

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

Gravelines

2020

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

SOMMAIRE

<i>Partie I - Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité de Gravelines en 2020</i>	4
I. Contexte	4
II. Le CNPE de Gravelines	4
III. Modifications apportées au voisinage du CNPE de Gravelines	5
IV. Évolutions scientifiques susceptibles de modifier l'étude d'impact	5
V. Bilan des incidents de fonctionnement et des événements significatifs pour l'environnement	6
<i>Partie II - Prélèvements d'eau</i>	9
I. Prélèvement d'eau destinée au refroidissement	10
II. Prélèvement d'eau destinée à l'usage industriel	11
III. Prélèvement d'eau destinée à l'usage domestique	12
IV. Valeurs limites et maintenance	13
<i>Partie III – Restitution et consommation d'eau</i>	14
I. Restitution d'eau	14
II. Consommation d'eau	14
<i>Partie IV - Rejets d'effluents</i>	15
I. Rejets d'effluents à l'atmosphère	15
II. Rejets d'effluents liquides	23
III. Rejets thermiques	45
<i>Partie V - Surveillance de l'environnement</i>	48
I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement	48
II. Physico-chimie des eaux souterraines	56
III. Chimie et physico-chimie des eaux de surface	57
IV. Surveillance écologique et halieutique	58
V. Levées topographiques et bathymétriques	66
VI. Acoustique environnementale	67
<i>Partie VI - Évaluation de l'impact environnemental et sanitaire des rejets de l'installation</i>	68

Partie VII - Gestion des déchets	72
I. Les déchets radioactifs	72
II. Les déchets non radioactifs	76
ABREVIATIONS	78

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 2019 (IRSN)

ANNEXE 3 – Résultats de la campagne estivale 2020 de contrôle des eaux du canal d'amenée et du canal de rejet

ANNEXE 4 – Résultats des levées bathymétriques 2020, différentiel 2019/2020 « petite zone » et 2017/2020 « grande zone »

ANNEXE 5 – Rapport du Prévisionnel de prélèvement et consommation d'eau et de rejets du CNPE pour l'année 2020

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

I. Contexte

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

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

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

En application de l'article 4.4.4 de l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base, ce document présente le bilan de l'année 2020 du CNPE de Gravelines en matière d'environnement.

II. Le CNPE de Gravelines

Le CNPE 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 2020, le parc nucléaire français a produit 335 milliards de kWh (335 TWh). La centrale de Gravelines a, quant à elle, produit 32,6 milliards de kWh, soit près de 10% de la production nucléaire française d'EDF.

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

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

Les installations nucléaires de Gravelines sont placées sous la responsabilité d'un directeur, avec l'appui d'une équipe de direction. Le CNPE de Gravelines emploie en moyenne 2 000 salariés EDF dont plus de 100 alternants et fait 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 ; à partir du canal qui amène l'eau froide à la centrale. 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.

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 2020, aucune modification notable au voisinage du CNPE de Gravelines n'a été identifiée.

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

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

- les Valeurs Toxicologiques de Référence pour l'impact sanitaire sur l'Homme, valeurs sélectionnées selon les critères définis dans la note d'information n°DGS/EA/DGPR/2014/307 du 31/10/2014,
- les valeurs seuils ou valeurs guides issues des textes réglementaires ou des grilles de qualité d'eau, les données écotoxicologiques, en particulier les PNEC (Predicted No Effect Concentration), et les études testant la toxicité et l'écotoxicité des effluents CRT, pour l'analyse des incidences sur l'environnement. A noter que les PNEC sont validées

par la R&D d'EDF après revue bibliographique exhaustive et, si nécessaire, réalisation de tests écotoxicologiques commandités par EDF et réalisés selon les normes OCDE et les Bonnes Pratiques de Laboratoire.

L'ensemble de ces évolutions scientifiques est intégré dans les études d'impact.

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

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

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

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

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

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

1. Bilan des évènements significatifs pour l'environnement déclarés

En 2020, le CNPE de Gravelines a déclaré 4 Événements Significatifs Environnement (ESE) à l'Autorité de Sûreté Nucléaire (pour 9 en 2019, 11 en 2018, 4 en 2017, 6 en 2016, 2 en 2015).

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

Typologie	Date	Évènement dont impact sur l'environnement	Principales actions correctives
ESE2	26/02/2020 (dernier indice le 31/03/2020)	Dépassement du seuil de concentration de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) en aval du mini-bloc n°5	<p>Isoler le Mini-Bloc n° 5 pour éviter des rejets vers SEO.</p> <p>Intégrer le suivi des paramètres selon les débits dans le CCTP (en lien avec l'AC n° 2 de l'ESE n° 19002).</p> <p>Intégrer le suivi des paramètres selon les débits dans le programme de surveillance (en lien avec l'AC n° 3 de l'ESE n° 19002).</p>
ESE9	20/03/2020 (dernier indice le 23/07/2020)	Présence d'effluents tritiés dans le caniveau de tuyauterie KER, à des activités supérieures à 10 000 Bq/L	Réinterroger la décision de vérifier uniquement la partie visible en Salle des Pompes de la tuyauterie.
ESE6	31/03/2020	Cumul annuel des émissions de gaz SF6 supérieur à 100kg sur l'année 2020.	<p>Réaliser une formation réactive des chargés d'affaire et chargés de réparation sur le processus de modification (élaboration FACR + NACR).</p> <p>Réaliser un état des lieux des autres tranches EDF concernées par des moyens d'appoints aux compartiments F du GEV similaires, et créer des TOT pour contrôle état général et dépose de ces flexibles sur les prochains AT (soldée).</p> <p>Etudier avec l'entreprise prestataire une alternative pour pouvoir réaliser des appoints SF6 aux compartiments F des postes GEV depuis le sol permettant de s'affranchir de la problématique de différence de potentiel (nouvelle modification de l'installation) (soldée).</p> <p>Réaliser la dépose des flexibles sur les tranches concernées (tranches 2/4/6) (soldée).</p> <p>Demander à l'entreprise prestataire de présenter son plan d'actions suite au fortuit rencontré (soldée).</p> <p>Réaliser un suivi de tendance du bilan SF6 lors des ROP MPE (Menaces et Performances d'Exploitation) (soldée).</p> <p>Rédiger un CCTP pour une prestation d'intervention pour le confinement des fuites de SF6 sur le CNPE de Gravelines (soldé).</p> <p>Elaborer un marché local, en lien avec le service Achats, pour une prestation d'intervention pour le confinement des fuites de SF6 sur le CNPE de Gravelines (définie dans le rapport d'ESE RE 00 19 001) (soldée).</p> <p>Créer les OT et planifier avec le service S3P les activités de réduction/résorption de fuites, pour</p>

Typologie	Date	Évènement dont impact sur l'environnement	Principales actions correctives
			<p>lesquelles la solution technique a été identifiée et retenue (définie dans le rapport d'ESE RE 00 18 007) (soldée).</p> <p>Identifier, pour chaque fuite de SF6, avec les parties prenantes concernées (MTE, S3P, Conduite...) la solution à retenir, parmi les solutions techniques étudiées avec les entreprises spécialisées, et la planifier (définie dans le rapport d'ESE RE 00 18 007) (soldée).</p>
ESE2	24/06/2020 (dernier indice le 30/07/2020)	Dépassement de la limite de concentration maximale autorisée en hydrocarbures, lors du rejet des effluents en sortie de l'émissaire B2 (8SEO)	<p>Réaliser une action de sensibilisation sur le thème environnement à destination de l'ensemble des agents du CNPE de Gravelines afin de rappeler l'organisation à respecter en cas de déversement susceptible d'atteindre le réseau SEO.</p> <p>Fournir au service PCE environnement un échantillon des huiles utilisées dans l'exploitation des tranches (capacité d'huile présente sur l'installation).</p> <p>Etablir une base de données des hydrocarbures industriels du site pour permettre de déterminer l'origine en cas de dépassement.</p> <p>Mettre en place un système d'éclairage dans les fosses SEO. (Action défini lors de l'ESE 08 19 002).</p> <p>Transmettre aux services centraux le REX de cet évènement afin d'étudier la possibilité de mise en œuvre d'une solution technique de détection d'hydrocarbures en amont des rejets des fosses de relevage « eaux propres » SEO.</p>

2. Bilan des incidents de fonctionnement

Le CNPE de Gravelines a eu, durant l'année 2020, des matériels indisponibles tels que les dispositifs de traitement des effluents radioactifs des tranches 8 et 9, en raison de 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.

En mars 2020, le CNPE de Gravelines a observé un défaut d'étanchéité d'une tuyauterie KER (transfert d'effluents du Bâtiment des Auxiliaires Nucléaires vers les réservoirs KER de contrôle des effluents avant rejet). Une première réparation de la tuyauterie a été réalisée en avril 2020. En juin un second défaut a été constaté nécessitant une nouvelle réparation sur cette tuyauterie. Celle-ci a été réalisée en mars 2021. Néanmoins, ces inétanchéités n'ont pas eu d'impact sur l'environnement. En effet les tuyauteries KER cheminent dans des caniveaux étanches garantissant le confinement des effluents. Ceux-ci ont été collectés et orientés vers le circuit adapté. Ces défauts ont fait l'objet de la déclaration d'un ESE (cf. Partie I - §V – 1).

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 est totalement ouvert. De l'eau (environ 40 m³ par seconde) est prélevée pour assurer le refroidissement des équipements via le condenseur. Une fois l'opération de refroidissement effectuée, l'eau qui n'est jamais entrée en contact avec la radioactivité, est intégralement restituée dans la mer, à une température légèrement plus élevée.

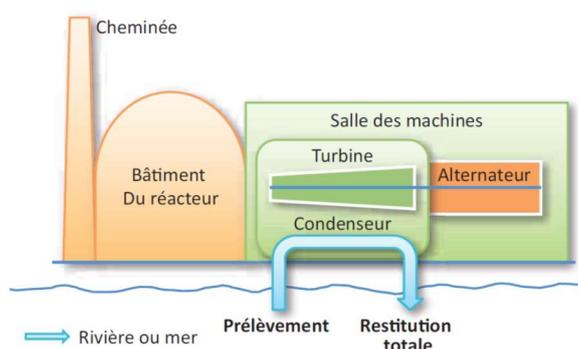


Figure 1 : Schéma d'un CNPE avec un circuit de refroidissement ouvert (Source : EDF)

Annuellement, en moyenne, le volume d'eau nécessaire au fonctionnement du circuit de refroidissement d'un réacteur du CNPE de Gravelines est compris autour d'un milliard de mètres cubes soit un besoin de 160 litres d'eau prélevés pour produire 1 kWh.

Que les tranches du CNPE soient en fonctionnement ou à l'arrêt, la très grande majorité de l'eau prélevée 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 alors très importants, 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

1. Cumul mensuel

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel du prélèvement dans la mer du Nord de l'année 2020.

	Prélèvement d'eau (en millions de m ³)
Janvier	613,11
Février	608,63
Mars	617,23
Avril	527,43
Mai	633,47
Juin	468,77
Juillet	503,92
Août	524,91

	Prélèvement d'eau (en millions de m ³)
Septembre	456,13
Octobre	454,37
Novembre	376,18
Décembre	583,75
TOTAL	6 367,92

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

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

Année	Milieu	Volume (en millions de m ³)
2018	Eaux marines	6 777,15
2019		6 213,65
2020		6 367,92
Prévisionnel 2020		6 900

Commentaires :

Le volume annuel d'eau prélevé est cohérent au prévisionnel qui avait été défini pour l'année 2020, compte tenu du temps effectif de fonctionnement des tranches

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

1. Cumul mensuel

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel d'eau industrielle consommée en 2020, issue du réseau.

	Consommation d'eau (en m ³)
Janvier	81 391
Février	81 648
Mars	68 820
Avril	66 516
Mai	76 986
Juin	84 152
Juillet	79 637
Août	53 151
Septembre	57 368
Octobre	84 913
Novembre	76 195
Décembre	62 224
TOTAL	873 001

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

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

Année	Milieu	Volume (en m ³)
2018	Réseau d'eau industrielle	799 783
2019		775 002
2020		873 001
Prévisionnel 2020		850 000

Commentaires :

Le volume annuel d'eau prélevé a légèrement dépassé le prévisionnel (2,7%), mais reste cohérent au prévisionnel qui avait été défini pour l'année 2020, compte tenu du temps effectif de fonctionnement des tranches.

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

1. Cumul mensuel

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel d'eau potable consommée en 2020.

	Prélèvement d'eau (en m ³)
Janvier	5 333
Février	4 118
Mars	4 820
Avril	5 226
Mai	3 770
Juin	4 619
Juillet	4 867
Août	5 194
Septembre	5 199
Octobre	5 225
Novembre	5 392
Décembre	4 864
TOTAL (en m³)	58 627

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

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

Année	Milieu	Volume (milliers de m ³)
2018	Réseau d'eau potable	139 982
2019		76 809
2020		58 967
Prévisionnel 2020		-

Commentaires :

Le volume annuel d'eau potable consommé a diminué en 2020 suite à la réparation de fuites sur le réseau de distribution interne du CNPE de Gravelines.

IV. Valeurs limites et maintenance

1. 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 :

Limite	Prélèvement	Limite	Prélèvement	Limite	Prélèvement
Volume maximal annuel (m ³)	Volume annuel (m ³)	Volume maximal journalier (m ³)	Volume maximal journalier (m ³)	débit maximal instantané (m ³ /h)	débit maximal (m ³ /h)
35 000	0	2 160	0	90	0,0

Commentaires :

En 2020, aucune opération de prélèvement en nappe n'a été réalisée.

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

L'année 2020 n'a pas été concernée par des actions de maintenance (hors maintenance programmée) et aucune intervention ou opération de maintenance anticipée n'ont été nécessaires.

3. Opérations exceptionnelles de prélèvements

Le CNPE de Gravelines n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de prélèvement d'eau en 2020.

Partie III – Restitution et consommation d'eau

I. Restitution d'eau

La restitution d'eau du CNPE de Gravelines pour l'année 2020 est présentée dans le tableau ci-dessous.

		Eau de refroidissement	Rejet radioactifs	Rejets industriels	Unité
Restitution mensuelle	Janvier	613 113 387	5 795	39 636	m ³
	Février	608 632 897	5 299	56 017	
	Mars	617 231 005	6 493	49 795	
	Avril	527 426 201	7 058	36 066	
	Mai	633 469 719	5 239	41 785	
	Juin	468 770 399	8 956	53 635	
	Juillet	503 920 448	3 935	46 930	
	Août	524 914 588	5 763	49 903	
	Septembre	456 129 875	5 618	38 491	
	Octobre	454 369 652	4 532	71 142	
	Novembre	376 183 764	5 659	48 741	
	Décembre	583 754 079	6 570	53 877	
TOTAL	Restitution globale	6 368 572 947			m ³
	Pourcentage de restitution d'eau globale par rapport au prélèvement	99,996			%

II. Consommation d'eau

1. Cumul mensuel

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 2020.

