≤ 10	
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	12/02/2021	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	2,01	17/09/2020	277±24	13,8±1,7	14,0±7,0	n.a.	50,0±9,0	
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	11/02/2021	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,21	17/09/2020	224±20	4,00±0,60	≤ 11	n.a.	≤ 10	
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	12/02/2020	Algues	Fucus <i>Fucus ceranoides</i>	Entier	cencre	7,64	21/09/2020	1 430±140	7,2±1,0	1,98±0,67	≤ 19	3,68±0,84	≤ 17
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	11/02/2020	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	frais	4,82	13/02/2020	1 397±87	6,7±4,3	n.a.	n.a.	n.a.	15,9±6,7
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	11/02/2020	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	cencre	4,82	07/10/2020	1 330±130	3,36±0,58	3,92±0,98	≤ 18	≤ 2,1	≤ 15
Gravelines - champ proche	Gravelines, prise d'eau	11/02/2020	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	cencre	5,14	17/09/2020	1 350±130	3,92±0,59	5,16±0,92	≤ 16	2,57±0,89	14,1±5,9
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	12/02/2020	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	frais	5,39	14/02/2020	1471±86	8,09±3,23	≤ 81	n.a.	n.a.	14,0±4,9
Gravelines - champ proche	Gravelines, au large	31/07/2020	Crustacés aquatiques	Crevette grise	Entier	cencre	3,97	20/10/2020	89,4±8,6	0,298±0,066	0,22±0,11	≤ 2,5	0,23±0,13	0,32±0,16
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	11/02/2020	Mollusques aquatiques	Moule bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Chair	cencre	12,70	21/09/2020	32,3±3,0	≤ 0,028	0,205±0,045	≤ 0,88	0,288±0,056	≤ 0,71
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	19/09/2020	Mollusques aquatiques	Moule bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Chair	cencre	4,67	03/11/2020	60,5±5,9	0,030±0,013	0,329±0,040	≤ 0,70	0,506±0,059	0,150±0,030

Chronique	Station	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	
										<sup>234</sup> Th	<sup>234m</sup> Pa	<sup>210</sup> Pb	
Gravelines - champ proche	Gravelines, au large	16/01/2020	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	cendre	4,45	02/10/2020	127±12	≤ 0,022	≤ 0,057	≤ 0,69	≤ 0,068
Centre Aquacole	Gravelines, lieu-dit Ferme Aquanord	10/02/2020	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	cendre	3,37	21/09/2020	130±13	≤ 0,036	≤ 0,10	≤ 1,3	≤ 0,15
												≤ 0,83	
													≤ 0,90

n.a. : non analysé.

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

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

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

**Tableau 88 - 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 2020 (Bq.kg<sup>-1</sup> sec pour les sédiments et les algues, Bq.kg<sup>-1</sup> frais pour les mollusques, les crustacés et les poissons).**

Chronique	Station	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>106</sup> Rh	<sup>241</sup> Am	<sup>131</sup> I*	
Gravelines - champ proche	Gravelines, prise d'eau	11/02/2020	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,30	21/09/2020	≤ 0,090	0,180 ±0,050	≤ 0,70	≤ 0,100	≤ 0,16	≤ 0,12	≤ 0,90	≤ 0,23	≤ 0,090	≤ 1,0	n.a.	n.a.
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	11/02/2020	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,21	17/09/2020	≤ 0,100	0,110 ±0,050	≤ 0,70	≤ 0,11	≤ 0,17	≤ 0,14	≤ 0,90	≤ 0,25	≤ 0,100	≤ 1,1	n.a.	n.a.
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	12/02/2020	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	2,01	17/09/2020	≤ 0,24	2,16 ±0,21	≤ 1,1	0,65 ±0,12	≤ 0,44	≤ 0,24	≤ 1,5	≤ 0,46	≤ 0,25	≤ 1,9	n.a.	n.a.
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	12/02/2020	Algues	Fucus <i>Fucus ceranoides</i>	Entier	cen dre	7,64	21/09/2020	≤ 0,14	0,163 ±0,069	≤ 1,1	0,43 ±0,14	≤ 0,29	≤ 0,22	≤ 1,2	≤ 0,33	≤ 0,17	≤ 1,7	≤ 0,14	n.a.
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	11/02/2020	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	frais	4,82	13/02/2020	≤ 0,72	≤ 0,82	≤ 0,82	≤ 0,96	≤ 0,77	≤ 0,96	≤ 0,77	≤ 1,9	n.a.	≤ 7,2	n.a.	≤ 0,87
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	11/02/2020	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	cen dre	4,82	07/10/2020	≤ 0,14	0,275 ±0,076	≤ 1,3	0,23 ±0,11	≤ 0,28	≤ 0,21	≤ 1,8	≤ 0,34	≤ 0,18	≤ 1,8	≤ 0,18	n.a.
Gravelines - champ proche	Gravelines, prise d'eau	11/02/2020	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	cen dre	5,14	17/09/2020	≤ 0,12	0,254 ±0,065	≤ 1,0	0,33 ±0,11	≤ 0,24	≤ 0,19	≤ 1,1	≤ 0,30	≤ 0,16	≤ 1,6	≤ 0,12	n.a.
Gravelines - champ lointain	Audighen, lieu-dit Cap Gris-Nez	12/02/2020	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	frais	5,39	14/02/2020	≤ 0,43	≤ 0,54	≤ 0,54	≤ 0,59	≤ 0,49	≤ 0,54	≤ 0,49	≤ 1,62	n.a.	≤ 4,9	n.a.	≤ 0,65
Gravelines - champ proche	Gravelines, au large	31/07/2020	Crustacés aquatiques	Crevette grise	Entier	cen dre	3,97	20/10/2020	≤ 0,017	0,037 ±0,011	≤ 0,040	≤ 0,026	0,035 ±0,016	≤ 0,019	≤ 0,033	≤ 0,040	≤ 0,022	≤ 0,17	≤ 0,020	n.a.
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	11/02/2020	Mollusques aquatiques	Moule bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Chair	cen dre	12,70	21/09/2020	≤ 0,0068	0,0109 ±0,0038	≤ 0,053	0,0157 ±0,0066	≤ 0,013	≤ 0,0099	≤ 0,068	≤ 0,015	≤ 0,0083	≤ 0,086	≤ 0,0071	n.a.
Gravelines - champ lointain	Audighen, lieu-dit Cap Gris-Nez	19/09/2020	Mollusques aquatiques	Moule bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Chair	cen dre	4,67	03/11/2020	≤ 0,0042	0,0112 ±0,0025	≤ 0,0074	≤ 0,0070	≤ 0,0059	≤ 0,0051	≤ 0,0061	≤ 0,010	≤ 0,0061	≤ 0,044	0,0063 ±0,0025	n.a.

Chronique	Station	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>109m</sup> Ag	<sup>54</sup> Mn	<sup>125</sup> Sb	<sup>129</sup> Sb	<sup>108m</sup> Ag	<sup>109</sup> Rh	<sup>241</sup> Am	<sup>131</sup> I*
Gravelines - champ proche	Gravelines, au large	16/01/2020	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	endre	4,45	02/10/2020	≤ 0,0055	0,123±0,011	≤ 0,064	≤ 0,0083	≤ 0,011	≤ 0,0083	≤ 0,012	≤ 0,083	≤ 0,0064	≤ 0,069	≤ 0,0059	n.a.
Centre Aquacole	Gravelines, lieu-dit Ferme Aquanord	10/02/2020	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	endre	3,37	21/09/2020	≤ 0,0090	0,0759±0,0090	≤ 0,077	≤ 0,013	≤ 0,018	≤ 0,014	≤ 0,090	≤ 0,090	≤ 0,010	≤ 0,12	≤ 0,012	n.a.

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

**Tableau 89 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2020.**

Chronique	Station	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, au large	31/07/2020	Crustacés aquatiques	Crevette grise	Entier	3,44	07/03/2021	3,00±0,80	0,52±0,14	Frais
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	11/02/2020	Mollusques aquatiques	Moule bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Chair	6,17	30/11/2020	6,3±1,0	0,604±0,100	Frais
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	19/09/2020	Mollusques aquatiques	Moule bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Chair	4,26	07/03/2021	3,50±0,80	0,52±0,12	Frais
Centre Aquacole	Gravelines, lieu-dit Ferme Aquanord	10/02/2020	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	3,66	24/11/2020	4,00±0,80	0,76±0,15	Frais
Gravelines - champ proche	Gravelines, au large	16/02/2020	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	4,24	21/11/2020	6,4±1,0	1,00±0,16	Frais

**Tableau 90 - Activités en <sup>14</sup>C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2020.**

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> sec ou frais)	C <sub>TOT</sub> (g.kg <sup>-1</sup> sec ou frais)	δ <sup>13</sup> C/ <sup>12</sup> C (‰)	pMC (%)	Unité
Centre Aquacole	Gravelines, lieu-dit Ferme Aquanord	10/02/2020	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	Sec	3,66	19/10/2020	223±11	30,7±1,5	140	-21,41	98,0±4,8	Frais
Gravelines - champ proche	Gravelines, au large	16/01/2020	Poissons	Bar <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	sec	4,24	19/10/2020	342±17	38,1±1,9	110	-17,36	149,0±7,4	Frais

## 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 (7 fois sur 10). L'activité la plus élevée ( $8,1 \pm 0,7 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ ) est observée dans le sol de pâturage de Paluel, Le Tôt, dans la zone sous les vents 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 20).