	Consommation d'eau (en m ³)
Janvier	41 294
Février	24 450
Mars	17 352
Avril	28 618
Mai	33 732
Juin	26 181
Juillet	33 639
Août	2 679
Septembre	18 458
Octobre	14 464
Novembre	27 187
Décembre	6 642
TOTAL (en m³)	274 694

Partie IV - Rejets d'effluents

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

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

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

Les rejets d'effluents se présentent sous différentes formes :

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

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

I. Rejets d'effluents à l'atmosphère

1. Rejets d'effluents à l'atmosphère radioactifs

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

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

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

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

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

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

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

a. Règles spécifiques de comptabilisation

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

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

radionucléides dont l'activité mesurée est inférieure au seuil de décision¹ donnent lieu à une comptabilisation d'activité rejetée égale au SD.

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

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

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

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

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

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

c. Cumul mensuel

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

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

	Gaz rares					Iodes		Autres produits de fission ou d'activation			
	⁴¹ Ar (GBq)	⁸⁵ Kr (GBq)	^{131m} Xe (GBq)	¹³³ Xe (GBq)	¹³⁵ Xe (GBq)	¹³¹ I (GBq)	¹³³ I (GBq)	⁵⁸ Co (GBq)	⁶⁰ Co (GBq)	¹³⁴ Cs (GBq)	¹³⁷ Cs (GBq)
Janvier	7,14	0,21	0,00	80,83	16,72	0,001	0,007	0,00009	0,00013	0,00008	0,00011
Février	4,47	0,16	0,04	70,21	18,27	0,002	0,005	0,00009	0,00011	0,00007	0,00008
Mars	3,69	0,04	0,00	74,64	16,76	0,005	0,003	0,00007	0,00009	0,00005	0,00007
Avril	8,52	0,38	0,06	42,19	11,11	0,003	0,003	0,00007	0,00010	0,00007	0,00008
Mai	4,21	0,02	0,00	44,17	11,59	0,000	0,002	0,00009	0,00012	0,00008	0,00009
Juin	4,61	0,06	0,02	71,19	11,32	0,001	0,003	0,00008	0,00013	0,00007	0,00008
Juillet	4,20	0,29	0,09	269,00	21,24	0,001	0,011	0,00012	0,00015	0,00010	0,00012
Août	5,22	0,12	0,36	137,80	15,26	0,001	0,002	0,00010	0,00014	0,00008	0,00010
Septembre	3,68	0,58	0,22	117,70	12,60	0,001	0,003	0,00007	0,00011	0,00006	0,00008
Octobre	3,39	0,15	95,26	45,50	13,77	0,000	0,002	0,00010	0,00013	0,00008	0,00011
Novembre	2,10	1,02	0,09	38,61	15,29	0,001	0,003	0,00009	0,00012	0,00008	0,00011
Décembre	5,61	0,26	0,00	34,02	13,00	0,002	0,002	0,00020	0,00034	0,00018	0,00022
TOTAL ANNUEL	56,86	3,28	96,14	1025,86	176,93	0,018	0,045	0,00117	0,00166	0,00100	0,00125
	1 359,08 GBq					0,063 GBq		0,00508 GBq			

	Activités gaz rares (GBq)	Activité Tritium (GBq)	Activités Iodes (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Volumes rejetés (m ³)
Janvier	104,90	108,60	0,007	0,0004	170	6,61.10 ⁸
Février	93,16	82,47	0,007	0,0003		5,91.10 ⁸
Mars	95,13	80,36	0,008	0,0003		6,35.10 ⁸
Avril	62,26	113,80	0,006	0,0003	333	6,35.10 ⁸
Mai	59,99	111,20	0,003	0,0004		6,40.10 ⁸
Juin	87,20	188,10	0,003	0,0004		6,23.10 ⁸
Juillet	294,80	192,30	0,011	0,0005	257	6,61.10 ⁸
Aout	158,80	224,60	0,003	0,0004		6,31.10 ⁸
Septembre	134,80	216,50	0,004	0,0003		6,54.10 ⁸
Octobre	158,10	134,10	0,003	0,0004	141	6,80.10 ⁸
Novembre	56,62	104,10	0,003	0,0004		6,66.10 ⁸
Décembre	53,32	111,10	0,004	0,0009		6,70.10 ⁸
TOTAL ANNUEL	1 359,08	1 667,23	0,063	0,0051	901	7,75.10 ⁹

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

Il a été vérifié que les rejets au niveau des cheminées annexes ne présentent pas d'activité volumique bêta globale d'origine artificielle supérieure à 1.10⁻³ Bq/m³.

d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

Année	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)				
	Gaz rares	Tritium	Carbone 14	Iodes	Autres produits de fission et d'activation
2018	9 437	2 031	1 123	0,050	0,011
2019	1 530	1 770	1 024	0,075	0,006
2020	1 359	1 667	901	0,063	0,005
Prévisionnel 2020	4 500	2 400	1 200	0,100	0,010

Commentaires :

Les rejets radioactifs à l'atmosphère sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2020. Le prévisionnel concernant les gaz rares prenait en compte une suspicion de défaut de gainage combustible en tranche 1. Ce défaut a finalement eu peu d'impact sur les rejets d'iodes et de gaz rares.

e. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2020 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n°2018-DC-0646.

Paramètres	Localisation prélèvement	Limites annuelles de rejet		Rejet	
		Prescriptions	Valeur	Valeur maximale	Valeur totale
Gaz rares	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	108 000		1 359,08
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^7$	$1,48 \cdot 10^6$	
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^7$	$5,90 \cdot 10^5$	
	Cheminée n° 3	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^7$	$1,22 \cdot 10^6$	
Carbone 14	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	3 300		0
Tritium	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	12 000		1 667,23
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^6$	$4,76 \cdot 10^4$	
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^6$	$4,38 \cdot 10^4$	
	Cheminée n° 3	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^6$	$2,92 \cdot 10^4$	
Iodes	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	2,4		0,06
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^2$	2,97	
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^2$	4,30	
	Cheminée n° 3	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^2$	13,5	
Autres produits de fission et produits d'activation	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	2,4		0,01
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^2$	0,19	
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^2$	0,19	
	Cheminée n° 3	Débit instantané (Bq/s)	$3,3 \cdot 10^2$	0,21	

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 2020.

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

Les rejets radioactifs diffus ont notamment pour origine :

- les événements de réservoirs d'entreposage des effluents radioactifs (T, S), 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'eau de refroidissement des piscines et d'entreposage des effluents liquides	
	Tritium (MBq)	Iodes (Bq)	Tritium (MBq)	Iodes (Bq)
Janvier	0,00	0,00	114,86	0,00
Février	0,00	0,00	75,59	0,00
Mars	0,00	0,00	46,11	0,00
Avril	0,00	0,00	109,76	0,00
Mai	0,00	0,00	84,02	0,00
Juin	27,36	0,00	79,00	0,00
Juillet	0,00	0,00	51,76	0,00
Août	11,04	0,00	63,90	0,00
Septembre	0,00	0,00	115,24	0,00
Octobre	0,00	0,00	63,03	0,00
Novembre	0,00	0,00	32,37	0,00
Décembre	187,20	0,00	77,14	0,00
TOTAL ANNUEL	225,60	0,00	912,78	0,00

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

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

- Le lessivage chimique des générateurs de vapeur : l'encrassement des générateurs de vapeur peut nécessiter un lessivage chimique à l'origine de rejets chimiques à l'atmosphère (ammoniac...) qui nécessitent une autorisation administrative ; ces rejets sont, soit mesurés, soit estimés par calcul en fonction des quantités de produits chimiques utilisés.
- Les émissions des groupes électrogènes de secours : les groupes électrogènes de secours composés de moteurs diesel, les Turbines à Combustion (TAC) et les Diesels d'Ultime Secours (DUS) fonctionnant au gazoil sont destinés uniquement à alimenter

des systèmes de sécurité et/ou à prendre le relais de l'alimentation électrique principale en cas de défaillance de celle-ci. Ils ont donc un rôle majeur en termes de sûreté nucléaire. Les émissions des gaz de combustion (SO₂, NO_x) de ces matériels de petites puissances sont faibles sachant qu'ils ne fonctionnent que peu de temps (moins de 50 h/an par diesel) lors des essais périodiques ou d'incidents.

- Les émissions de fluides frigorigènes. En effet, un CNPE est équipée de groupes frigorifiques pour assurer la production d'eau glacée et pour la réfrigération des locaux techniques et administratifs. Ces matériels utilisent des produits pouvant accroître l'effet de serre. Le fonctionnement des matériels et les opérations de maintenance conduisent à des émissions de fluides 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_x) et d'azote (NO_x) rejetée dans l'atmosphère lors du fonctionnement périodique des groupes électrogènes de secours (moteurs Diesels) ayant fonctionné pendant 310 heures, et des diesels d'ultime secours (DUS) ayant fonctionné pendant 188 heures, au total sur les 6 tranches pour 2020 est de :

Paramètre	Unité	Groupes électrogènes	DUS	TOTAL
SO _x	kg	3	3	6
NO _x	kg	31 522	20 358	51 880

Commentaires :

Quatre DUS ont été mis en service en 2019, et deux en 2020. Les temps de fonctionnement prennent en compte les essais de mise en service.

b. Rejets de formaldéhyde et de monoxyde de carbone

En 2020, 60 m³ de calorifuges dans les enceintes des bâtiments réacteurs ont été renouvelés. Ce volume donne une estimation des concentrations maximales ajoutées dans l'atmosphère.

Concentration calculée	Unité	Paramètres	EBA	ETY
Concentration maximale ajoutée dans l'atmosphère	mg/m ³	Formaldéhyde	6,57.10 ⁻³	1,56.10 ⁻⁴
		Monoxyde de carbone	6,14.10 ⁻³	1,45.10 ⁻⁴

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

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

Paramètre	Unité	TOTAL
Ammoniac	kg	655
Ethanolamine		37,5

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

Un bilan des émissions de gaz à effet de serre et de fluides frigorigènes est réalisé annuellement par le CNPE de Gravelines.

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

Paramètre	Unité	TOTAL
Hydrogéo-fluoro-carbone (HFC)	kg	25,1
Hexafluorure de soufre (SF6)		200,1

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

L'année 2020 n'a pas été concernée par des actions de maintenance (hors maintenance programmée) et aucune intervention ou opération de maintenance anticipée n'ont été nécessaires.

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

Le CNPE de Gravelines n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de rejets d'effluents à l'atmosphère en 2020.

II. Rejets d'effluents liquides

1. Rejets d'effluents liquides radioactifs

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

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

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

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

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

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

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

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

a. Règles spécifiques de comptabilisation

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

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

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

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

c. Cumul mensuel

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

	⁵⁴ Mn (MBq)	⁵⁸ Co (MBq)	⁶⁰ Co (MBq)	^{110m} Ag (MBq)	^{123m} Te (MBq)	¹²⁴ Sb (MBq)	¹²⁵ Sb (MBq)	¹³⁴ Cs (MBq)	¹³⁷ Cs (MBq)	Autres (MBq)	Total (MBq)
janvier	6,08	55,95	52,14	26,85	6,45	2,95	6,85	2,38	2,84	0,00	162,48
février	5,35	32,19	52,79	38,09	8,86	2,31	5,84	2,02	3,25	0,38	151,06
mars	4,71	27,48	69,95	30,39	4,94	2,35	6,46	2,20	2,60	1,67	152,75
avril	14,56	55,62	355,30	136,40	9,96	9,08	9,73	3,11	4,45	29,40	627,62
mai	5,65	39,51	135,20	52,69	2,98	2,62	6,90	2,03	3,56	6,91	258,06
juin	7,98	38,58	150,40	56,21	5,38	4,51	10,09	3,19	5,92	10,84	293,10
juillet	5,25	41,60	98,32	115,60	5,27	7,37	6,19	1,84	3,12	26,54	311,10
août	4,29	31,07	66,34	70,42	3,52	7,67	7,28	2,21	3,08	3,22	199,09
septembre	13,20	78,04	98,82	70,49	3,25	47,52	7,33	2,33	3,35	16,72	341,04
octobre	4,97	40,02	67,89	78,19	3,11	19,42	5,54	1,83	3,10	16,63	240,71
novembre	5,38	39,25	75,10	65,04	3,07	8,14	6,96	2,33	3,34	0,50	209,11
décembre	4,97	30,39	132,10	105,20	2,43	30,76	9,59	2,78	4,25	2,32	324,78
TOTAL ANNUEL (MBq)	82,38	509,70	1 354,35	845,57	59,22	144,69	88,75	28,25	42,86	115,14	3 270,91

	Volumes rejetés (m ³)	Activité Tritium (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Iodes (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)	Activité Ni63 (GBq)
Janvier	27 231	7 862	3,586	0,002253	0,1625	0,01796
Février	38 396	6 564	3,404	0,001896	0,1511	0,01696
Mars	33 242	4 060	3,130	0,00212	0,1527	0,01948
Avril	29 919	6 240	4,244	0,002931	0,6278	0,04094
Mai	35 690	6 415	5,515	0,001927	0,258	0,06287
Juin	44 822	5 403	5,256	0,002947	0,2931	0,07433
Juillet	30 212	2 872	1,946	0,001649	0,3111	0,02125
Août	32 117	4 281	2,713	0,002091	0,1991	0,03631
Septembre	26 793	4 936	1,999	0,002327	0,341	0,02079
Octobre	39 509	3 700	3,254	0,00174	0,2407	0,007251
Novembre	35 775	2 796	4,727	0,002147	0,2091	0,00962
Décembre	34 277	4 119	5,679	0,002794	0,3247	0,01445
TOTAL ANNUEL	407 983	59 248	45,453	0,026822	3,2709	0,342211

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

Commentaires :

L'activité tritium mesurée dans les réservoirs Ex a été inférieure à 400 Bq/l en 2020, excepté dans un réservoir en décembre. Cette activité vient du niveau de fuites primaire-secondaire, en particulier sur la tranche 6 dont les générateurs de vapeur seront remplacés en 2021.

L'activité tritium est globalement inférieure aux valeurs mesurées en 2019, depuis le remplacement des générateurs de vapeur de la tranche 5.

d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)			
	Tritium	Carbone 14	Iodes	Autres PA et PF (dont Ni63)
2018	70 634	35,23	0,048	2,835
2019	61 471	44,05	0,051	5,181
2020	59 248	45,45	0,027	3,613
Prévisionnel 2020	91 000	50	0,05	3,3

Commentaires :

Les rejets radioactifs liquides sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2020. Les produits de fission et d'activation sont légèrement au-dessus du prévisionnel en lien avec

l'indisponibilité de deux évaporateur TEU, mais néanmoins en amélioration par rapport à 2019. 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 2020 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	59 248
Carbone 14	Activité annuelle rejetée (GBq)	900	45,45
Iodes	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,9	0,03
Autres PA et PF	Activité annuelle rejetée (GBq)	90	3,27

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	$1,36 \cdot 10^7$	$3,62 \cdot 10^6$
Iodes	canal de rejet	Débit d'activité (Bq/s)	1 Bq/L x D	6,84	1,62
Autres PA et PF	canal de rejet	Débit d'activité (Bq/s)	7 Bq/L x D	$1,60 \cdot 10^3$	$1,97 \cdot 10^2$

(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 2020 sont donnés dans le tableau suivant (valeurs moyennes et maximales).