En plus de l'eau de boisson et du lait de vache, dans lesquels l'activité en  $^3\text{H}$  libre est recherchée depuis plusieurs années, cette activité a également été recherchée depuis 2015 dans l'herbe, les feuilles de salade, voire le lierre pour les CNPE de Flamanville et Gravelines (depuis 2016 et 2018 respectivement). En 2020, le  $^3\text{H}$  libre a été recherché dans l'herbe, le lierre, les salades et le lait. Le  $^3\text{H}$  libre est détecté dans deux des quatre échantillons de lait de vache récoltés, à des niveaux d'activité proches du seuil de décision (activité de  $0,7 \pm 0,7$  et  $0,9 \pm 0,7 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ ED}$  dans l'environnement des CNPE de Penly et Flamanville ; et  $\leq 0,6 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ ED}$  dans l'environnement des CNPE de Paluel et de Gravelines). Dans les salades échantillonnées sous influence des CNPE de Penly et de Gravelines, l'activité en  $^3\text{H}$  libre est inférieure au seuil de décision ( $\leq 2,4 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ ED}$ ). Dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Flamanville, l'activité en  $^3\text{H}$  libre est un peu plus élevée ( $1,5 \pm 0,7 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ ED}$ ), mais reste de l'ordre de grandeur du bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence des rejets des INB ( $0,5$  à  $2 \text{ Bq.L}^{-1}$  pour l'HTO et  $0,39$  à  $1,9 \text{ Bq.L}^{-1}$  pour le TOL d'après [3]). Dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Gravelines et dans l'herbe échantillonnée à proximité des CNPE de Paluel et de Penly, l'activité en  $^3\text{H}$  libre est en revanche plus élevée que ce bruit de fond ( $2,8 \pm 0,7$  à  $3,3 \pm 0,7 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ ED}$ ), 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, à un niveau d'activité généralement proche du seuil de décision. En 2020, le  $^3\text{H}$  organiquement lié a été recherché dans la salade, l'herbe et les feuilles de lierre, et son activité y est proche du bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence des rejets des INB ( $0,5$  à  $2 \text{ Bq.L}^{-1}$  pour l'HTO et  $0,39$  à  $1,9 \text{ Bq.L}^{-1}$  pour le TOL d'après [3]), hormis dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Gravelines, où l'activité en  $^3\text{H}$  organiquement lié mesurée témoigne d'un apport local ( $2,9 \pm 0,7 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ EC}$ ).

Enfin, l'activité en  $^{14}\text{C}$  dans la salade dans l'environnement du CNPE de Penly et de Gravelines est comparable à la valeur du bruit de fond sur le territoire français hors influence industrielle ( $224 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$  d'après [3]). L'activité en  $^{14}\text{C}$  dans le lait est proche de ce bruit de fond dans l'environnement des CNPE de Flamanville et de Gravelines, tandis qu'elle témoigne d'un apport local ( $244 \pm 12$  et  $246 \pm 12 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ ) dans l'environnement des CNPE de Paluel et Penly, sans que la contribution des rejets du site ne soit démontrée. En revanche, 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), et Gravelines (lierre) (à environ un kilomètre ou moins des différents CNPE) était significativement supérieure au bruit de fond hors influence industrielle (activité comprise entre  $241 \pm 12 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ , dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Flamanville, et  $261 \pm 13 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ , dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Gravelines) ; témoignant d'un apport local probable en  $^{14}\text{C}$  dans l'environnement immédiat de ces CNPE pour l'herbe ou le lierre.

À la vue des résultats obtenus dans le cadre du suivi radioécologique 2020, il apparaît que les rejets d'effluents à l'atmosphère des CNPE français côtiers de la Manche et de la Mer du Nord ne donnent pas lieu à un marquage mesurable de l'environnement terrestre, hormis pour les échantillons d'herbe, de lait et de lierre échantillonnés à proximité immédiate des CNPE, pour lesquels le marquage par les rejets d'effluents atmosphériques des CNPE est visible pour le  $^3\text{H}$  (libre et organiquement lié), ainsi que 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.

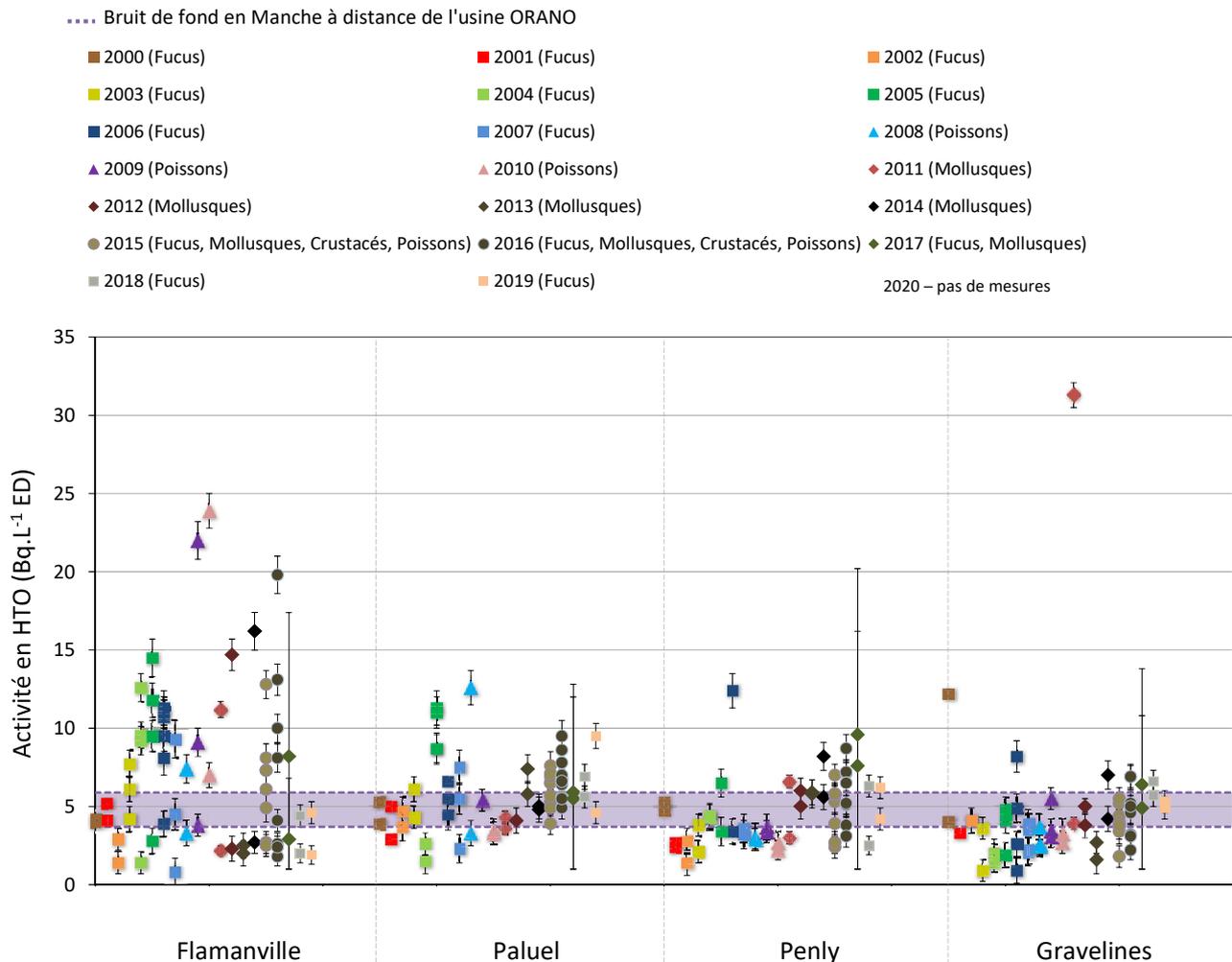
Parmi ces diverses origines, les rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague sont les plus à même de marquer l'environnement marin des CNPE côtiers de la Manche et de la Mer du Nord. Certains radionucléides émetteurs gamma (tels que le  $^{137}\text{Cs}$ , le  $^{134}\text{Cs}$ , le  $^{60}\text{Co}$ , 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 18 page 160).

Le  $^{137}\text{Cs}$  est le radionucléide artificiel le plus fréquemment détecté au sein des matrices échantillonnées (40 fois sur 49). Les activités en  $^{137}\text{Cs}$  sont relativement homogènes de Flamanville à Gravelines (Figure 19 page 161). 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 mBq par kg de matière fraîche. L' $^{131}\text{I}$ , recherché dans les algues échantillonnées à proximité des CNPE de Flamanville et de Gravelines, n'est pas détecté à des niveaux supérieurs au seuil de décision.