	Paramètre analysé	Activité volumique horaire à mi-rejet			Activité volumique : moyenne journalière		
		Valeur moyenne mesurée en 2020	Valeur maximale mesurée en 2020	Limite réglementaire	Valeur moyenne mesurée en 2020	Valeur maximale mesurée en 2020	Limite réglementaire
Eau filtrée	Activité bêta globale (Bq/l)	12,8	16,2	18	-	-	-
	Tritium (Bq/l)	77,5	382	1 800	15,48	135	900 ⁽¹⁾ / 100 ⁽²⁾
	Potassium (Bq/l)	423,6	445	-	-	-	-
Matières en suspension	Activité bêta globale (Bq/m ³)	0,015	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 2020 sont cohérentes avec les valeurs attendues du fait des rejets d'effluents autorisés du CNPE. Les mesures d'activité bêta globale et de l'activité en tritium dans l'eau sont très inférieures aux limites réglementaires.

La valeur de 135 Bq/L en activité volumique journalière maximale a été atteinte le 4 avril 2020 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 (H₃BO₃) : le bore contenu dans cet acide est « avide » des neutrons produits lors de la réaction nucléaire. C'est une substance neutrophage, qui permet donc le contrôle de la réaction de fission et donc le pilotage du réacteur. Ce bore est dissous dans l'eau du circuit primaire.
- la lithine (LiOH) : ce produit est utilisé pour maintenir le pH du circuit primaire. En effet, le bore est sous forme acide. Pour éviter les effets de corrosion liés à cet acide, de la

lithine est ajoutée à l'eau du circuit primaire afin d'ajuster le pH à celui de moindre corrosion. La concentration en lithine est donc directement liée à celle du bore.

- l'hydrazine (N_2H_4) : ce produit est utilisé principalement dans le circuit secondaire comme un agent anti-oxydant. Il permet d'éliminer l'oxygène dissous dans le mélange eau-vapeur, et ainsi maintenir là aussi un pH de moindre corrosion du circuit secondaire.
- La morpholine (C_4H_9NO), l'éthanolamine (C_2H_7NO) et l'ammoniaque (NH_4OH) sont des amines volatiles qui peuvent être employées, seules ou en combinaison, pour maintenir le bon pH dans le circuit secondaire. Elles complètent l'action de l'hydrazine. Le mode de conditionnement du circuit secondaire a évolué avec les années pour tenir compte du retour d'expérience interne et étranger. L'éthanolamine (C_2H_7NO), utilisée sur quelques CNPE, constitue une alternative intéressante à la morpholine, en particulier pour la protection des pièces internes des générateurs de vapeur et des purges des sécheurs-surchauffeurs de la turbine.
- le phosphate trisodique (Na_3PO_4) : comme l'hydrazine, le phosphate est utilisé pour le conditionnement des circuits de refroidissement intermédiaires.
- les détergents : ces produits sont régulièrement utilisés pour le nettoyage des locaux industriels ; qu'ils soient en ou hors zone contrôlée. Ils sont également utilisés à la laverie du CNPE pour le nettoyage des tenues d'intervention.

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

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

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

a. Etat des connaissances sur la toxicité de 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 par les émissaires de rejet R1 et R2 est donné dans les tableaux suivants :

Emissaire de rejet R1 :

	Acide borique (kg)	Ethanolamine (kg)	Hydrazine (kg)	Détergents (kg)	Ammonium (kg)	Phosphates (kg)	Métaux totaux (kg)	MES (kg)	DCO (kg)
Janvier	2 379,72	3,68	0,23	3,76	471,97	3,00	4,79	106,69	438,36
Février	2 684,55	6,54	0,57	3,18	381,21	1,20	4,22	143,85	233,37
Mars	1 678,13	5,55	0,29	2,98	342,95	2,47	3,55	125,02	86,27
Avril	2 768,01	3,19	0,18	5,73	433,15	4,56	5,09	287,72	1 053,74
Mai	2 618,21	10,09	0,34	28,03	415,15	8,62	3,51	242,38	250,88
Juin	2 754,48	9,35	0,86	6,71	383,97	6,86	4,51	382,57	179,63
Juillet	2 758,55	2,62	0,07	2,65	253,48	9,25	4,66	127,87	144,10
Août	2 273,80	2,44	0,15	4,06	343,66	29,23	6,17	163,32	221,43
Septembre	1 850,74	3,68	0,07	8,77	250,43	32,28	5,82	155,49	394,32
Octobre	2 639,64	3,19	0,15	2,35	268,85	28,55	4,86	273,28	228,04
Novembre	2 521,87	3,05	0,28	12,43	387,60	24,94	5,27	257,95	506,41
Décembre	2 332,68	4,03	0,35	3,17	382,98	67,21	5,02	251,54	206,40
TOTAL ANNUEL	29 260,38	57,42	3,53	83,82	4 315,41	218,17	57,48	2 517,68	3 942,95

Emissaire de rejet R2 :

	Ethanolamine (kg)	Hydrazine (kg)	Ammonium (kg)	Phosphates (kg)	Métaux totaux (kg)	MES (kg)	DCO (kg)
Janvier	0,54	0,12	65,97	0,07	0,30	14,98	59,90
Février	4,34	0,21	93,83	0,17	0,70	34,88	45,34
Mars	0,59	0,03	76,63	0,12	0,43	24,96	5,49
Avril	0,75	0,04	101,11	0,11	0,42	11,69	233,84
Mai	3,00	0,16	99,41	0,16	0,42	16,91	37,07
Juin	1,52	0,23	84,74	0,77	0,36	18,37	21,20
Juillet	0,58	0,01	82,35	0,17	0,69	13,90	17,37
Août	1,39	0,02	109,41	3,53	1,24	15,19	18,99
Septembre	0,32	0,01	52,42	15,03	0,57	7,69	35,23
Octobre	0,73	0,02	67,11	1,60	0,84	62,09	21,92
Novembre	0,54	0,06	68,75	1,44	0,59	45,59	64,37
Décembre	0,56	0,09	50,63	0,94	0,58	39,16	18,89
TOTAL ANNUEL	14,87	1,00	952,36	24,11	7,13	305,41	579,61

Rejets du site (R1 + R2) :

	Acide borique (kg)	Ethanolamine (kg)	Hydrazine (kg)	Détergents (kg)	Ammonium (kg)	Phosphates (kg)	Métaux totaux (kg)	MES (kg)	DCO (kg)	Aluminium (kg)
Janvier	2 379,72	4,22	0,35	3,76	537,94	3,07	5,09	121,67	498,26	0,50
Février	2 684,55	10,88	0,78	3,18	475,04	1,37	4,92	178,73	278,72	0,66
Mars	1 678,13	6,14	0,32	2,98	419,59	2,59	3,98	149,98	91,76	0,60
Avril	2 768,01	3,95	0,22	5,73	534,27	4,67	5,51	299,41	1 287,58	0,78
Mai	2 618,21	13,09	0,50	28,03	514,56	8,79	3,93	259,29	287,95	0,51
Juin	2 754,48	10,87	1,09	6,71	468,70	7,63	4,86	400,94	200,83	1,02
Juillet	2 758,55	3,20	0,09	2,65	335,82	9,42	5,35	141,76	161,47	1,04
Août	2 273,80	3,83	0,16	4,06	453,07	32,75	7,41	178,51	240,43	0,59
Septembre	1 850,74	4,00	0,08	8,77	302,84	47,30	6,40	163,18	429,56	1,03
Octobre	2 639,64	3,92	0,17	2,35	335,95	30,14	5,71	335,37	249,96	0,99
Novembre	2 521,87	3,58	0,34	12,43	456,35	26,39	5,86	303,55	570,78	0,77
Décembre	2 332,68	4,60	0,44	3,17	433,62	68,15	5,60	290,70	225,29	0,65
TOTAL ANNUEL	29 260,38	72,28	4,53	83,82	5 267,77	242,28	64,61	2 823,08	4 522,56	9,14

Rejets de métaux

	Mn	Cu	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	0,07	0,08	0,01	0,01	0,72	0,01	0,29	1,51	0,64	0,39	0,39	0,05	0,05	2,06	0,02	0,21	3,82	0,71	0,46	0,70	0,07	0,07	2,78	0,03	0,50	5,33
Février	0,04	0,08	0,01	0,01	0,70	0,02	0,33	1,61	0,40	0,33	0,40	0,08	0,08	1,65	0,03	0,33	3,31	0,44	0,41	0,80	0,10	0,10	2,36	0,05	0,66	4,92
Mars	0,06	0,07	0,02	0,02	0,79	0,04	0,33	1,69	0,29	0,16	0,32	0,07	0,07	1,10	0,03	0,27	2,30	0,35	0,23	0,68	0,08	0,08	1,89	0,06	0,60	3,98
Avril	0,24	0,21	0,02	0,02	1,69	0,01	0,55	3,38	0,16	0,55	0,48	0,06	0,06	0,57	0,02	0,23	2,13	0,40	0,76	1,12	0,07	0,07	2,27	0,03	0,78	5,51
Mai	0,07	0,20	0,01	0,01	0,91	0,03	0,21	1,71	0,16	0,61	0,33	0,08	0,08	0,38	0,03	0,30	1,97	0,23	0,81	0,60	0,09	0,09	1,29	0,06	0,51	3,68
Juin	0,14	0,21	0,02	0,02	1,07	0,05	0,66	2,69	0,28	0,20	0,30	0,09	0,09	0,45	0,04	0,36	1,80	0,42	0,41	0,82	0,11	0,11	1,51	0,09	1,02	4,50
Juillet	0,11	0,72	0,01	0,01	0,61	0,00	0,46	2,21	0,63	0,07	0,34	0,07	0,07	1,37	0,03	0,58	3,14	0,74	0,78	0,62	0,08	0,08	1,98	0,03	1,04	5,35
Août	0,13	0,40	0,01	0,01	0,93	0,03	0,33	2,26	0,92	0,69	0,63	0,07	0,07	2,42	0,09	0,26	5,15	1,05	1,09	1,04	0,08	0,08	3,36	0,12	0,59	7,41
Septembre	0,19	0,19	0,01	0,01	0,89	0,06	0,81	2,61	1,19	0,23	0,40	0,05	0,05	1,63	0,02	0,21	3,79	1,38	0,42	0,83	0,07	0,07	2,52	0,08	1,03	6,40
Octobre	0,07	0,15	0,01	0,01	0,48	0,02	0,29	1,67	0,73	0,09	1,08	0,09	0,09	1,22	0,03	0,70	4,04	0,81	0,24	1,72	0,10	0,10	1,70	0,05	0,99	5,71
Novembre	0,08	0,27	0,06	0,01	1,19	0,01	0,46	2,57	0,48	0,75	0,28	0,08	0,08	1,29	0,03	0,30	3,29	0,57	1,02	0,76	0,14	0,09	2,48	0,04	0,77	5,86
Décembre	0,09	0,16	0,02	0,02	0,85	0,02	0,37	2,11	0,42	0,50	0,33	0,07	0,07	1,80	0,03	0,28	3,49	0,50	0,66	0,92	0,09	0,09	2,66	0,05	0,65	5,60
TOTAL ANNUEL	1,30	2,74	0,23	0,18	10,85	0,27	5,11	26,00	6,30	4,55	5,29	0,84	0,84	15,95	0,40	4,04	38,22	7,60	7,30	10,62	1,07	1,02	26,80	0,68	9,14	64,23

ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

Substances	Unité	2018	2019	2020	Prévisionnel 2020
Acide borique	kg	23 951	30 613	29 260	24 000
Ethanolamine	kg	90	50	72	100
Hydrazine	kg	3,99	4,09	4,53	3,60
Ammonium	kg	5 854	4 621	5 268	6 000
Détergents	kg	52	57	83,82	50
Phosphates	kg	146	221	242	300
Métaux totaux	kg	60	98	65	100
Aluminium	kg	7,11	20,93	9,14	15
MES	kg	2 152	2 274	2 823	-
DCO	kg	7 643	5 064	4 523	-

Commentaires :

Les rejets d'acide borique sont supérieurs au prévisionnel 2020, 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 2020 afin de limiter l'accumulation de silice dans le circuit primaire.

L'augmentation des rejets de détergents en 2020 n'a pu être expliquée. Un réservoir T a été particulièrement marqué en détergents (24,8 kg), conduisant au dépassement du prévisionnel annuel.

iii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2020 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2018-DC-0646.