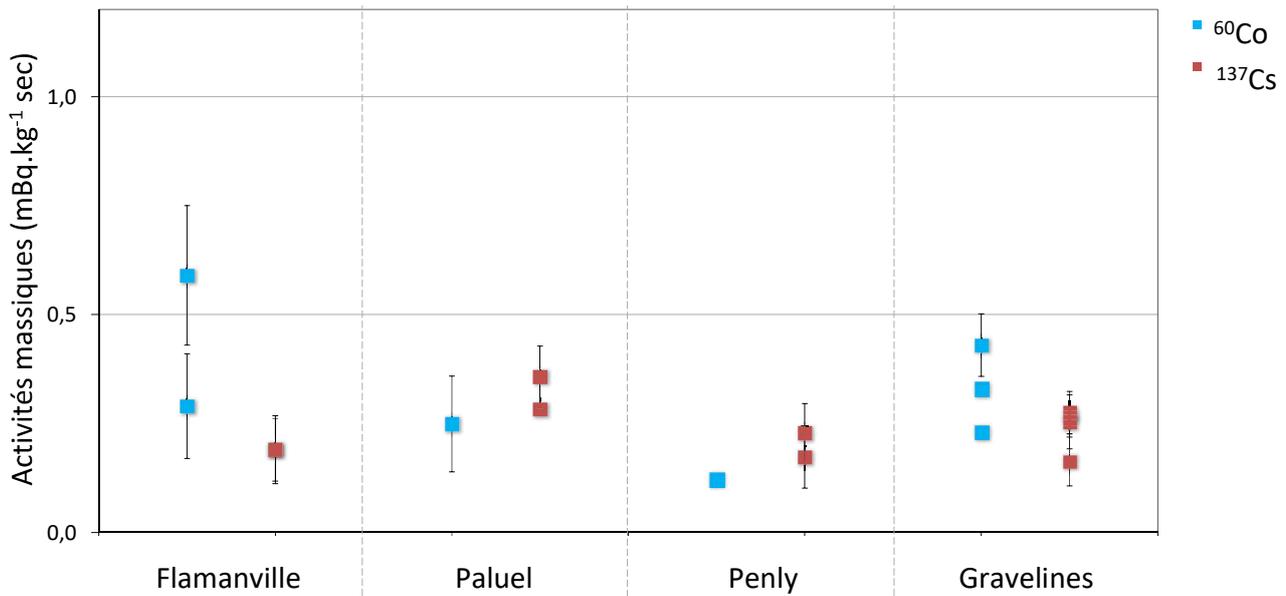
Les activités en tritium organiquement lié ( $2,1\pm 0,8$  à  $14,2\pm 1,4$  Bq.L<sup>-1</sup> EC) dans les mollusques, les crustacés et les poissons échantillonnés dans l'environnement marin proche des CNPE côtiers de la Manche et de la Mer du Nord sont cohérentes avec les valeurs attendues du fait des niveaux d'activités mesurables dans l'eau de mer en Manche (de l'ordre de 5 Bq.L<sup>-1</sup>, et qui varient généralement de 0,3 à 10 Bq.L<sup>-1</sup>) et majoritairement imputables à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague. Elles témoignent toutefois d'un marquage par les rejets en tritium pour certains échantillons (5 des 21 activités mesurées sont supérieures à 5 Bq.L<sup>-1</sup> EC, avec une activité maximale de  $14,2\pm 1,4$  Bq.L<sup>-1</sup> EC dans les patelles récoltées à proximité du CNPE de Flamanville) dans l'environnement des CNPE de Flamanville, Penly et Gravelines en 2020.

Les activités en  $^{14}\text{C}$  quantifiées au sein des crustacés, des mollusques et des poissons échantillonnés dans l'environnement marin des CNPE ( $223\pm 11$  à  $520\pm 25$  Bq.kg<sup>-1</sup> C) sont pour la plupart (9 des 10 activités mesurées, l'exception étant représentée par les bars d'aquaculture du Centre Aquacole de Gravelines) supérieures au bruit de fond hors influence industrielle ( $233\pm 5$  Bq.kg<sup>-1</sup> C en 2020 d'après nos mesures et d'après [3]), mais cohérentes avec les valeurs moyennes enregistrées par le passé du fait du marquage global par les INB de la Manche [28], et notamment de la proximité de l'usine ORANO La Hague. Ce marquage en  $^{14}\text{C}$  est plus prononcé au voisinage des points de rejet d'effluents liquides des CNPE pour les mollusques à proximité du CNPE de Flamanville, et pour les

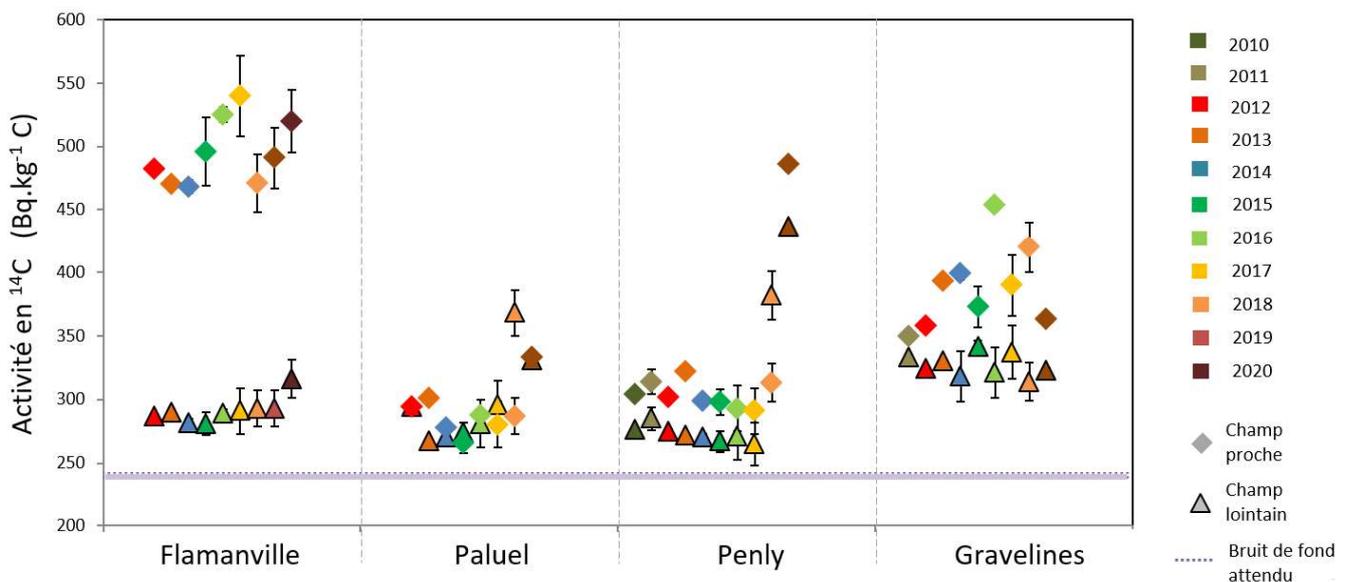
poissons à proximité du CNPE de Penly (Figure 20 page 161). Les différences ne sont pas significatives pour les poissons à Paluel. A Flamanville et Gravelines, les poissons n'ont été échantillonnés qu'en champ proche et la comparaison n'est pas possible. Il en est de même pour les crustacés à Flamanville, échantillonnés uniquement en champ proche.



**Figure 18 - Activités en tritium libre (Bq.L<sup>-1</sup> ED) mesurées dans les algues, les mollusques, les crustacés et les poissons échantillonnés dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord depuis 2000. La zone violette indique le bruit de fond attendu en entrée de Manche (i.e. entre 3,7 et 5,9 Bq.L<sup>-1</sup> à distance de l'usine ORANO [3, 26, 27]).**



**Figure 19 - Activités en <sup>60</sup>Co et en <sup>137</sup>Cs mesurées dans les algues échantillonnées en 2020 dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord.**



**Figure 20 - Activités en <sup>14</sup>C (Bq.kg<sup>-1</sup>.C) dans les mollusques (patelles et moules) échantillonnés depuis 2010 dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord. Le graphique distingue les prélèvements fait en champ proche de chaque CNPE (losanges) de ceux effectués en champ lointain (triangles), et indique en violet le bruit de fond attendu hors influence industrielle (i.e., 240±2 Bq.kg<sup>-1</sup>.C d'après [3]).**

## ANNEXE 3

### ***Résultats de la campagne estivale 2021 de contrôle des eaux du canal d'amenée et du canal de rejet***

## Contrôle des eaux du canal d'amenée

date		Entérocoques intestinaux	Escherichia coli	Ammonium	Nitrates	Nitrites	Orthophosphates	Oxygène dissous	pH instantané in situ	Salinité	Température de l'eau
jour	heure	/100 mL	/100 mL	mg/L (NH4)	mg/L (NO3)	mg/L (NO2)	mg/L (PO4)	mg/L O2	/	ups	°C
28/05/2021	13h30	< 10	< 10	0,21	0,30	0,017	0,07	8,1	7,8	33,8	14,3
04/06/2021	08h25	< 10	< 10	0,12	< 0,10	0,024	0,11	5,8	7,82	34,1	15,3
10/06/2021	14h00	< 10	< 10	0,02	< 0,10	< 0,005	< 0,03	8	8,1	34	17,1
14/06/2021	15h18	< 10	< 10	0,08	< 0,10	0,006	< 0,03	10,2	8	33,9	19,0
21/06/2021	10h20	20	20	0,05	< 0,10	0,014	< 0,03	6,8	8	34,1	17,2
29/06/2021	08h45	990	97	0,09	< 0,10	0,009	0,05	7,3	7,9	33,9	17,7
05/07/2021	09h40	< 10	< 10	0,10	< 0,10	0,013	0,04	7,3	8	33,9	17,5
15/07/2021	14h40	< 10	< 10	0,08	0,567	0,486	< 0,03	7,9	8	33,9	19,5
22/07/2021	11h25	< 10	< 10	0,04	< 0,10	< 0,005	< 0,03	8,67	7,7	34,1	20,9
26/07/2021	15h45	< 10	10	0,05	0,16	< 0,005	< 0,03	9,6	8,2	34,1	19,8
05/08/2021	10h45	< 10	< 10	0,26	< 0,10	0,014	< 0,03	9,3	8	34,1	19,7
09/08/2021	14h00	< 10	< 10	0,17	< 0,10	0,016	0,06	9,4	8,4	34	18,8
20/08/2021	10h45	< 10	< 10	0,17	0,202	0,021	0,17	9,3	7,6	33,9	19,8
23/08/2021	12h45	< 10	< 10	0,17	0,114	0,023	0,17	7,9	7,8	33,9	19,4
03/09/2021	10h10	< 10	< 10	0,09	0,783	0,026	< 0,03	9,9	8,4	33,8	17,2
09/09/2021	14h05	10	10	0,09	0,22	0,024	0,04	6,9	7,9	33,8	20,0
15/09/2021	08h20	< 10	< 10	0,15	< 0,10	0,021	0,03	7,5	8	33,7	18,9
23/09/2021	14h10	< 10	< 10	0,07	< 0,10	0,012	< 0,03	7,6	8	33,8	19,2
01/10/2021	08h50	< 10	< 10	0,14	0,10	0,055	0,09	7,2	8,1	34	17,5
08/10/2021	13h35	< 10	< 10	0,13	0,135	0,020	0,06	7,13	7,83	33,8	16,6
15/10/2021	09h05	20	< 10	0,09	0,12	0,009	0,04	7,6	7,9	33,9	15,2