Emissaire de rejet R1

Substances	Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet
	Concentration maximale ajoutée (µg/l)	Valeur maximale calculée (µg/l)	Flux 2h (kg)	Valeur maximale calculée (kg)	Flux 24h (kg)	Valeur maximale calculée (kg)	Flux annuel ajouté (kg)	Flux annuel calculé (kg)
Acide borique	1 300	177,22	1500	204,16	10 000	643,86	43 500	29 260,38
Ethanolamine	2,4	0,70	2,8	1,10	12,8	2,24	1 376	57,42
Hydrazine	13	0,05	15	0,08	54	0,21	176	3,53
Ammonium	43,4	17,93	50	23,55	145	71,54	15 560	4 315,41
Détergents	52,1	6,87	60	10,87	180	24,84	5 900	83,82
Phosphates	63,5	6,28	73,1	7,23	162	25,37	1 138	218,17
Métaux totaux	3	0,09	3,5	0,14	16	0,64	1 720	57,48
MES	103,3	5,68	119	6,06	544	43,17	58 480	2 517,68
DCO	121,5	21,22	140	29,95	640	89,54	68 800	3 942,95
Morpholine	6,1	0,00	7	0,00	32	0,00	2 257,5	0,00

Emissaire de rejet R2

Substances	Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet
	Concentration maximale ajoutée (µg/l)	Valeur maximale calculée (µg/l)	Flux 2h (kg)	Valeur maximale calculée (kg)	Flux 24h (kg)	Valeur maximale calculée (kg)	Flux annuel ajouté (kg)	Flux annuel calculé (kg)
Ethanolamine	2,1	0,93	2,4	1,61	6	2,22	544	14,87
Hydrazine	13	0,04	15	0,07	34	0,10	22	1,00
Ammonium	47,9	10,64	55,2	15,18	111	22,93	7 650	952,36
Phosphates	49,6	4,21	57,1	5,46	71,4	7,10	266	24,11
Métaux totaux	2,6	0,11	3	0,13	7,5	0,13	680	7,13
Morpholine	5,2	0,00	6	0,00	15	0,00	892,5	0,00
MES	88,5	4,05	102	4,23	255	6,17	23 120	305,41
DCO	104,2	16,93	120	23,19	300	34,84	27 200	579,61

Emissaires de rejet R1 et R2

Substances	Limite	Rejet	Rejet	Limite	Rejet
	Flux 2h (kg)	Valeur maximale calculée (kg)	Valeur maximale calculée (kg)	Flux annuel ajouté (kg)	Flux annuel calculé (kg)
Hydrazine	15	0,08	0,21	-	4,53
Ammonium	90	23,55	71,54	-	5 267,77
Phosphates	120	7,23	25,37	-	242,28
Morpholine	12	0,00	0,00	-	0,00
Aluminium	-	-	-	124,9	9,14
MES	-	6,06	43,17	-	2 823,08

L'article 5.3.1 de la décision ASN n°2017-DC-0588 demande une évaluation de la quantité annuelle de lithine rejetée. En 2020, la quantité de lithine rejetée par le CNPE de Gravelines est évaluée à 12 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 2020 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	59,90	10,20	60,52	4,67	2,18	5,28
Février	107,48	24,01	96,90	12,23	3,45	9,49
Mars	128,28	13,01	115,44	12,45	4,96	22,48
Avril	53,14	9,31	92,18	5,67	1,66	25,62
Mai	78,89	5,56	58,60	0,75	0,75	3,05
Juin	-	-	-	-	-	-
Juillet	110,41	13,20	275,66	10,54	2,61	10,06
Août	316,62	34,74	522,24	27,93	5,75	18,63
Septembre	143,36	12,38	215,69	12,72	2,52	10,90
Octobre	239,40	21,08	284,14	27,56	3,21	22,14
Novembre	92,02	9,60	104,22	8,09	1,05	10,91
Décembre	263,38	16,23	158,18	19,67	5,18	16,79
TOTAL ANNUEL	1592,90	169,32	1983,75	142,27	33,32	155,36

Emissaire de rejet B2 (8 SEO)

	MES (kg)	DBO5 (kg)	DCO (kg)	Azote Kjeldahl (kg)	Hydrocarbures (kg)	Phosphates (kg)
Janvier	14,38	3,77	33,88	2,21	1,05	16,53
Février	35,85	9,08	51,02	7,53	0,96	17,81
Mars	43,53	7,37	76,33	10,01	1,91	19,88
Avril	10,14	3,81	53,97	4,97	0,17	13,17
Mai	21,08	3,53	45,01	14,43	1,97	18,57
Juin	419,94	51,33	461,41	41,04	14,03	27,02
Juillet	209,48	25,73	317,67	17,41	5,63	11,27
Août	50,58	10,41	207,08	25,49	0,91	4,33
Septembre	28,67	3,76	84,40	3,40	0,51	11,05
Octobre	120,12	14,17	243,93	29,12	1,92	26,72
Novembre	56,04	6,43	58,90	10,79	0,24	18,63
Décembre	55,96	8,12	92,58	15,34	0,95	22,11
TOTAL ANNUEL	1065,79	147,52	1726,17	181,71	30,23	207,09

Emissaire de rejet B3 (7 SEO)

	MES (kg)	DBO5 (kg)	DCO (kg)	Azote Kjeldahl (kg)	Hydrocarbures (kg)	Phosphates (kg)
Janvier	29,52	26,47	67,65	8,11	0,34	6,35
Février	31,76	22,68	61,94	6,69	0,56	7,18
Mars	42,67	19,09	51,63	5,62	0,89	6,32
Avril	19,44	36,35	79,25	4,53	0,16	4,27
Mai	5,02	14,58	46,41	2,58	0,08	1,88
Juin	42,32	44,56	84,94	10,79	0,51	13,52
Juillet	47,25	10,82	48,87	7,30	0,57	6,62
Août	59,96	15,69	189,62	35,39	0,32	6,90
Septembre	27,62	14,90	85,31	8,18	0,10	8,79
Octobre	47,67	15,94	223,70	12,44	0,91	11,69
Novembre	22,58	6,23	46,58	2,92	0,21	8,56
Décembre	51,07	9,73	69,43	4,02	0,71	10,19
TOTAL ANNUEL	426,89	237,05	1055,31	108,57	5,35	92,25

Cumul des rejets B1, B2 et B3

	MES (kg)	DBO5 (kg)	DCO (kg)	Azote Kjeldahl (kg)	Hydrocarbures (kg)	Phosphates (kg)
Janvier	103,80	40,44	162,05	14,99	3,57	28,16
Février	175,10	55,77	209,85	26,45	4,96	34,48
Mars	214,47	39,48	243,39	28,08	7,76	48,69
Avril	82,72	49,48	225,39	15,16	1,98	43,06
Mai	104,99	23,67	150,01	17,76	2,81	23,50
Juin	462,26	95,89	546,34	51,83	14,54	40,53
Juillet	367,15	49,74	642,20	35,25	8,81	27,94
Août	427,16	60,84	918,94	88,80	6,97	29,86
Septembre	199,65	31,03	385,40	24,30	3,13	30,74
Octobre	407,19	51,19	751,77	69,12	6,04	60,56
Novembre	170,65	22,26	209,70	21,80	1,49	38,09
Décembre	370,42	34,08	320,19	39,02	6,84	49,09
TOTAL ANNUEL	3085,57	553,89	4765,24	432,55	68,89	454,70

Commentaires :

Un nettoyage de la fosse 9 SEO (émissaire de rejet B1) a été réalisé du 28 mai 2020 au 10 juillet 2020, expliquant l'absence de mesures en juin 2020. Durant cette activité, les effluents ont été déviés vers la fosse 8 SEO (émissaire de rejet B2).

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

Paramètres	Unité	2017	2018	2019	2020	Prévisionnel 2020
MES	kg	4080	2824	4061	3086	-
DBO5	kg	1520	1832	1152	554	-
DCO	kg	4955	4882	4812	4765	-
Azote Kjeldahl	kg	1273	620	619	433	1300
Hydrocarbures	kg	13	17	33	69	-
Phosphates	kg	512	482	436	455	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 2020 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	115,80	19,75	280	171,24	1400	171,24
DBO5	25	15,00	2,10	80	10,23	400	10,23
DCO	120	110,00	24,59	380	88,85	1900	88,85
Azote Kjeldahl	40	10,65	1,76	128	7,20	640	7,20
Hydrocarbures	5	2,00	0,41	-	1,23	-	1,23
Phosphates	28	13,00	1,93	16	3,85	36	3,85

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	111,94	20,26	280	248,46	1400	248,46
DBO5	25	17,00	2,80	80	17,76	400	17,76
DCO	120	110,00	32,81	380	146,50	1900	146,50
Azote Kjeldahl	40	38,03	3,45	128	14,31	640	14,31
Hydrocarbures	5	6,50	0,57	-	4,00	-	4,00
Phosphates	28	19,00	3,94	16	6,96	36	6,96

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	35,56	11,76	280	32,34	1400	32,34
DBO5	25	45,00	6,53	80	19,40	400	19,40
DCO	120	120,00	29,07	380	103,08	1900	103,08
Azote Kjeldahl	40	18,88	2,99	128	18,81	640	18,81
Hydrocarbures	5	0,41	0,15	-	0,41	-	0,41
Phosphates	28	10,00	2,54	16	9,75	36	9,75

Commentaires :

Sur les 390 rejets de fosses SEO réalisés en 2020, 11 dépassements de critères ont été détectés. Les paramètres en dépassement sont les concentrations en MES (5), en DBO5 (4), et en hydrocarbures (2) dans les fosses SEO.

Les dépassements sur SEO sont notamment dus aux difficultés rencontrées avec l'exploitation des miniblocs qui assurent le traitement des eaux usées. La fosse 9 SEO est plus sujette aux dépassements en MES (4 en 2020) du fait que le bassin versant drainé est plus grand. Lors d'épisodes pluvieux, le sol est lessivé par l'eau de pluie qui entraîne les poussières déposées sur le sol.

Ces dépassements ont conduit à la déclaration d'un événement significatif pour l'environnement (ESE) (cf. Partie I - §V – 1).

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 2020 sur les émissaires B5 à B9 respectent toutes la limite de 5 mg/L en hydrocarbures fixée par décision ASN n°2018-DC-0646.

f. Rejets d'effluents liquides chimiques issus de SDX

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

i. Cumul mensuel

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

	MES (kg)	Sulfates (kg)
janvier	77,75	34 162,90
février	75,59	38 392,70
mars	157,29	29 131,70
avril	59,84	30 757,10
mai	127,44	27 334,70
juin	133,22	34 323,10
juillet	275,95	37 333,10
août	145,97	28 438,90
septembre	215,76	24 360,00
octobre	228,73	38 975,84
novembre	76,90	31 622,70
décembre	141,72	27 877,80
TOTAL ANNUEL	1 716,16	38 2710,54

ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

Paramètres	Unité	2018	2019	2020	Prévisionnel 2020
MES	kg	674	1 448	1 716	-
Sulfates	kg	335 604	350 747	382 711	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 2020 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2018-DC-0647.

Paramètre	Limite	Rejet		Limite	Rejet	Limite	Rejet
	Concentration maximale avant rejet (mg/l)	Valeur maximale calculée (mg/l)	Valeur moyenne calculée (mg/l)	Flux 2h (kg)	Valeur maximale calculée (kg)	Flux 24h (kg)	Valeur maximale calculée (kg)
MES	250	200,00	21,90	60	44,00	300	114,15
Sulfates	6 000	6 000,00	4 806,24	1 440	1 357,00	7 200	5 924,00

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

Commentaires :

En 2020, les débits instantanés sont compris en 100 et 120 m³/h, le pH est compris entre 6,0 et 8,2.

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 2020, le minibloc n°4 a fait l'objet de travaux de remplacement. La durée des travaux s'est prolongée en lien avec le contexte sanitaire de 2020. Les travaux de remplacement du minibloc n°5 ont débuté en octobre 2020.

De plus, certains miniblocs ont dû être déconnectés du réseau SEO au cours de l'année 2020, en raison de la réalisation d'activités de maintenance ou de difficultés d'exploitation ne permettant pas d'assurer un traitement de qualité et de respecter les limites réglementaires de rejet et de rendement. Ceci explique l'absence de certaines données.

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 :

Des dysfonctionnements ont été rencontrés en 2020 sur les miniblocs conduisant à des dépassements de seuils, et ont fait l'objet de la déclaration d'un événement significatif pour l'environnement (ESE) (cf. Partie I - §V – 1) suite à un dépassement de concentration en DCO en aval du minibloc n°5.

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.

Le minibloc n°4 a été hors exploitation en 2020 en raison de son remplacement. De même, des travaux de remplacement du minibloc n°5 ont débuté en octobre 2020.

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 2020.

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	2,64	0,00
Février	10,92	0,00
Mars	4,15	0,00
Avril	1 363,86	0,00
Mai	7 074,28	0,00
Juin	5 285,36	0,00
Juillet	6 362,12	0,00
Août	5 998,86	0,00
Septembre	4 681,86	0,00
Octobre	3 984,01	0,00
Novembre	2 236,30	0,00
Décembre	1 016,49	0,00
TOTAL ANNUEL	38 020,84	0,00

ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets d'effluents liquides chimiques de l'année 2020 liés au traitement biocide avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2020.

Paramètres	Unité	2018	2019	2020	Prévisionnel 2020
Bromoformes	kg	65 927	37 579	38 021	65 000
Oxydants résiduels	kg	0	0	0	75 000

Commentaires :

Aucun dépassement de prévisionnel n'a eu lieu sur ces paramètres en 2020.

iii. Comparaison aux limites

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	0,010	85	12,86	950	154,28	230 000	38 020,84
Oxydants résiduels	0,3	0,00	520	0,00	5 700	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 2020 n'a pas été concernée par des actions de maintenance (hors maintenance programmée) et aucune intervention ou opération de maintenance anticipée n'ont été nécessaires.

4. Opérations exceptionnelles de rejets d'effluents liquides

Le CNPE de Gravelines n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de rejet d'effluents liquides chimiques en 2020.

III. Rejets thermiques

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

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

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

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

L'échauffement de l'eau (écart de température entre la sortie et l'entrée : $\Delta T^{\circ}\text{C}$) 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 2020 sont présentés dans le tableau suivant :

	Température mesurée à la prise d'eau (°C) (T10)	Température mesurée au rejet (°C) (T11)	Echauffement au rejet (°C) (T11-T10)	Température eau de mer (°C) (T7)
Janvier	11,6	20,5	8,9	non requis
Février	11,6	19,9	8,3	non requis
Mars	11,9	20,6	8,7	non requis
Avril	12,5	22,8	10,3	non requis
Mai	15,4	24,2	8,8	non requis
Juin	18,2	27,2	9,0	17,0
Juillet	20,1	28,4	8,3	19,4
Août	21,6	31,1	9,5	21,5
Septembre	19,3	27,7	8,4	19,1
Octobre	15,9	23,5	7,6	15,1
Novembre	13,6	23,4	9,8	non requis
Décembre	11,1	20,4	9,3	non requis

2. Comparaison aux limites

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

Paramètre	Unité	Limite en vigueur	Valeur maximale
Echauffement amont-aval calculé	°C	12	11,99
Température de l'eau de mer à l'extrémité du canal de rejet	°C	30°C de novembre à mai	26,15
		35°C de juin à octobre	32,81
température de l'eau de mer après mélange	°C	30	22,92

Commentaires :

Les limites réglementaires associées aux rejets thermiques ont toujours été respectées en 2020.

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

L'année 2020 n'a pas été concernée par des actions de maintenance (hors maintenance programmée) et aucune intervention ou opération de maintenance anticipée n'ont été nécessaires.