## Contrôle des eaux du canal de rejet

date		Entérocoques intestinaux	Escherichia coli	Ammonium	Nitrates	Nitrites	Orthophosphates	Oxygène dissous	pH instantané in situ	Salinité	Température de l'eau
jour	heure	/100 mL	/100 mL	mg/L (NH4)	mg/L (NO3)	mg/L (NO2)	mg/L (PO4)	mg/L O2	/	ups	°C
28/05/2021	13h15	< 10	< 10	0,09	0,57	0,073	0,10	7,5	7,7	33,8	21,9
04/06/2021	09h10	< 10	< 10	0,04	0,42	0,062	0,07	7,3	7,86	34,2	34,2
10/06/2021	14h20	< 10	< 10	0,01	0,236	0,030	0,06	7,2	8,1	34	17,0
14/06/2021	15h40	< 10	< 10	0,03	0,20	0,044	0,08	9,8	8	34,2	25,0
21/06/2021	10h30	< 10	< 10	0,08	< 0,10	0,067	0,07	7,04	7,9	34,2	24,0
29/06/2021	09h10	< 10	< 10	0,02	0,453	0,047	0,15	6	7,9	34	21,4
05/07/2021	10h00	< 10	< 10	0,02	0,57	0,046	0,24	6,9	8	33,9	23,2
15/07/2021	15h00	< 10	< 10	0,02	0,661	0,066	0,06	5,8	8	33,9	23,6
22/07/2021	12h15	< 10	< 10	0,01	0,48	< 0,005	0,07	8,67	8	34,2	25,7
26/07/2021	16h20	< 10	< 10	0,02	0,52	0,021	0,11	7,9	7,9	34,2	27,6
05/08/2021	10h35	< 10	< 10	< 0,01	0,46	0,009	0,09	7	8,1	34	23,5
09/08/2021	14h10	< 10	< 10	0,02	0,77	0,031	0,10	8,9	8,6	34	23,5
20/08/2021	10h30	< 10	< 10	0,03	0,889	0,031	0,03	8,6	7,8	33,9	25,1
23/08/2021	12h40	< 10	< 10	0,02	0,924	0,055	0,02	6,7	7,8	33,9	23,1
03/09/2021	12h30	< 10	< 10	0,02	0,456	0,031	0,07	9,2	8,2	33,7	21,1
09/09/2021	14h30	< 10	< 10	0,03	0,649	0,074	0,08	7,2	8	33,8	25,1
15/09/2021	09h35	< 10	< 10	0,05	0,803	0,062	0,10	6	7,8	33,8	24,6
23/09/2021	14h45	< 10	< 10	0,02	0,50	0,038	0,08	6,2	7,8	34	24,2
01/10/2021	09h10	< 10	< 10	0,02	0,79	0,033	0,05	6	7,9	34,1	20,1
08/10/2021	13h20	< 10	< 10	0,03	0,897	0,024	0,10	6,02	7,63	33,8	22,4
15/10/2021	09h30	< 10	< 10	0,01	0,59	0,012	0,05	6,9	7,9	34	20,9

## **ANNEXE 4**

### ***Résultats des levées bathymétriques 2021, différentiel 2020/2021 « petite zone »***



DIMENSION PRODUCTION INGENIERIE  
DTG

# CNPE de Gravelines Plage de Gravelines - petite zone sur la Manche

État en septembre 2021

Plan d'assemblage



Légende

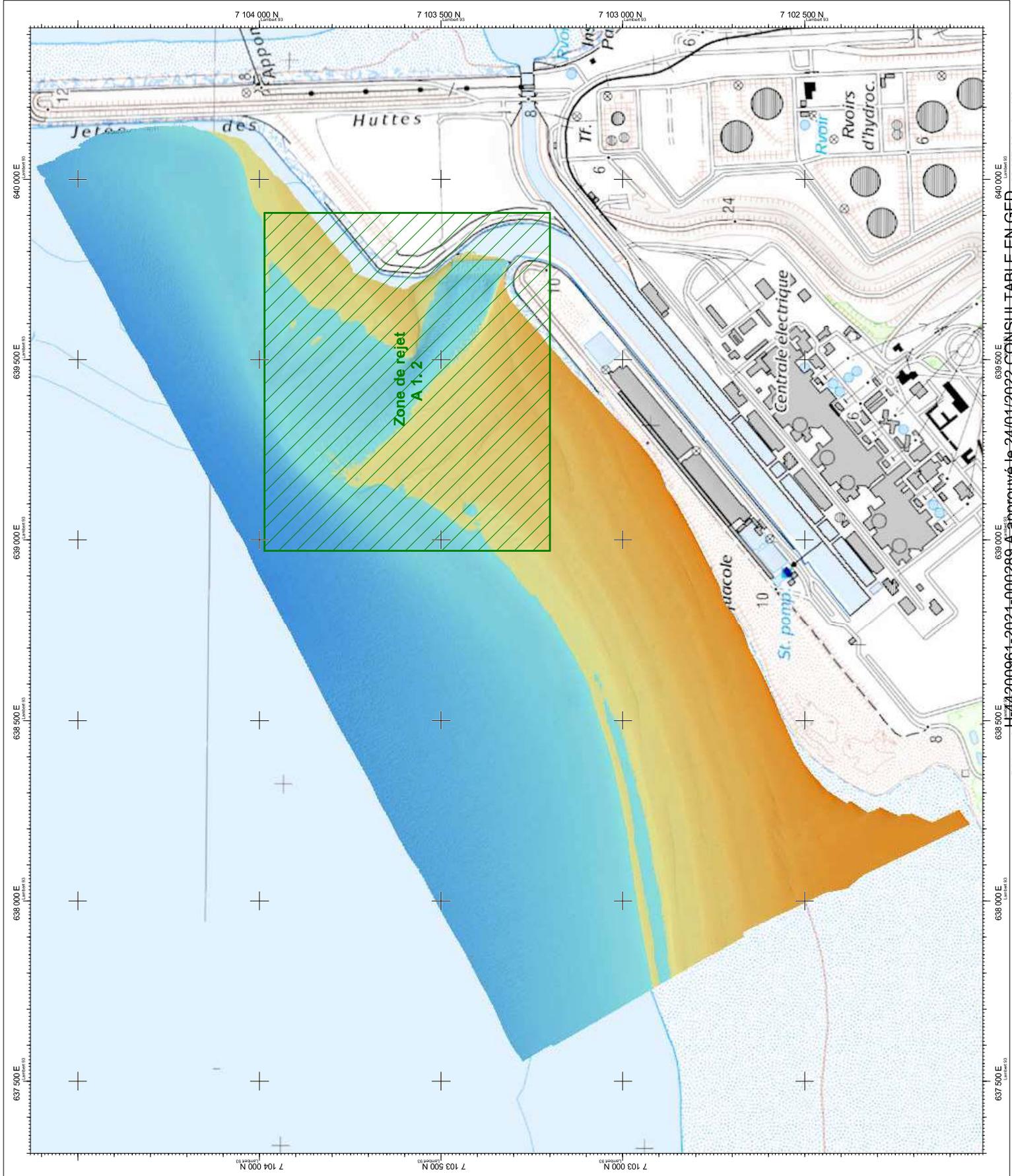
Commentaires

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

Références géographiques  
Alii. : Aucune  
Plani. : Lambert 93

Référence documentaire  
H-44200961-2021-000289  
A 0

Origine des données  
GEOxyz  
Édition du 13 décembre 2021  
Paul Veult

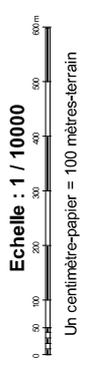
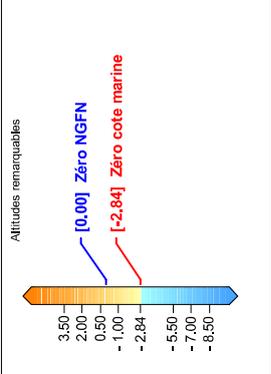
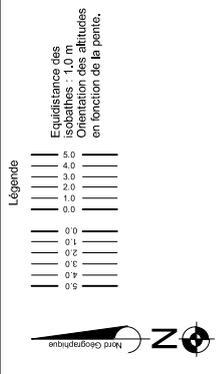


H-44200961-2021-000289 A 0 approuvé le 24/01/2022 CONSULTABLE EN LIGNE  
Édité avec Calligra 2.0 © 2011-2022 BOORHOO® et Scan25®

# CNPE de Gravelines - petite zone sur la Manche

État en septembre 2021

Principales altitudes  
Courbes isobathes



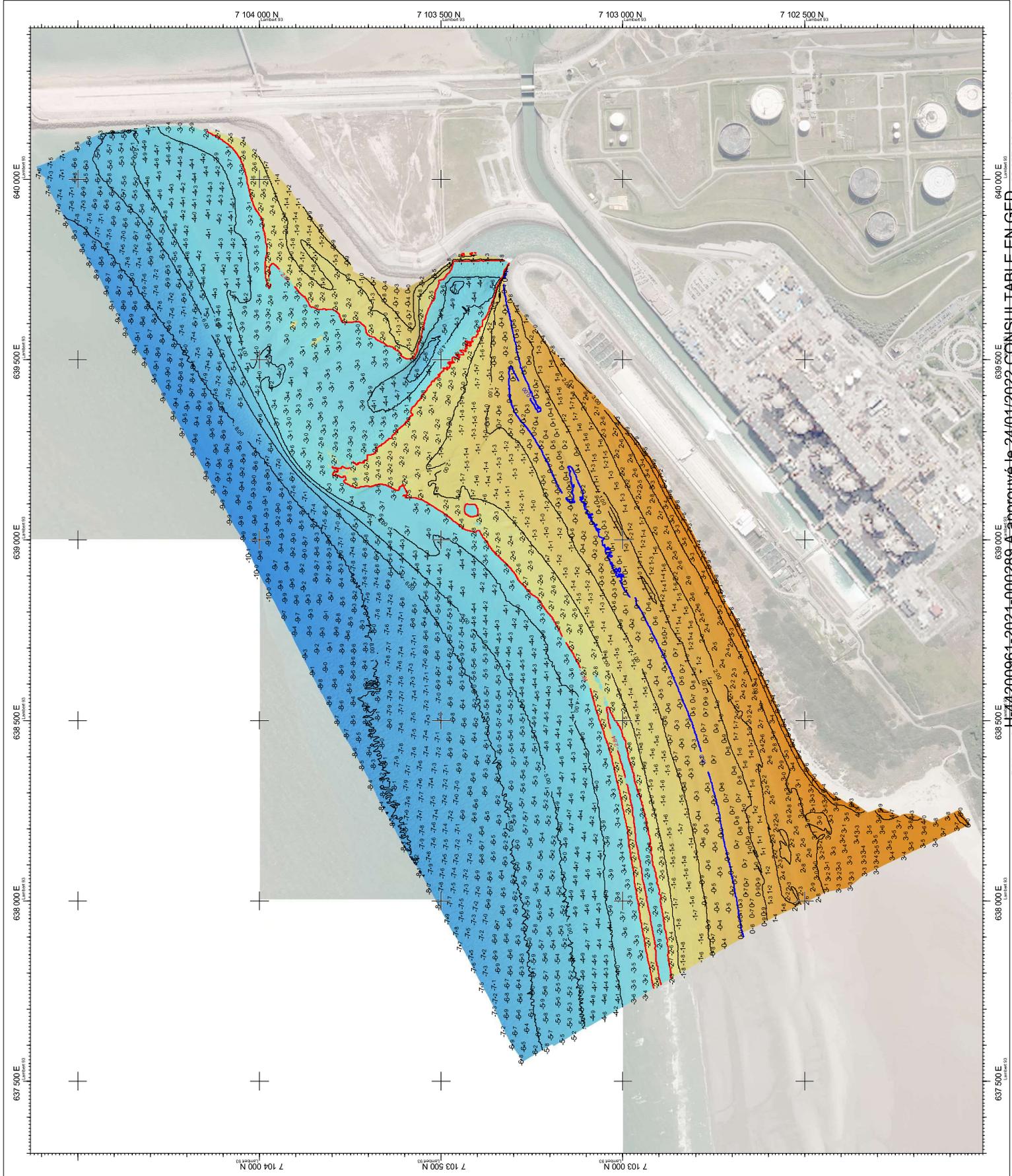
Un centimètre-papier = 100 mètres-terrain

Références géographiques  
Axi : NGF-IGN N  
Axi NGF-N = Axi CM - 2.84 m

Référence documentaire  
H-44200961-2021-000289 A 1.1

Origine des données  
GEOxyz

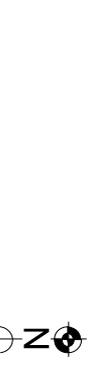
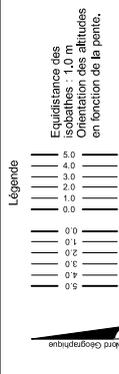
Édition du 13 décembre 2021  
Paul Valet



### CNPE de Gravelines Zone de rejet sur la Manche

État en septembre 2021

Principales altitudes  
Courbes isobathes



Echelle : 1 / 3000

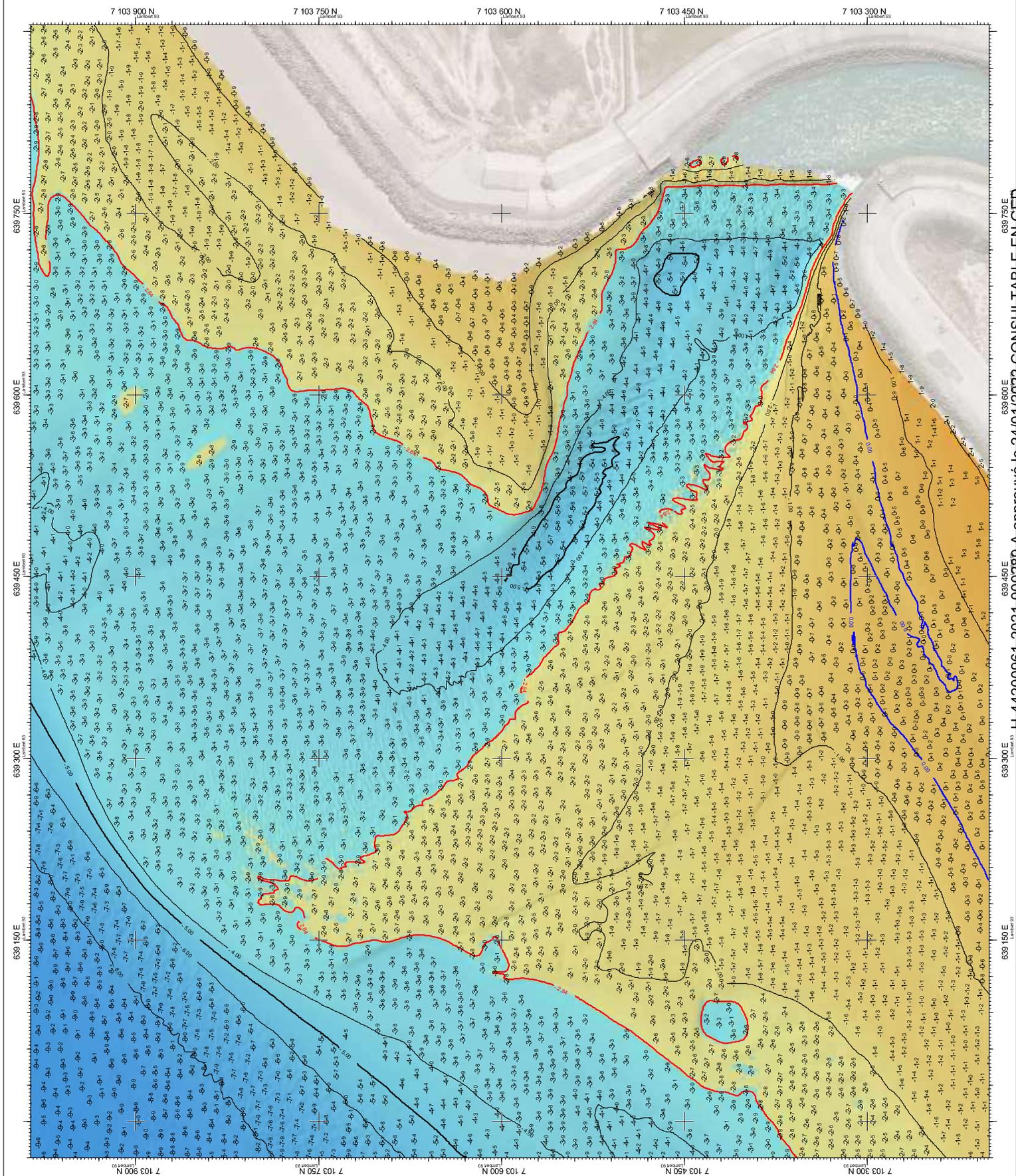
Un centimètre-papier = 30 mètres-terrain

Références géographiques  
Axi : NGF-IGN N  
Axi NGF-N = Axi CM - 2.84 m

Référence documentaire  
H-44200961-2021-000289

Origine des données  
GEOXYZ

Paul Valet  
Edition du 14 décembre 2021

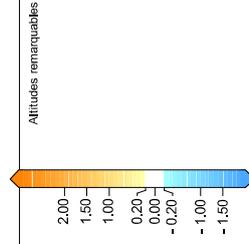
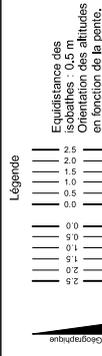