Partie 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

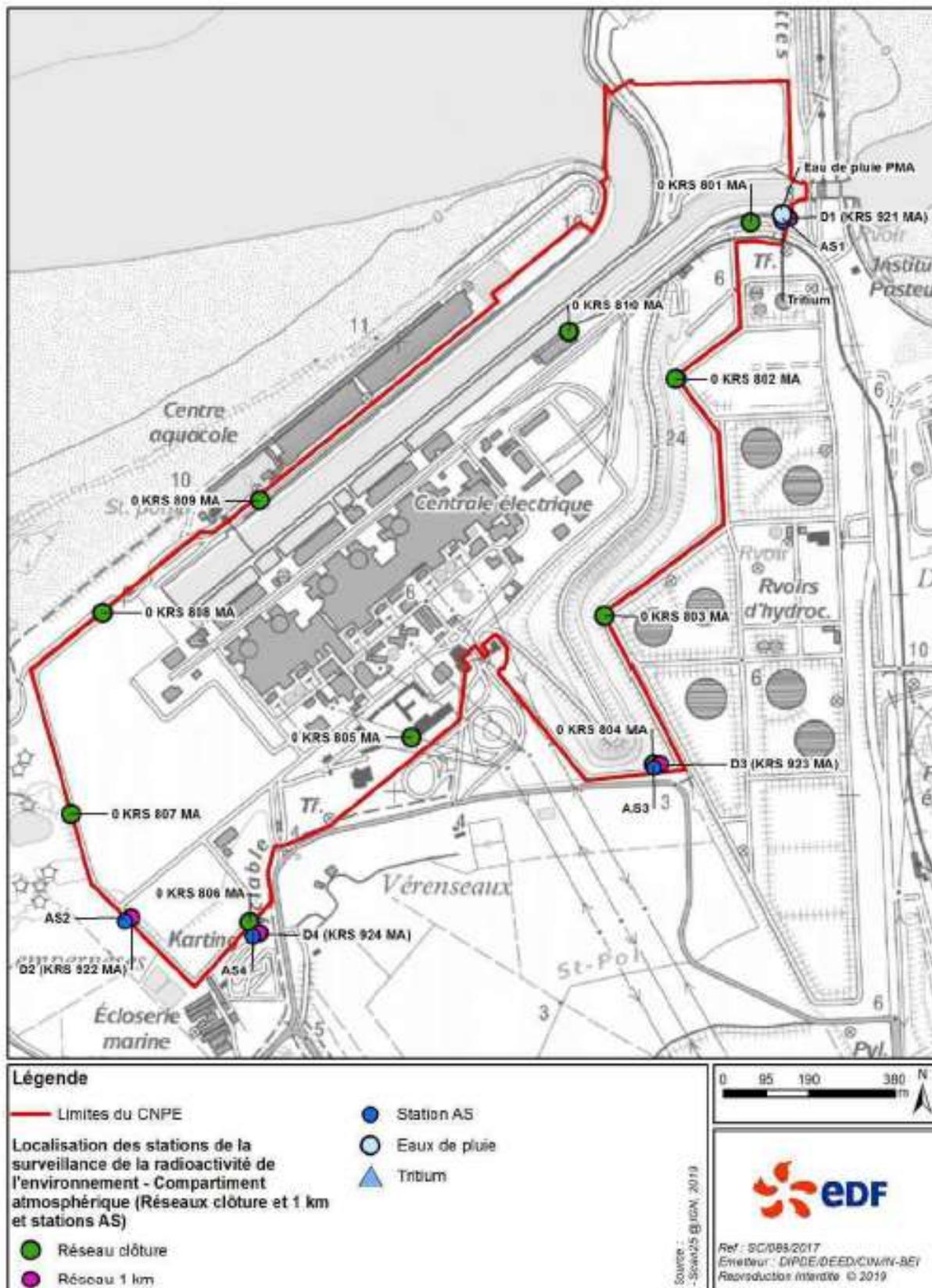


Figure 2 : Implantation des stations de surveillance des réseaux « clôture » et « 1 km »

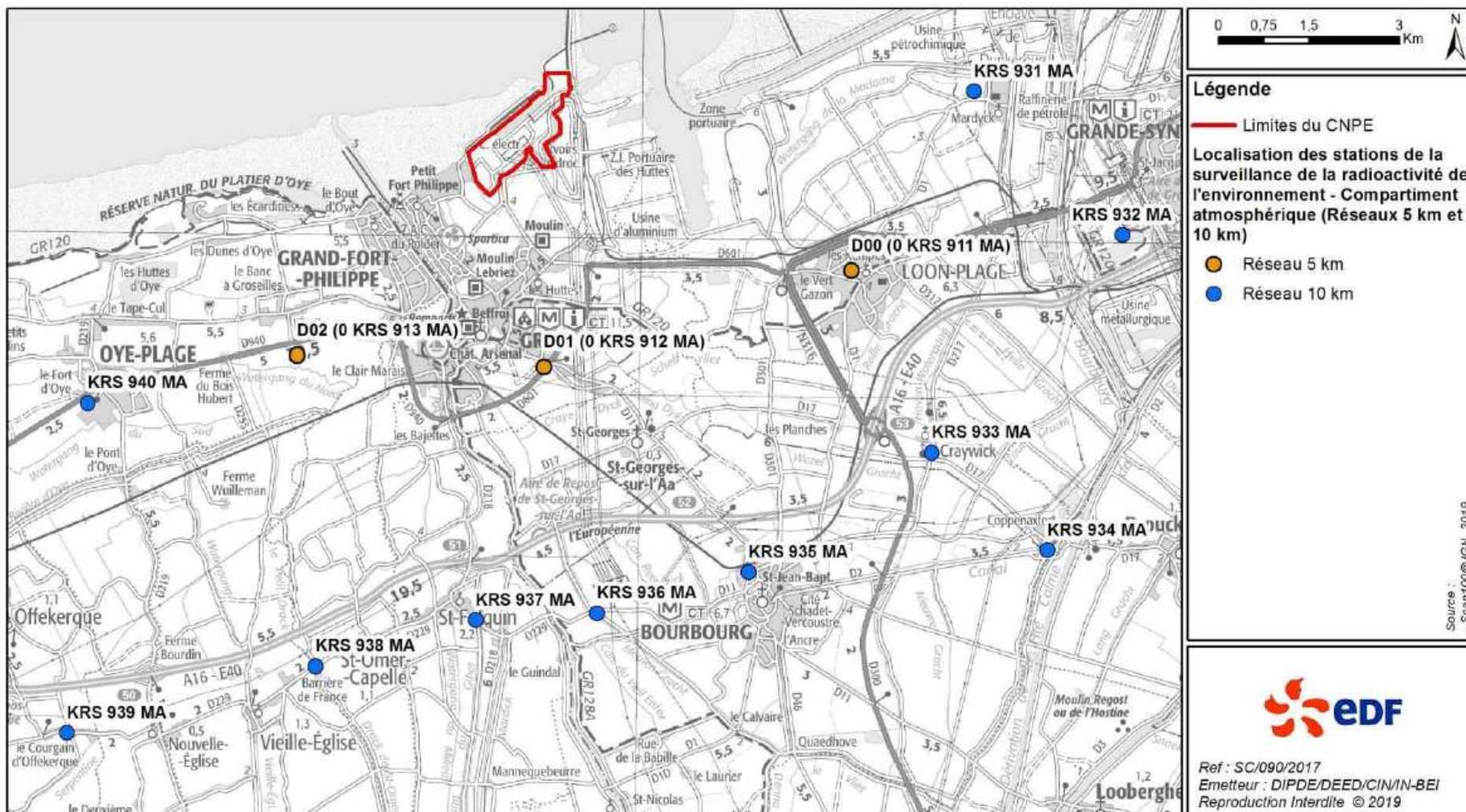


Figure 3 : Implantation des stations de surveillance des réseaux « 5 km » et « 10 km »

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

Réseau de mesure	Débit de dose max année 2020 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2020 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2019 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2018 (nSv/h)
Clôture	158,4	87,05	85,2	84
1 km	165,6	84,5	87,6	86,4
5 km	177,6	105,3	105,6	103,2
10 km	156	95,7	94,8	92,4

Commentaires :

Pour les quatre réseaux, les débits de dose moyens enregistrés pour l'année 2020 sont de l'ordre de grandeur du bruit de fond et cohérents avec les résultats des années antérieures.

2. Surveillance du compartiment atmosphérique

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

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

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

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

Compartiment	Station	Paramètres	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée	Limite réglementaire (pour chaque analyse)
Poussières atmosphériques	AS1	Bêta global (Bq/m ³)	< 3,90.10 ⁻⁴	1,98.10 ⁻³	0,01 Bq/m ³
	AS2	Bêta global (Bq/m ³)	< 3,10.10 ⁻⁴	2,07.10 ⁻³	0,01 Bq/m ³
	AS3	Bêta global (Bq/m ³)	< 3,93.10 ⁻⁴	2,16.10 ⁻³	0,01 Bq/m ³
	AS4	Bêta global (Bq/m ³)	< 3,98.10 ⁻⁴	2,09.10 ⁻³	0,01 Bq/m ³

Compartiment	Station	Paramètres	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée	Limite réglementaire (pour chaque analyse)
Tritium atmosphérique	AS1	Tritium (Bq/m ³)	< 1,13.10 ⁻¹	1,50.10 ⁻¹	50 Bq/m ³

Compartiment	Station	Paramètres	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée	Limite réglementaire (pour chaque analyse)
Eau de pluie	AS1	Bêta global (Bq/L)	< 1,27.10 ⁻¹	2,29.10 ⁻¹	-
	AS1	Tritium (Bq/L)	< 4,44	7,34	-
	AS1	Potassium (mg/L)	< 7,17.10 ⁻¹	5,05	-

Commentaires :

Les mesures de surveillance du compartiment atmosphérique pour l'année 2020 sont cohérentes en moyenne avec les valeurs du bruit de fond. Les mesures de l'activité bêta globale et de l'activité en tritium atmosphérique sont très inférieures aux limites réglementaires.

3. Surveillance du milieu terrestre

Les résultats des mesures réalisées sur le compartiment terrestre pour l'année 2020 sont donnés dans le tableau suivant. Concernant les résultats des analyses par spectrométrie gamma, seules les activités relatives aux radionucléides d'origine artificielle et supérieures aux seuils de décision sont présentées.

Nature du prélèvement	Radionucléide	Périodicité	Moyenne annuelle	Valeur minimale mesurée	Valeur maximale mesurée
Végétaux terrestres 1 (Bq/kg sec)	Spectrométrie gamma	¹³⁷ Cs	3,42.10 ⁻¹	2,00.10 ⁻¹	4,00.10 ⁻¹
		⁴⁰ K	5,71.10 ²	3,39.10 ²	8,13.10 ²
Végétaux terrestres 2 (Bq/kg sec)	Spectrométrie gamma	¹³⁷ Cs	3,75.10 ⁻¹	2,00.10 ⁻¹	4,00.10 ⁻¹
		⁴⁰ K	7,75.10 ²	5,11.10 ²	1,02.10 ³
Lait (Bq/L)	Spectrométrie gamma	¹³⁷ Cs	3,75.10 ⁻¹	3,00.10 ⁻¹	5,00.10 ⁻¹
		⁴⁰ K	4,61.10 ¹	3,70.10 ¹	6,00.10 ¹

Commentaires :

Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment terrestre ainsi que leur interprétation pour l'année 2019 sont présentés dans le rapport du suivi radioécologique annuel, présenté en **annexe 2**.

4. Surveillance des eaux de surface

Les résultats des mesures réalisées sur les eaux de surface pour l'année 2020 sont donnés dans le tableau suivant.

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	12,45	10,10	14,30
		Tritium (Bq/L)	bi-mensuelle	6,76	3,90	12,00
		Potassium (mg/L)	bi-mensuelle	423,54	380,00	440,00
	Matières en suspension	Activité bêta globale (Bq/L)	bi-mensuelle	$4,02 \cdot 10^{-2}$	$1,23 \cdot 10^{-2}$	$1,09 \cdot 10^{-1}$
Eaux du large 2 (hors influence des rejets)	Eau filtrée	Activité bêta globale (Bq/L)	mensuelle	12,52	11,10	14,20
		Tritium (Bq/L)	mensuelle	5,74	4,09	8,27
		Potassium (mg/L)	mensuelle	421,25	385,00	440,00
	Matières en suspension	Activité bêta globale (Bq/L)	mensuelle	$1,45 \cdot 10^{-2}$	$8,95 \cdot 10^{-3}$	$2,68 \cdot 10^{-2}$

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 2019 sont présentés dans le rapport du suivi radioécologique annuel, présenté en **annexe 2**.

6. Surveillance des eaux souterraines

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

Milieus analysés	Paramètres	Valeur maximale de l'année
0 SEZ 001 PZ	Potassium (mg/L)	49,0
	β global (Bq/L)	1,7
	Tritium (Bq/L)	19,8
0 SEZ 002 PZ	Potassium (mg/L)	46,4
	β global (Bq/L)	1,7
	Tritium (Bq/L)	4,6

Milieux analysés	Paramètres	Valeur maximale de l'année
0 SEZ 003 PZ	Potassium (mg/L)	53,5
	β global (Bq/L)	2,1
	Tritium (Bq/L)	6,6
0 SEZ 004 PZ	Potassium (mg/L)	70,0
	β global (Bq/L)	2,8
	Tritium (Bq/L)	125,0
0 SEZ 005 PZ	Potassium (mg/L)	701,0
	β global (Bq/L)	27,4
	Tritium (Bq/L)	58,5
0 SEZ 015 PZ	Potassium (mg/L)	88,0
	β global (Bq/L)	3,2
	Tritium (Bq/L)	26,9
0 SEZ 052 PZ	Potassium (mg/L)	157,0
	β global (Bq/L)	5,2
	Tritium (Bq/L)	62,0
0 SEZ 056 PZ	Potassium (mg/L)	33,9
	β global (Bq/L)	1,4
	Tritium (Bq/L)	11,4

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	Hydrocarbures (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Métaux totaux (mg/L)	Sulfates (mg/L)
0 SEZ 001 PZ	janvier	11,7	<0,10	<0,27	3,3	2,5	0,085	141
	juillet	11,5	<0,10	<0,27	6	0,76	0,0275	107
0 SEZ 002 PZ	janvier	8,1	<0,10	<0,27	<0,030	0,67	0,11	
0 SEZ 003 PZ	janvier	7,7	<0,10	5,4	<0,030	0,8	0,05	
0 SEZ 004 PZ	mars	10,2	<0,10	1,3	1,4	3,5	0,021	
	septembre	10,5	0,1	<0,27	<0,030	7	0,0329	
0 SEZ 005 PZ	février	>12	2,2	3,6	<0,030	22	0,026	
	août	>12	0,3	4,6	<0,030	21	0,0263	

Piézomètre	Mois de mesure	pH	Hydrocarbures (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Métaux totaux (mg/L)	Sulfates (mg/L)
0 SEZ 015 PZ	juin	11	<0,10	<0,27	<0,030	3,3	0,067	
	décembre	11	<0,10	<0,27	<0,03	4,03	0,0128	
0 SEZ 052 PZ	avril	12,4	<0,10	<0,27	<0,030	6,3	0,11	60,9
	octobre	>12	<0,10	<0,27	<0,03	6,73	0,0974	71
0 SEZ 056 PZ	mai	11,1	<0,10	<0,27	0,94	3,1	0,1	
	novembre	11,2	<0,10	0,92	1,25	2,5	0,083	

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 au second semestre 2020 pour revenir à des valeurs normales.

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. Ces analyses sont réalisées de manière hebdomadaire, mensuelle et lors de deux campagnes annuelles.

Les résultats présentés dans le rapport annuel de l'IFREMER aboutissent aux conclusions suivantes :

« Le suivi hebdomadaire des paramètres hydrologiques réalisés en 2020 permet de mesurer l'influence du CNPE sur le réchauffement de l'eau à l'embouchure du canal de rejet qui est toutefois resté en dessous des limites autorisées par l'ASN. Les campagnes pélagiques montrent que le réchauffement des eaux s'estompe rapidement vers le large (point Référence). »

2. Chimie des eaux de surface

Certaines substances chimiques issues du fonctionnement du CNPE sont recherchées (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 2020, et uniquement lorsque la température de l'eau au canal de prise était supérieure à 10°C. Le bromoforme est le principal produit dérivé des opérations d'électrochloration, les concentrations mesurées au point Rejet n'ont été détectées qu'en

période de chloration et 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 7,5 % 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. Chimie 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 2020 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.