# CNPE de Gravelines - zone de rejet sur la Manche

## Évolution entre 2020 et 2021

Principales différences d'altitudes  
Courbes isobathes



Un centimètre-papier = 30 mètres-terrain

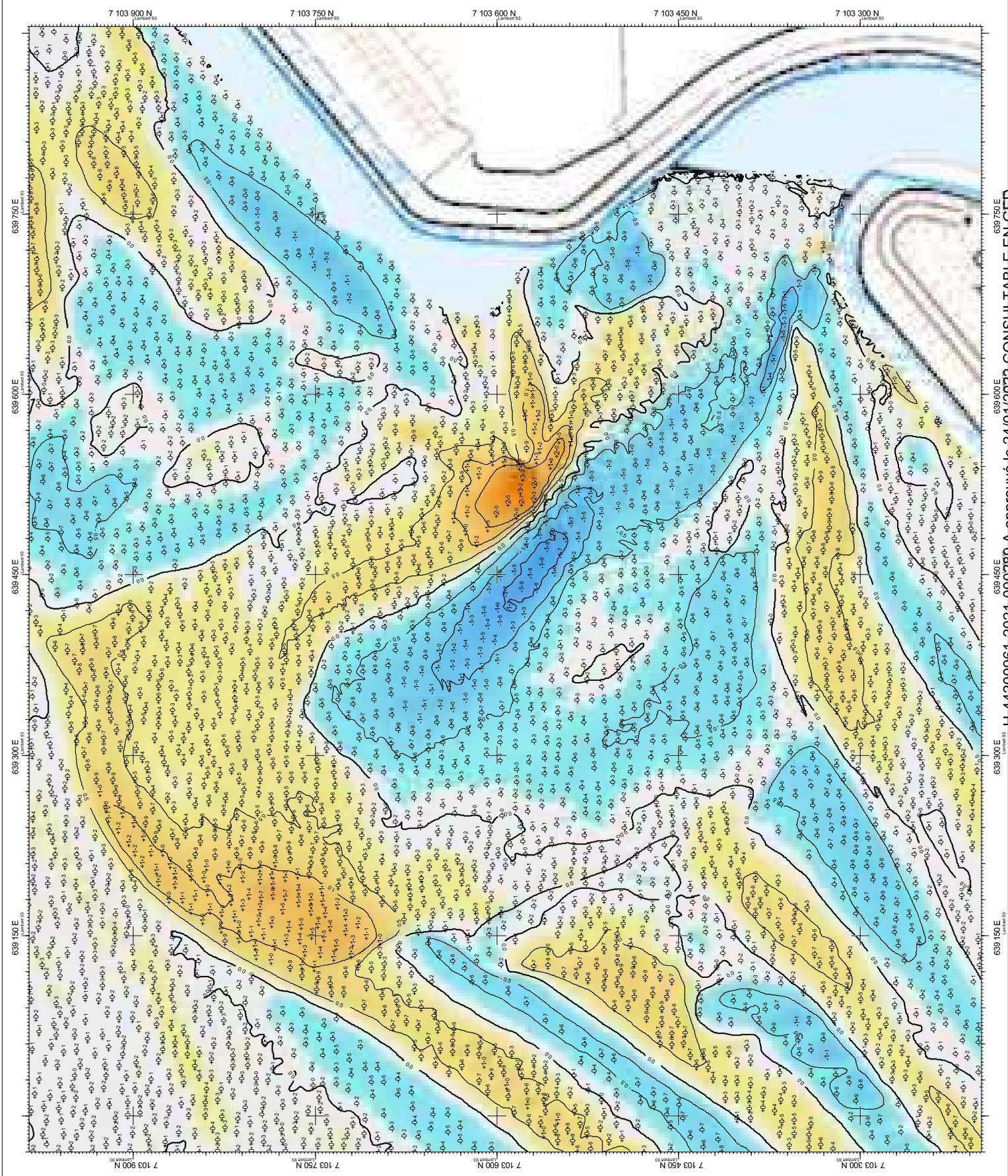
Alt. : Aucune

Références géographiques  
Plan. : Lambert 93

Référence documentaire  
H-44200961-2021-000289 A 2.2

Origine des données  
GEOxyz

Édition du 14 décembre 2021  
Paul Valet



H-44200961-2021-000289 A approuvé le 24/01/2022 CONSULTABLE EN LIGNE  
Édité avec Carillon 2021  
639 750 E  
639 450 E  
639 150 E  
7 103 900 N  
7 103 750 N  
7 103 600 N  
7 103 450 N  
7 103 300 N  
© 2022 CONSULTABLE EN LIGNE BOORHOO et Scan256

## ANNEXE 5

### ***Rapport du Prévisionnel de prélèvement et consommation d'eau et de rejets du CNPE pour l'année 2021***

Prévisionnel de prélèvement et consommation d'eau et de rejets  
pour l'année 2021 du CNPE de Gravelines

21 janvier 2021

## 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 2021 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\*, des groupes turbo-alternateurs\* 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.

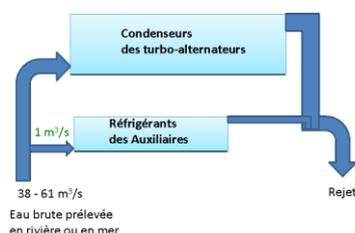


Fig. 1 Schéma simplifié d'une unité de production refroidie en circuit ouvert

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

**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 2021 :**

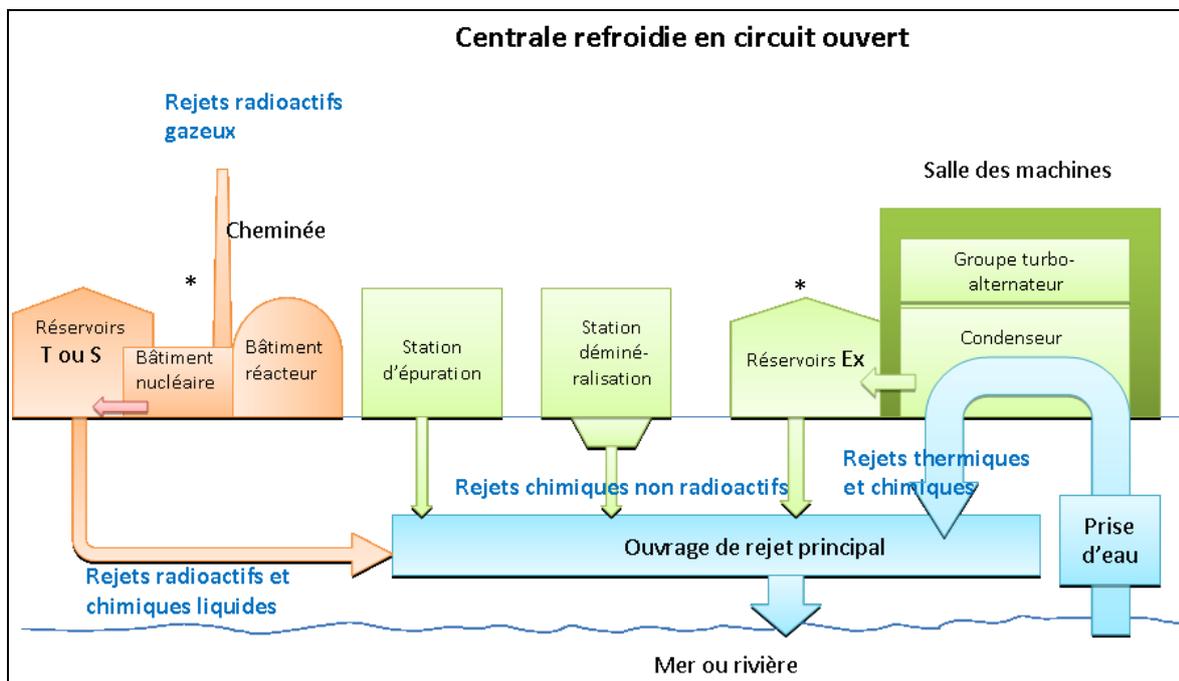
- Prélèvements en mer : **6 300 000** milliers de m<sup>3</sup>
- Prélèvements d'eaux de réseaux de distribution : **850** milliers de m<sup>3</sup>
- Prélèvements d'eau de nappe : **35** milliers de m<sup>3</sup>

## 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.

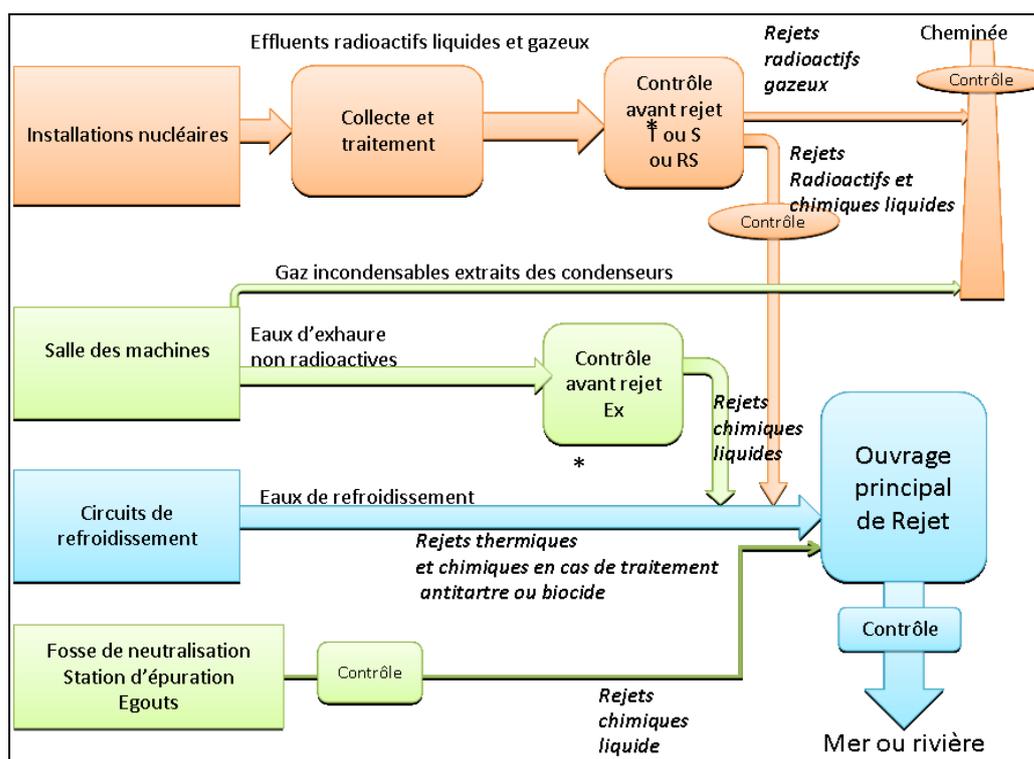
Fig. 2 Schéma de principe des circuits de rejets d'une centrale nucléaire



### 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.

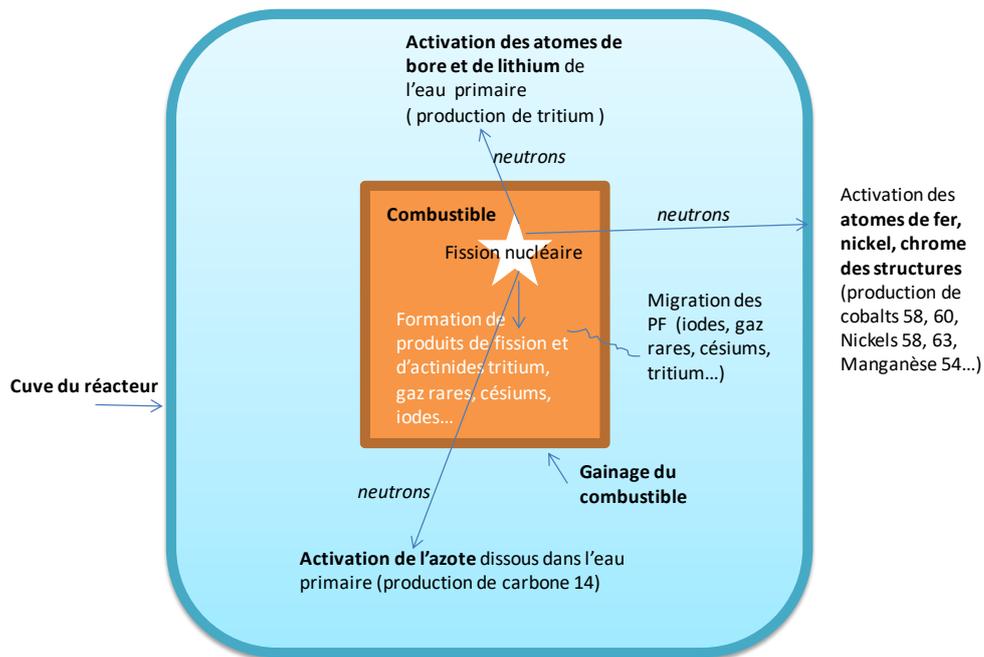
Par ces actions conjuguées, les rejets d'activité de gaz rares ont été réduits de plus d'un facteur 50 et les rejets liquides hors tritium et carbone 14 l'ont été de plus d'un facteur 100. Les rejets radioactifs ont ainsi atteint un niveau qualifié de « plancher » traduisant la volonté de l'exploitant 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 iodés 131 et 133, les césiums 134 et 137, le krypton 85, le tritium, le carbone 14, le strontium 90 restent en quasi-totalité confinés dans le combustible. Ils peuvent toutefois migrer dans l'eau du circuit primaire\*, en fonction des caractéristiques d'étanchéité du gainage du combustible, et donc se retrouver dans les effluents.
- les produits créés à l'extérieur du combustible par l'action des neutrons de fission sur les structures en acier du réacteur (cuve, tuyauteries, grappes de commandes ou sources de neutrons) ainsi que sur les éléments chimiques contenus dans l'eau du circuit primaire, tels que le bore et le lithium. On les appelle les produits d'activation (PA) dont les principaux sont les cobalts 58 et 60, le manganèse 54, l'antimoine 124, l'argent 110m mais aussi le tritium et le carbone 14.

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



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

Règles de comptabilisation des rejets radioactifs :

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

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

Impact de ces rejets radioactifs

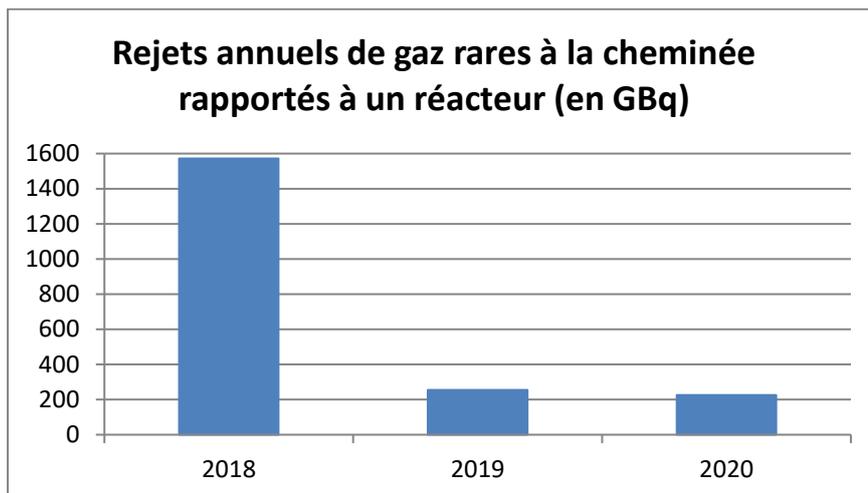
L'impact des rejets radioactifs exprimé en dose (unité : le Sievert, Sv) est calculé avec des modèles de transfert des radionucléides dans l'environnement. La personne du public la plus exposée aux rejets radioactifs du CNPE reçoit une dose de rayonnement représentant moins de 0,01 mSv par an (0,00001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

#### 4.1.1 Les rejets radioactifs gazeux

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

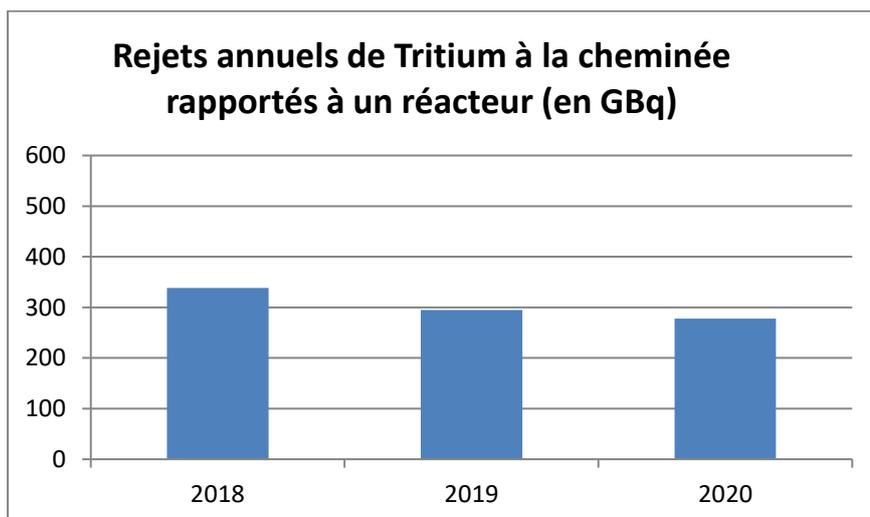
- Les gaz rares (krypton, xénon) : ce sont des gaz inertes, ils ne sont donc pas retenus par les systèmes de filtration (filtres très haute efficacité THE et pièges à iodes). Ces rejets peuvent varier en fonction des caractéristiques d'étanchéité du gainage du combustible.

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 0,1GBq/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  $\beta$  ou  $\gamma$ , présents sous forme de poussières (aérosols), sont, comme les rejets d'iodes, extrêmement faibles.

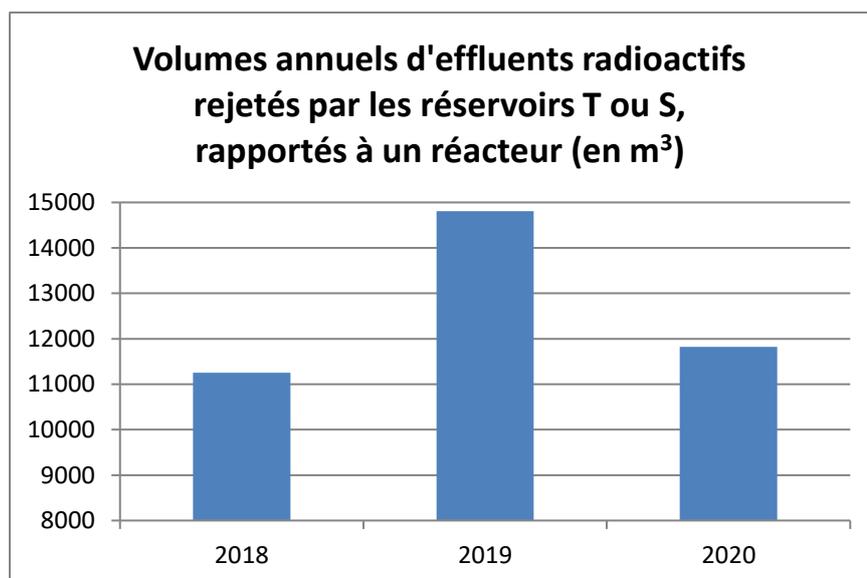
**La prévision de rejets radioactifs gazeux pour l'ensemble du site peut être évaluée de la façon suivante en tenant compte de la connaissance des caractéristiques de l'étanchéité du combustible et du programme prévisionnel de production et d'arrêt de tranche de la centrale pour l'année 2021 :**

- Rejets de gaz rares : **4500** GBq
- Rejets gazeux de tritium : **2400** GBq
- Rejets gazeux de carbone 14 : **1200** GBq
- Rejets gazeux d'iodes : **0.10** GBq
- Rejets gazeux d'autres produits de fission et d'activation<sup>1</sup> : **0.010** 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 10 000 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

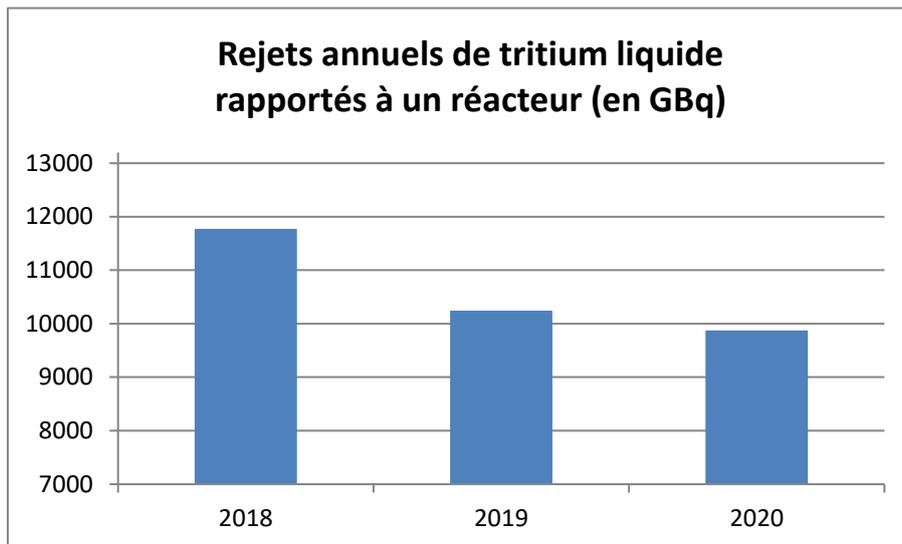


<sup>1</sup> Les radionucléides pris en compte dans les « autres produits de fission et d'activation » sont : Mn54, Co58, Ni63, Co60, Ag110m, Te123m, Sb124, Sb125, Cs134, Cs137.