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

En ce qui concerne le CNPE de Gravelines, une majeure partie du programme de surveillance a pu être mis en œuvre malgré les difficultés rencontrées. Néanmoins, certaines adaptations du programme habituel ont été nécessaires au vu du contexte qui a rendu impossibles les embarquements du personnel IFREMER en charge de ces campagnes entre mars et juin 2020 (voir tableau récapitulatif ci-dessous) :

- Les prélèvements zooplanctoniques du mois d'avril 2020 n'ont pas pu être menés du fait des restrictions d'intervention du personnel IFREMER en charge de ces opérations. Ils ont été reportés en septembre 2020.
- Une des deux campagnes de suivi ichtyoplanctonique (larves de poissons) prévues en avril/mai a dû être annulée. En effet, à la reprise des embarquements, une campagne a pu être menée début juillet 2020. Néanmoins, les stades larvaires ciblés ayant une durée de vie limitée, le report de la deuxième campagne n'était pas pertinent.

Au vu de la robustesse des chroniques de données de surveillance du milieu aux abords du CNPE dont dispose EDF, les reports et annulations ponctuelles de ces campagnes de surveillance du milieu sont estimés sans impact significatif sur la qualité globale de la surveillance du CNPE de Gravelines.

GRAVELINES - Décision n° 2018-DC-0647 de l'ASN du 16 octobre 2018				
Domaine	Compartiment	Programme - Campagnes	Prévision des Campagnes	Etat
Pélagique	Hydrologie Physico-chimie / Chimie Phytoplancton Zooplancton Microbiologie	Campagnes hebdomadaires à mensuelles	janvier	Réalisées en janvier 2020
			février	Réalisées en février 2020
			mars	Réalisées en mars 2020
			avril	Réalisées en avril 2020
				sauf Zooplancton : report - réalisée le 16/09/2020
			mai	Réalisées en mai 2020
			juin	Réalisées en juin 2020
			juillet	Réalisées en juillet 2020
			août	Réalisées en août 2020
			septembre	Réalisées en septembre 2020
			octobre	Réalisées en octobre 2020
			novembre	Réalisées en novembre 2020
			décembre	Réalisées en décembre 2020
		2 campagnes annuelles	1 : Prévues en juin	Réalisée le 22/06/2020
			2 : Prévues en septembre	Réalisée le 02/09/2020
Benthique	Benthos intertidal	1 campagne / an	Prévues en juin	Réalisée le 08/06/2020
	Benthos subtidal	4 campagnes / an	1 : Prévues en février	Réalisée le 06/02/2020
			2 : Prévues en mai	Réalisée le 18/05/2020
			3 : Prévues en juillet	Réalisée le 07/07/2020
			4 : Prévues en septembre	Réalisée le 01/09/2020
Halieutique	Ichtyoplancton	2 campagnes / an	1 : Prévues en avril	Report : réalisée le 07/07/2020
			2 : Prévues en mai	Annulée (report non pertinent après le 07/07)

LEGENDE

	Réalisé tel que prévu ou reporté et réalisé selon des modalités conformes aux prescriptions réglementaires
	Reporté (selon des modalités différentes des prescriptions réglementaires)
	Annulé

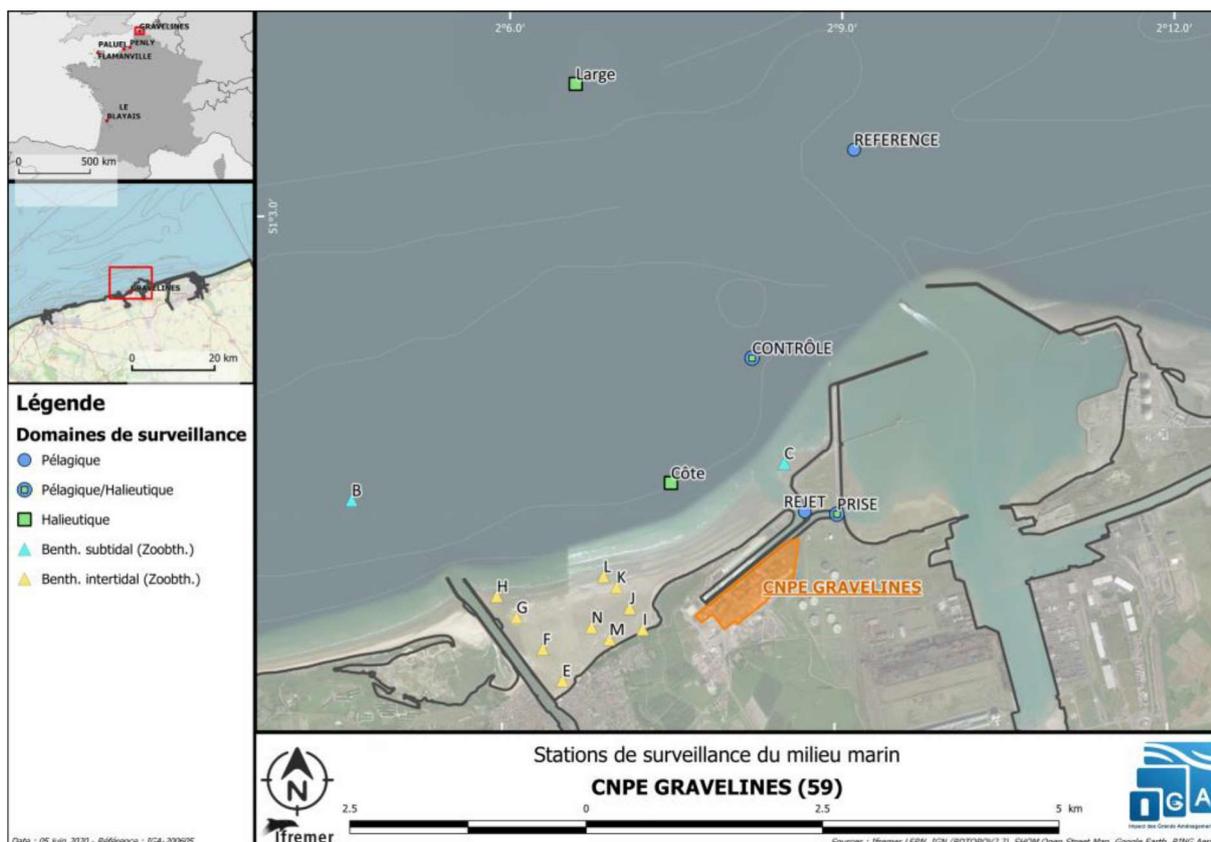
La synthèse du rapport de surveillance, réalisée par l'IFREMER est présentée ci-dessous. Le rapport complet est disponible sur demande auprès du CNPE de Gravelines.

Synthèse du rapport de surveillance 2020 :

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. 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.



Localisation des points suivis de la surveillance écologique du milieu marin autour du CNPE de Gravelines

Pour le domaine pélagique, la surveillance s’effectue depuis les berges aux canaux de prise d’eau et de rejet du CNPE, et au niveau de deux stations en mer, l’une dite de référence en dehors de la zone d’influence du rejet et l’autre dite de contrôle, où l’échauffement résiduel dû au panache de rejet est de l’ordre de 3 à 4°C. Deux campagnes annuelles de prélèvements sont effectuées, l’une au printemps et l’autre en fin d’été (Tableau 0-1). Cette année, ces campagnes ont eu lieu les 22 juin et 02 septembre 2020. En complément, certains paramètres sont suivis hebdomadairement ou mensuellement aux points Prise et Rejet tout au long de l’année.

Pour le domaine haliéutique, 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.

Cependant, les mesures de confinement imposées par la crise sanitaire COVID-19 à partir du 17 mars, puis de déconfinement à partir du 11 mai, n'ont pas permis à l'Iframer de réaliser les campagnes prévues initialement (entre avril et juin). Les équipes en charge des prélèvements en mer n'ont été autorisées à reprendre les activités embarquées qu'à compter du 22 juin 2020. Cette période correspond, dans l'historique de la surveillance de Gravelines, à la limite de la seconde campagne réglementaire. En effet, l'absence dans le milieu des stades larvaires des espèces recherchées enlève toute pertinence à la poursuite du suivi au-delà du mois de juin.

Dans ce contexte et bien que la période de ponte soit dépassée de plus d'un mois, une campagne sur l'ensemble des quatre stations a toutefois été programmée le 07 juillet 2020. Après concertation entre les responsables de mission, les experts thématiques et les interlocuteurs concernés d'EDF (CNPE et responsable de marché), l'organisation de campagnes supplémentaires visant à compenser celles non réalisées du fait du confinement, n'a pas été retenue, car estimée non pertinente.

La crise sanitaire, qui aura profondément marqué l'année 2020, aura donc eu pour effet, à Gravelines, l'abandon d'une campagne réglementaire (sur 4 points), ainsi que de deux campagnes complémentaires, non-réglementaires, réalisées au point Prise. Du point de vue réglementaire, sur les 16 échantillons prévus⁶, seuls 8 ont pu être réalisés (2 échantillons × 4 points × 1 campagne). Il convient de préciser qu'il s'agit ici du seul écart au programme de surveillance réglementaire à déplorer pour l'année 2020, ce qui porte le taux d'échantillonnage à 99% de l'attendu avec un total de 1180 échantillons traités en conformité avec les exigences réglementaires pour cette année particulière.

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 8 juin 2020.

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 06 février, 18 mai, 07 juillet et 01 septembre 2020.

Contexte environnemental

Deuxième année la plus chaude depuis 1986, après 2014, l'année 2020 était une année très douce et normalement pluvieuse, malgré un déficit pluviométrique record de 95% au printemps puis des périodes de sécheresse en juillet et septembre, qui ont été compensées par des pluies abondantes en raison des nombreux épisodes orageux de juin et août. Sur la côte, l'année 2020 a été moins ventée que la normale, malgré quelques épisodes de vent fort, dont plusieurs tempêtes hivernales.

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 2020 en rouge)

Domaine	Compartiment	Paramètres	Points	Fréquence Dates campagnes réalisées en 2020
Pélagique	Hydrologie	Température	Prise, Rejet	Hebdomadaire
		Salinité		
	Physico-chimie / Chimie	Chlore résiduel	Prise, Rejet	Hebdomadaire
		Haloformes		
		Azotes (ammonium, nitrates, nitrites)		
		Phosphates	Prise, Rejet	Mensuel
		Silicates		
		Turbidité		
		Oxygène dissous		
	Bromophénols	Rejet	Mensuel	
	Microbiologie	Vibrions halophiles	Prise, Rejet	Hebdomadaire
	Phytoplancton	Biomasse chlorophyllienne	Prise, Rejet	Hebdomadaire
Variations spatiales et temporelles des espèces microphytoplanctoniques				
Zooplancton	Biomasse sestoniques	Prise, Rejet	Mensuel	
	Variations spatiales et temporelles des espèces mésozooplanctoniques			
Campagnes pélagiques	Tous	Température, Salinité, Nutriments, Turbidité, Oxygène dissous, Vibrions halophiles, Phytoplancton et Zooplancton	Prise, Rejet, Contrôle, Référence	22/06/2020 02/09/2020
Halieutique	Ichtyoplancton	Variations spatiales et temporelles (soles et sprats)	Prise, Côte, Contrôle, Large	Sem 13 (COVID-19)
	Larves de crustacés	Variations spatiales et temporelles (crevettes grises)		Sem 15 (COVID-19) Sem 17 (COVID-19) 07/07/2020
Benthique	Benthos intertidal	Sédiment (granulométrie)	Estran Petit-Fort-Philippe	08/06/2020
		Variations spatiales et temporelles de la macrofaune		
	Benthos subtidal	Sédiment (granulométrie)	B (hors influence) C (sous influence)	06/02/2020
		Variations spatiales et temporelles de la macrofaune		18/05/2020 07/07/2020 01/09/2020

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 12 avril au 07 décembre) au cours de l'année 2020, et uniquement lorsque la température de l'eau au canal de prise était supérieure à 10°C. Les concentrations en oxydants résiduels et en composés organohalogénés volatils (haloformes, essentiellement le bromoforme) générées par ce procédé sont restées inférieures aux limites autorisées. Les résultats des mesures de concentration en bromoforme dans le canal de prise ont permis d'évaluer que le pourcentage d'eau de refroidissement qui passe une seconde fois dans la centrale était de 7,5 %.

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 (+1,1°C). Néanmoins, aucune température de l'eau supérieure à 30°C, de novembre à mai, et à 35°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 >100 en moyenne depuis 1997). 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, voir 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 thermique de la centrale 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 (7,5 %) 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 2020, bien que la pluviométrie excédentaire de février et mars 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 l'ammonium). Dès le démarrage de la poussée phytoplanctonique à la mi-mars, les concentrations de DIN ont rapidement baissées. Cela a tout de même suffi à soutenir la production phytoplanctonique, caractérisée par la prolifération de la prymnésiofycée *Phaeocystis globosa* de mi-mars à mi-mai, dans la moyenne des abondances observées ces dernières années, mais plus étendue qu'à l'accoutumée (mi-mars-mi-mai). Cette année encore, la biomasse phytoplanctonique (estimée par la concentration en chlorophylle a) était très faible pour la région, avec un pic printanier inférieur au minimum observé sur la période 1989-2019 (< 20 µg.l-1). 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.*

Contrairement au schéma habituel, observé lors de la seconde campagne pélagique de septembre 2020, les résultats obtenus lors de la campagne de juin 2020 ont montré que la

concentration en chlorophylle a, ainsi que le pourcentage de chlorophylle active, n'étaient pas plus faible au point Rejet par rapport aux points Prise et Référence, contrairement à la diversité spécifique et à l'abondance phytoplanctonique. En effet, la hausse de la température, la chloration et les effets mécaniques lors du transit du phytoplancton dans la centrale qui, habituellement, portent atteinte à la structure des cellules phytoplanctoniques (mortalité, rupture des colonies, cassure des appendices), auraient dû avoir un impact sur la concentration en chlorophylle a, comme cela est habituellement observé sur ce site. Cette originalité du phénomène ne trouve pas d'explication scientifique au regard des données disponibles. L'effet négatif sur la diversité et l'abondance cellulaire a été également plus étendu spatialement que ce qui est observé habituellement, comme l'ont montré les résultats au point Contrôle. Toutefois, 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, avec notamment, de fortes concentrations de noctiluques sur ces deux points très côtiers lors de la campagne de juin, 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, phytoplancton et zooplancton) opérée à Gravelines en 2020, ne présentent pas de caractéristiques ou de modifications pouvant être reliée 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. Les analyses ont permis de distinguer des assemblages faunistiques caractéristiques qui correspondent à la zonation naturelle de l'estran, qui sont stables par rapport aux années précédentes. 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 2020.