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.

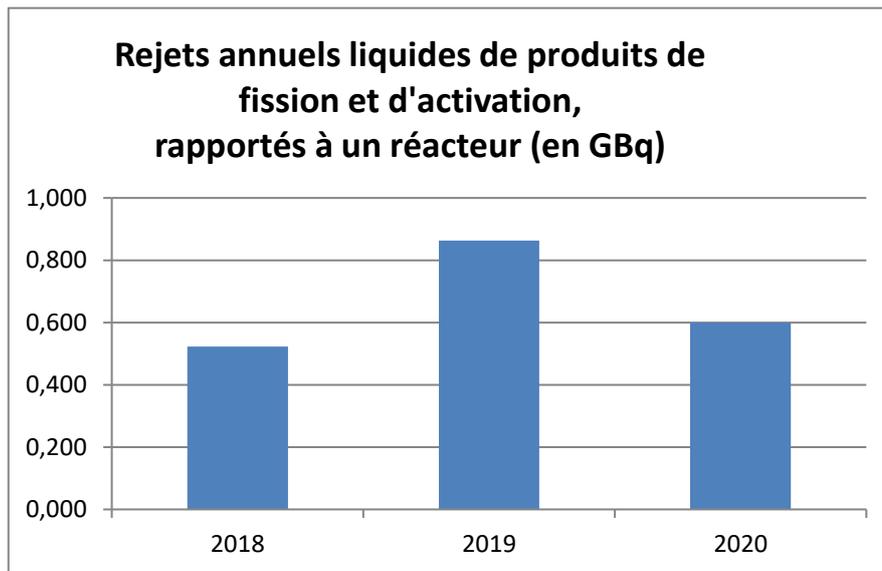
- Le tritium du circuit primaire se retrouve dans les effluents sous forme d'eau tritiée. Ne pouvant pas être éliminé par traitement contrairement à d'autres radionucléides, étant très peu radiotoxique (émetteur bêta de faible énergie) et étant présent en faible concentration, le tritium est rejeté dans 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.  
A noter que l'année 2021 sera marquée par la maintenance des trois systèmes de traitement des effluents.

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 2021 :

- Rejets liquides de tritium : **91 000** 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 : **3.3** 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.

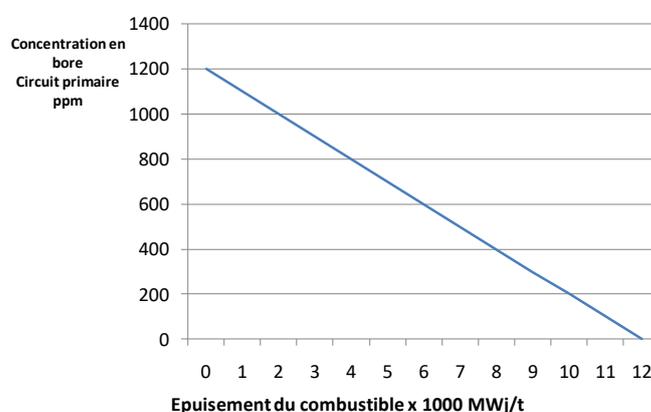
Chaque substance chimique assure une fonction bien précise tant en phase d'exploitation (contrôle de la réaction nucléaire, protection des circuits contre la corrosion, lutte contre le tartre et le développement de micro-organismes, production d'eau déminéralisée...), que lors des opérations de maintenance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

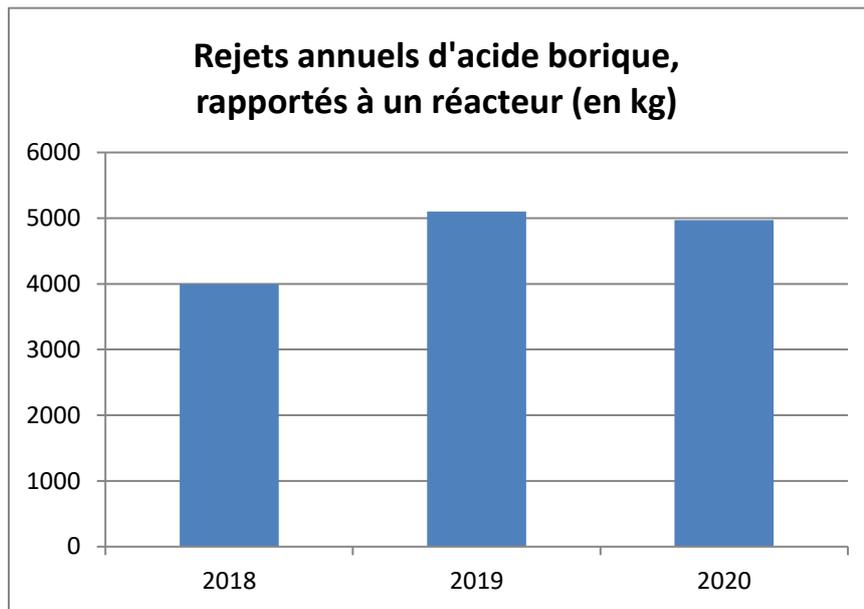
Fig. 10 Evolution de la concentration en bore en fonction de l'épuisement du combustible



*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. 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.

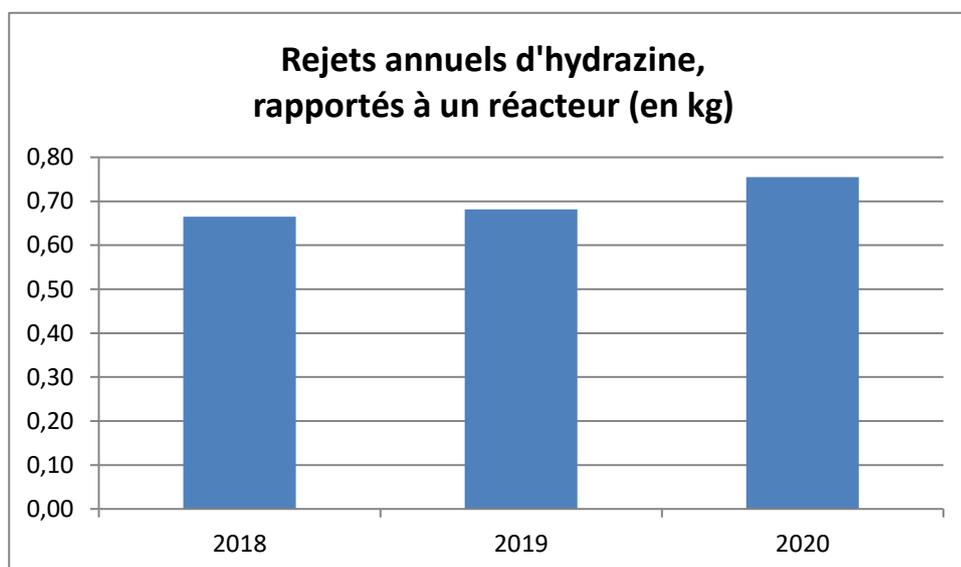
- L'hydrazine (N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) est une base faible utilisée en fonctionnement et, en arrêt de tranche, pour la conservation en eau des matériels. Elle permet de minimiser la corrosion des matériaux en réagissant avec l'oxygène dissous dans l'eau. Injectée sous forme d'hydrate d'hydrazine (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 2021 :**

Rejets issus des réservoirs T, S et Ex :

- Rejets d'acide borique : **24 000** kg
- Rejets d'hydrazine : **3,6** kg
- Rejets d'éthanolamine : **100** kg
- Rejets d'ammonium : **6000** kg
- Rejets de phosphate : **300** kg
- Rejets de détergents : **55** kg
- Rejets en métaux totaux : **100** kg
- Rejets en Aluminium : **15** kg

Rejets issus de la station de déminéralisation :

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

Rejets issus des micro-stations d'épuration :

- Rejets en Azote Kjeldhal : **700** kg
- Rejets en phosphates : **400** 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 2021 CNPE de Gravelines

### Prélèvements en eau :

- Prélèvements en mer : **6 300 000** 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 : **35** milliers de m<sup>3</sup>

### Rejets radioactifs gazeux :

- Rejets de gaz rares : **4500** GBq
- Rejets gazeux de tritium : **2400** GBq
- Rejets gazeux de carbone 14 : **1200** GBq
- Rejets gazeux d'iodes : **0.10** GBq
- Rejets gazeux d'autres produits de fission et d'activation : **0.010** GBq

### Rejets radioactifs liquides :

- Rejets liquides de tritium : **91 000** 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 : **3.3** GBq

### Rejets chimiques issus des réservoirs T, S et Ex :

- Rejets d'acide borique : **24 000** kg
- Rejets d'hydrazine : **3.6** kg
- Rejets d'éthanolamine : **100** kg
- Rejets d'ammonium : **6000** kg
- Rejets de phosphate : **300** kg
- Rejets de détergents : **55** kg
- Rejets en métaux totaux : **100** kg
- Rejets en Aluminium : **15** kg

### Rejets chimiques issus de la station de déminéralisation :

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

### Rejets chimiques issus des micro-stations d'épuration :

- Rejets en Azote Kjeldhal : **700** kg
- Rejets en phosphates : **400** kg

### Rejets chimiques issus du traitement biocide du circuit de refroidissement :

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

## Lexique

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

**Biocide** : substance chimique capable de détruire la biomasse pathogène.

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

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

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

**Effluent** : eau résiduaire urbaine ou industrielle.

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

**Isotope** : forme différente d'un atome.

**Radionucléide** : élément chimique possédant une radioactivité naturelle ou artificielle.

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

**Réservoir RS** : réservoir TEG = réservoir des effluents gazeux.

**Réservoir S** : réservoir TER = réservoir de santé.

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

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



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

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