En ce qui concerne le benthos subtidal, les sédiments au point B (hors influence de la centrale) sont composés majoritairement de sables fins, alors que ceux du point C (sous l'influence du panache de rejet du CNPE) sont composés essentiellement de sables moyens à fins. Les pélites (fraction fine) ainsi que les particules les plus grossières étaient quasi inexistantes au point C. 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. 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, voire très bonne en période estivale, et même meilleure qu'au point B. En 2020, elle était également meilleure aux années antérieures évoquant une légère amélioration du milieu. Les résultats enregistrés en 2020 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, 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 2020 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 associées.

Le domaine halieutique

En 2020, une seule campagne d'échantillonnage a pu être réalisée en juillet (au lieu de deux campagnes réglementaires habituellement réalisées plus tôt dans l'année) du fait de la situation sanitaire liée à la COVID-19. Ceci a eu pour conséquence l'absence d'oeufs et de larves de sprat et de sole dans les échantillons collectés. Lors de cette campagne, les valeurs d'abondance de larves de crevette grise enregistrées au niveau du point Contrôle s'inscrivaient dans l'intervalle de celles des points Prise, Côte et Large. Toutefois, l'influence éventuelle des rejets du CNPE de Gravelines sur cette population reste difficile à évaluer de par notamment l'échantillonnage réglementaire actuel (deux campagnes réglementaires par an), et plus encore en 2020 du fait de la réalisation d'une seule campagne réglementaire, qui ne permet donc pas de couvrir entièrement la période de reproduction de la crevette grise, qui s'étend sur une longue période, et qui conduit donc à une variabilité interannuelle élevée des abondances, rendant difficile l'interprétation de l'évolution à long terme. Au vu de ces éléments, l'incidence de l'abandon d'une campagne réglementaire reste très limitée en regard de l'historique de la surveillance halieutique.

La stratégie de surveillance du domaine halieutique n'a pas mis en évidence au cours de l'année 2020 à Gravelines, de modification significative des abondances de 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 2020, ne met pas en évidence d'influence perceptible du fonctionnement du CNPE sur les différents compartiments pélagiques, benthiques et halieutiques.

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. Si la disparition des espèces vasicoles au profit d'espèces sabulicoles confirme cette année encore l'impact courantologique du CNPE sur la communauté benthique subtidale, celui-ci reste 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 » et de la « grande zone » ont été réalisés sur trois périodes distinctes en septembre, octobre et décembre 2020, en raison de contraintes administratives, logistiques et météorologiques.

La bathymétrie 2020 ainsi que les plans différentiels de l'évolution de la « grande zone » entre 2017 et 2020 et de la « petite zone » entre 2019 et 2020 sont donnés en **annexe 4**.

Les bathymétries réalisées en 2020 montrent, en termes de cumul des hauteurs de sédiment, un léger ensablement sur la « petite zone » et une variation stable sur l'ensemble de la « grande zone ». Quant à la dynamique sédimentaire, on constate une circulation globale des sédiments de même nature que celle des années précédentes avec des alternances de zones de dépôt et d'érosion de proportion relativement identiques.

Sur la zone de rejet, il ne ressort pas d'indicateur particulier montrant des problèmes d'écoulement des flux issus du canal. Les courants dominants (de marée) semblent relativement bien jouer leur rôle d'évacuateur même si la zone de rejet reste à surveiller en raison de sa tendance à stocker une partie des sédiments.

VI. Acoustique environnementale

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

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

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

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

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

La Mission Communication du CNPE de Gravelines réalise des informations, par le biais du numéro vert du CNPE 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.

Un numéro permet de retrouver toute l'actualité du CNPE de Gravelines, 24 heures sur 24 : 03 28 68 42 36.

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 V Surveillance de l'environnement, I- Surveillance de la radioactivité dans l'environnement).

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

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

https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/environnement/IRSN-ENV_Bilan-Radiologique-France-2015-2017.pdf

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

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

Les principales hypothèses retenues sont les suivantes :

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

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

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

L'échelle suivante présente des ordres de grandeur de doses résultant de situations courantes et la comparaison aux seuils réglementaires :

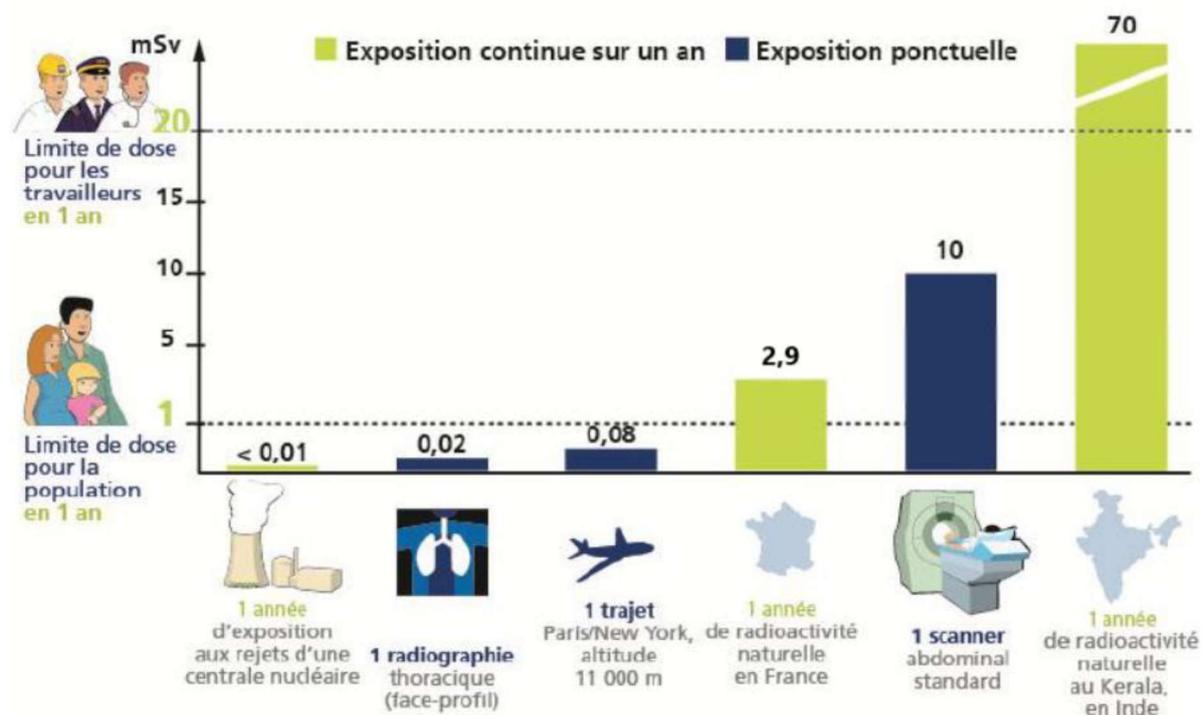


Figure 4 : Echelle des ordres de grandeur de doses résultant de situations courantes et comparaison aux seuils réglementaires (Source : EDF)

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

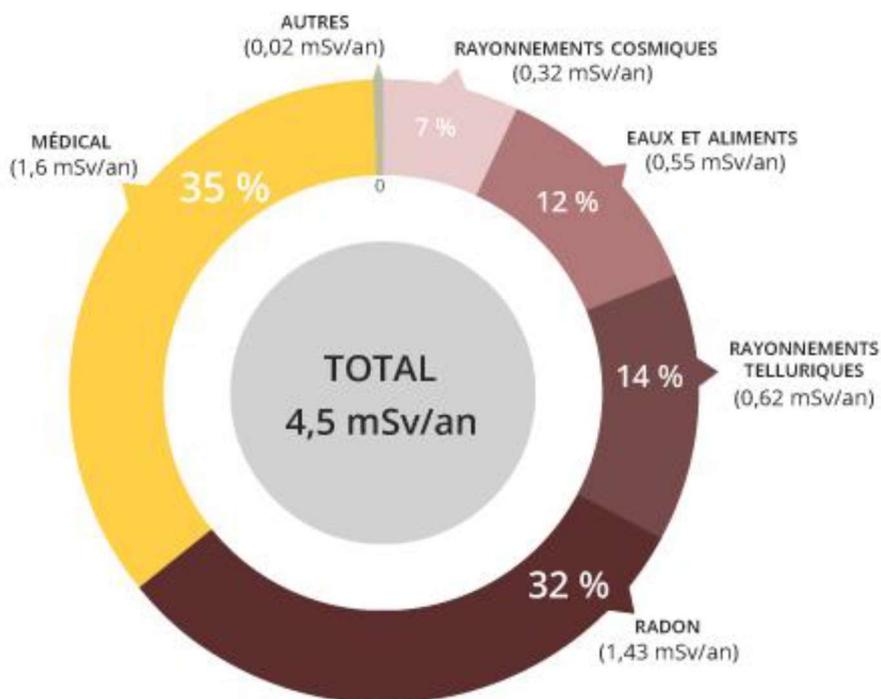


Figure 5 : Part relative des différentes sources d'expositions de la population française aux rayonnements ionisants (Source : Bilan IRSN 2015)

Les tableaux suivants fournissent les valeurs de dose efficace totale calculées à partir des rejets radioactifs réels de l'année 2020 effectués par le CNPE de Gravelines, pour la personne représentative. Cette personne représente les individus pouvant recevoir la dose efficace annuelle maximale induite par les rejets d'effluents radioactifs autorisés du CNPE.

ADULTE	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	6,1E-07	1,4E-05	1,5E-05
Rejets d'effluents liquides	1,8E-06	8,1E-04	8,1E-04
Total	2,5E-06	8,3E-04	8,3E-04

ENFANT DE 10 ANS	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	6,1E-07	1,4E-05	1,4E-05
Rejets d'effluents liquides	2,8E-06	4,8E-04	4,8E-04
Total	3,5E-06	4,9E-04	5,0E-04

ENFANT DE 1 AN	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	6,4E-07	1,6E-05	1,7E-05
Rejets liquides	1,1E-06	3,9E-05	4,0E-05
Total	1,7E-06	5,6E-05	5,7E-05

Les valeurs de doses calculées sont inférieures à 1.10^{-3} mSv/an pour l'adulte et pour 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 2020 sont plus de 1 000 fois inférieures à la limite d'exposition fixée à 1 mSv par an pour la population, par l'article R1333-11 du Code de la Santé Publique. L'ensemble des populations résidant de manière permanente ou temporaire autour du CNPE est exposé à une dose efficace inférieure ou égale à la dose calculée pour la personne représentative, présentée ci-dessus.

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

Partie 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 quatre principes :

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

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

I. Les déchets radioactifs

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

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

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

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

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

1. Les catégories de déchets radioactifs

Selon la durée de vie des éléments radioactifs contenus et le niveau d'activité radiologique qu'ils présentent, les déchets sont classés en plusieurs catégories. On distingue les déchets « à vie courte » des déchets « à vie longue » en fonction de leur période (une période s'exprime en années, jours, minutes ou secondes. Elle quantifie le temps au bout duquel l'activité radioactive initiale du déchet est divisée par deux).

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

Ces déchets proviennent essentiellement :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2. Le transport des déchets

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

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

DE LA CENTRALE AUX CENTRES DE TRAITEMENT ET DE STOCKAGE

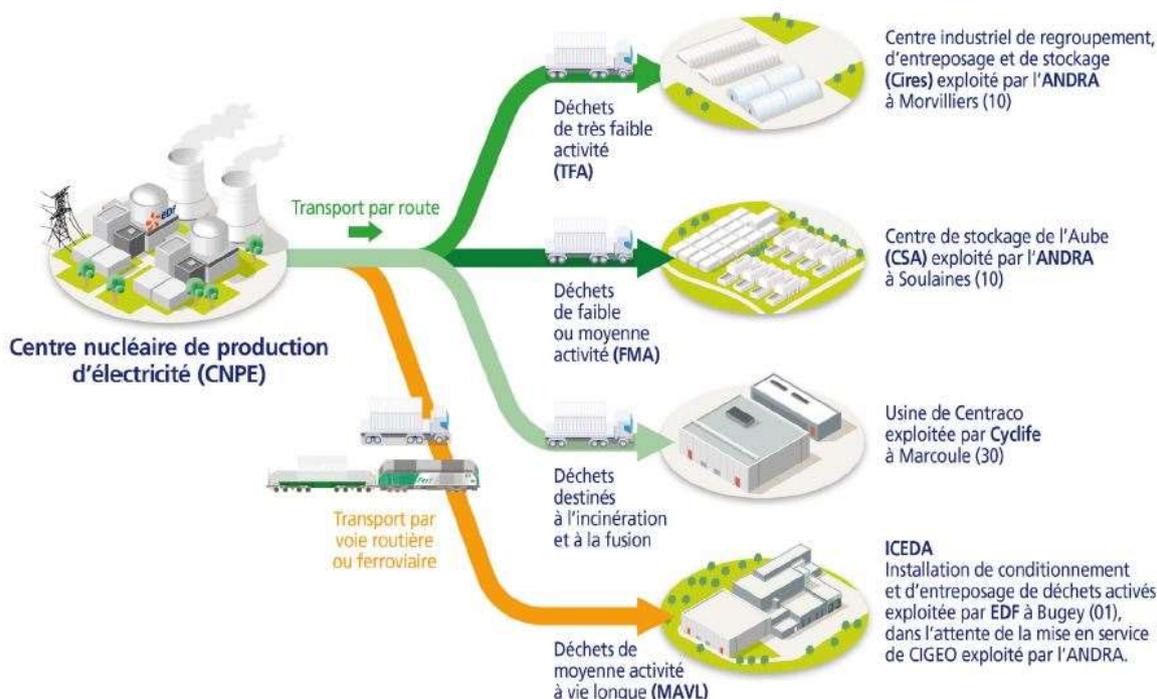


Figure 6 : Transport des déchets radioactifs (Source : EDF)

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

Le tableau suivant présente les quantités de déchets en attente de conditionnement au 31 décembre 2020 pour les 6 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Gravelines.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2020	Commentaires
TFA	207,81 tonnes	En conteneur sur l'aire TFA
FMAVC (Liquides)	7,7 tonnes	Effluents du lessivage chimique, huiles, solvants...
FMAVC (Solides)	305,57 tonnes	Localisation Bâtiment des Auxiliaires Nucléaire et Bâtiment Auxiliaire de Conditionnement (BAC)
MAVL	429 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 2020 pour les 6 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Gravelines.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2020	Commentaires
TFA	369 colis	Tous types d'emballages confondus
FMAVC	95 colis	Coques béton
FMAVC	440 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 2020 pour les 6 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Gravelines.

Site destinataire	Nombre de colis évacués
Cires à Morvilliers	228
CSA à Soulaines	752
Centraco à Marcoule	2593

En 2020, 3573 colis ont été évacués vers les différents sites de traitement ou de stockage appropriés (Centraco et Andra).

II. Les déchets non radioactifs

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

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

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

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

Le tableau ci-dessous présente les quantités de déchets conventionnels produites en 2020 par les INB d'EDF.

Quantités 2020 (en tonnes)	Déchets dangereux		Déchets non dangereux non inertes		Déchets inertes		Total	
	<i>produits</i>	<i>valorisés</i>	<i>produits</i>	<i>valorisés</i>	<i>produits</i>	<i>valorisés</i>	<i>produits</i>	<i>valorisés</i>
Sites en exploitation	9 298	6 599	37 876	33 797	66 410	65 409	113 585	105 805
Sites en déconstruction	1 017	56,1	707	609	447	447	2 170	1 112

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

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

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

Les productions de déchets dangereux et de déchets non dangereux non internes 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 2020, les 6 unités de production du CNPE de Gravelines ont produit 12 521,18 tonnes de déchets conventionnels : 97,6 % de ces déchets ont été valorisés ou recyclés.

ABREVIATIONS

ANDRA - Agence Nationale pour la gestion des Déchets RAdioactifs

ASN - Autorité Sûreté Nucléaire

CNPE - Centre Nucléaire de Production d'Électricité

COT - Carbone Organique Total

DBO5 - Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours

DCO - Demande Chimique en Oxygène

DUS - Diesel d'Ultime Secours

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

ESE - Évènement Significatif Environnement

FMA - Faible Moyenne Activité

ICPE - Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

INB - Installation Nucléaire de Base

IRSN - Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

ISO - International Standard Organization

KRT - Chaîne de mesure de radioactivité

MES - Matières En Suspension

PA - Produit d'Activation

PF - Produit de Fission

REX - Retour d'Expérience

SME - Système de Management de l'Environnement

SMP - Station Multi Paramètres

TAC - Turbine à Combustion

TEU - Traitement des Effluents Usés

TFA - Très Faible Activité

THE - Très Haute Efficacité

UFC - Unité Formant Colonie

ANNEXE 1

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

Janvier									
Minibloc	Concentration eau brute (mg/L)			Concentration eau épurée (mg/L)			Rendement (%)		
	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES	DCO
MB1 bis	210	392	941	3	6	59	99%	98%	94%
MB3	45	440	569	1,5	6	44	97%	99%	92%
MB4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB5	80	2540	4380	6	26	169	93%	99%	96%
MB6	87	240	379	4	12	56	95%	95%	85%
MB7	370	356	1140	8	17	64	98%	95%	94%
MB8	960	1160	2440	1,5	3	21	100%	100%	99%
MB9	300	480	549	1,5	35	82	100%	93%	85%
MB10	17	66	121	1,5	5	15	91%	92%	88%
MB11	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
MB1 bis	150	528	658	3,3	8	32	98%	98%	95%
MB3	17	25	193	1,5	8	51	91%	68%	74%
MB4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB5	560	716	8890	1,5	16	54	100%	98%	99%
MB6	290	820	1400	4	26	71	99%	97%	95%
MB7	210	326	803	3	20	52	99%	94%	94%
MB8	520	246	1250	1,5	1	20	100%	100%	98%
MB9	290	316	997	3	23	65	99%	93%	93%
MB10	16	41	145	1,5	3	14	91%	93%	90%
MB11	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
MB1 bis	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB3	11	125	206	1,5	7	43	86%	94%	79%
MB4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB6	250	416	893	3	19	116	99%	95%	87%
MB7	3400	2600	8190	3,8	15	46	100%	99%	99%
MB8	190	123	652	1,5	5	33	99%	96%	95%
MB9	130	159	306	1,5	19	49	99%	88%	84%
MB10	470	848	1550	1,5	5	25	100%	99%	98%
MB11	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
MB1 bis	430	648	1320	5	8	49	99%	99%	96%
MB3	130	27	443	9	2	36	93%	93%	92%
MB4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB7	210	485	1210	6	15	39	97%	97%	97%
MB8	460	183	1050	3	2	11	99%	99%	99%
MB9	280	179	779	5	10	31	98%	94%	96%
MB10	110	239	522	6	7	125	95%	97%	76%
MB11	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
MB1 bis	81	213	441	3	4	16	96%	98%	96%
MB3	34	233	437	3	6	45	91%	97%	90%
MB4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB7	220	271	691	3	4	24	99%	99%	97%
MB8	440	246	1050	3	2	24	99%	99%	98%
MB9	180	364	661	3	20	40	98%	95%	94%
MB10	19	106	129	3	2	23	84%	98%	82%
MB11	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
MB1 bis	480	1090	1180	3	2	20	99%	100%	98%
MB3	130	53	429	3	4	19	98%	92%	96%
MB4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB6	350	386	1320	3	8	24	99%	98%	98%
MB7	210	168	623	4	22	69	98%	87%	89%
MB8	730	363	1550	3	2	19	100%	99%	99%
MB9	720	937	1430	3	4	20	100%	100%	99%
MB10	76	320	367	3	9	25	96%	97%	93%
MB11	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 2019 (IRSN)

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

Année 2019

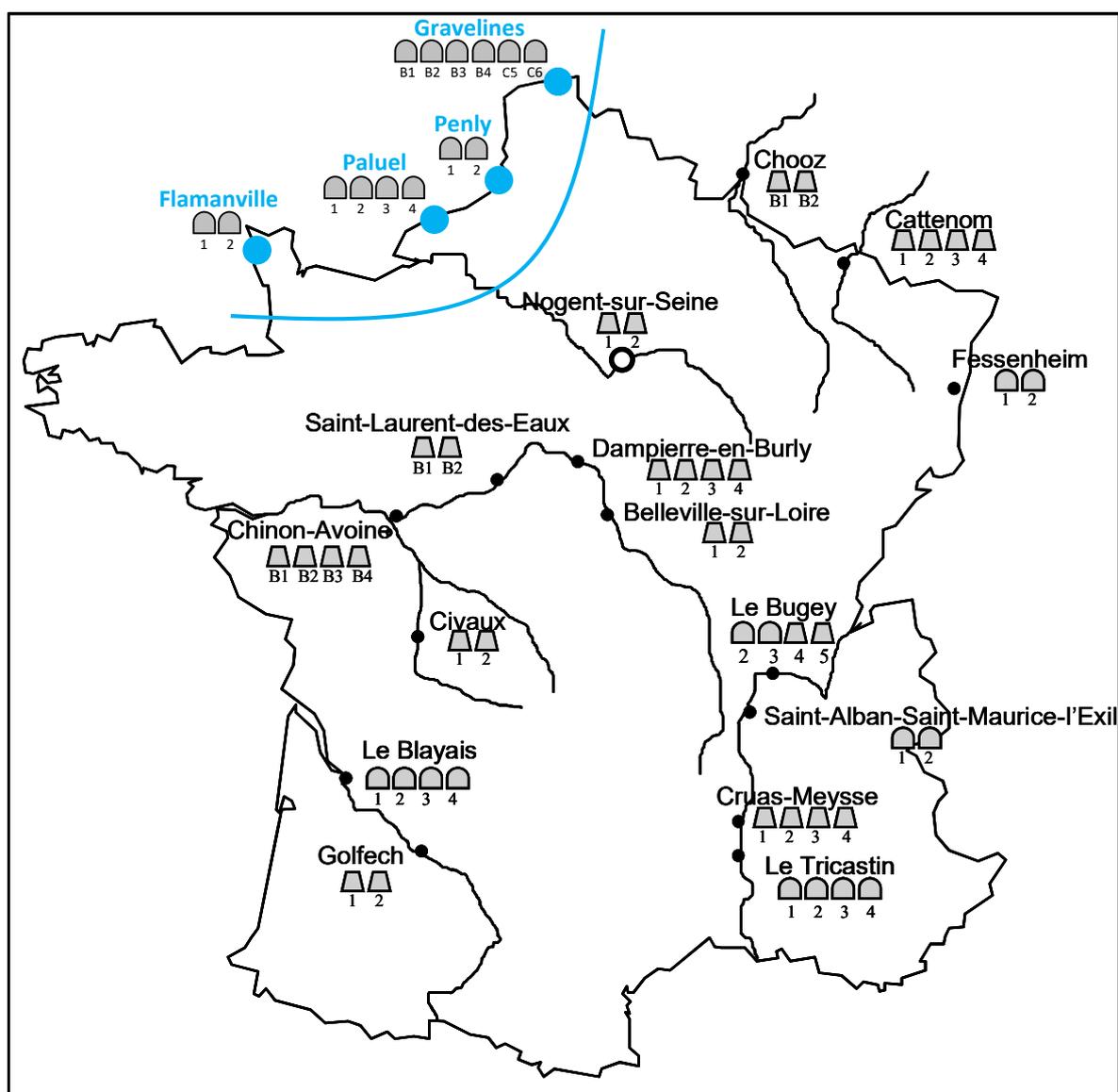
Rapport IRSN/2021-00434

Pôle Santé et Environnement

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

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

Année 2019



7 ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE GRAVELINES

7.1 Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures

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

Les modalités d'exploitation et les limites des rejets d'effluents du CNPE de Gravelines, en mer et dans l'atmosphère, sont définies par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). L'exploitant n'a pas porté à la connaissance de l'IRSN d'évènements intéressant l'environnement pour l'année 2019 ayant pu avoir une conséquence mesurable sur les niveaux d'activité des échantillons analysés dans le cadre du suivi.

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

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

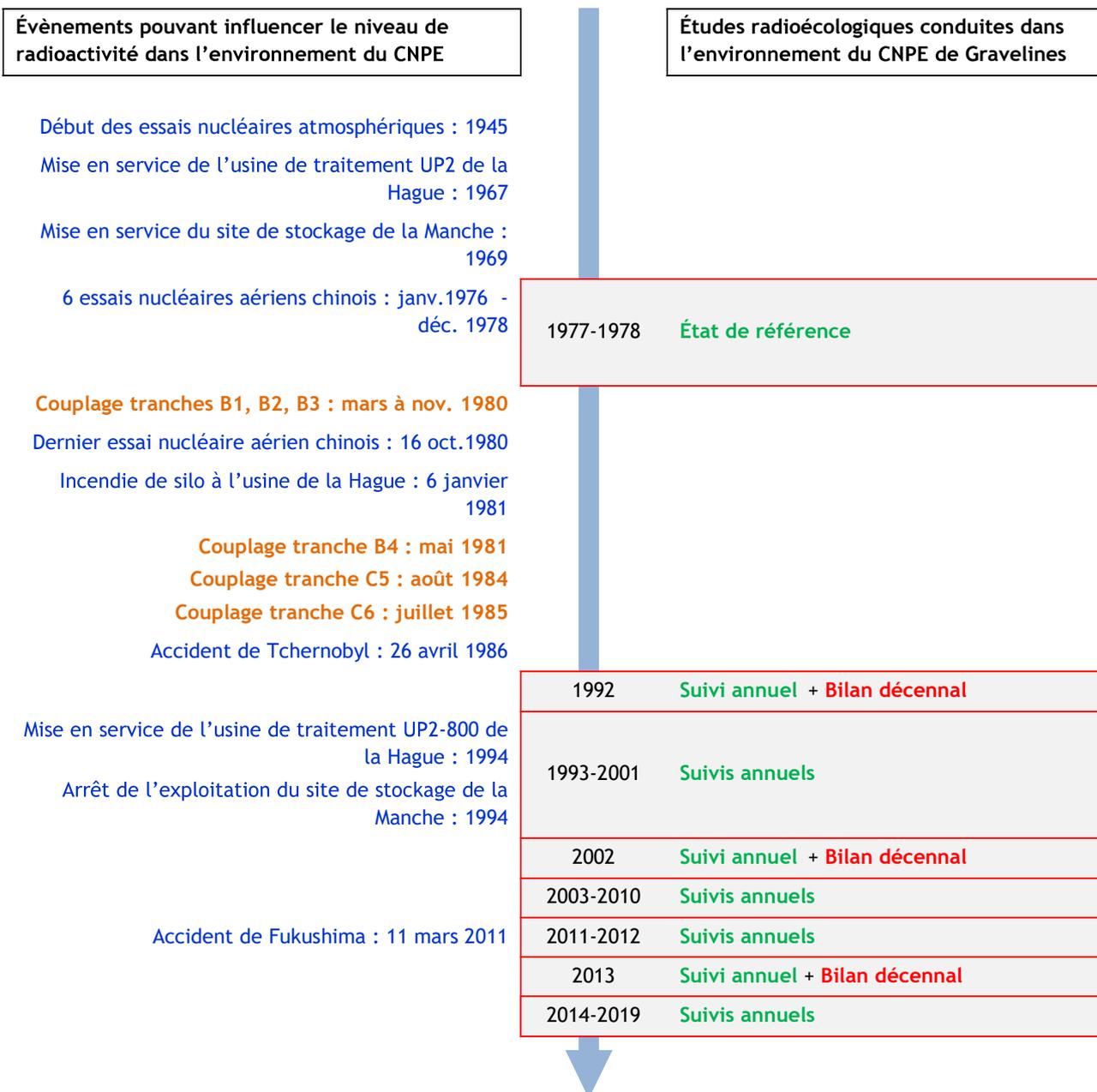


Figure 24 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Gravelines.

7.2 Etat radiologique de l'environnement terrestre

7.2.1 Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvements ainsi que la nature des échantillons collectés sont reportées sur la Figure 25 page 160. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 83 page 158 et suivante. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique des sols de pâturage échantillonnés sont présentées dans le Tableau 97 page 185. Le choix des stations et de la nature des prélèvements permet la comparaison des résultats avec ceux des études antérieures. Les sols échantillonnés sont des sols non cultivés sur lesquels les cultures, pluriannuelles, ne demandent aucun remaniement (pâturages). Ce type de sol est privilégié dans l'objectif de mesurer l'accumulation des dépôts atmosphériques. Les échantillons sont, en dehors des indicateurs végétaux (mousses terricoles et lierre), des vecteurs directs ou indirects de radioactivité vers l'homme. Ils sont caractéristiques des principales activités agricoles de la région. Les végétaux cultivés (salade et herbe) sont communs sur l'ensemble du territoire français. Leur cycle végétatif annuel et leur grande surface d'interception en font d'assez bons indicateurs de marquage. De l'eau de boisson et du lait de vache sont collectés sur une commune à proximité du site. Dans la stratégie générale, une mousse terricole, une production agricole, un sol de prairie, de l'herbe, un lait et une eau de boisson sont prélevés sous les vents dominants. Une production agricole et un sol de pâturage sont prélevés hors vents dominants.

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

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

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

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

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

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

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

- : absence de traitement.

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



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

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

7.2.2 Résultats et interprétation

7.2.2.1 *Radionucléides émetteurs gamma*

7.2.2.1.1 Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine naturelle dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 98 page 186.

En 2019, la radioactivité d'origine naturelle quantifiée dans les matrices terrestres environnant le CNPE de Gravelines est du même ordre de grandeur que celle mesurée lors de l'état de référence et depuis le début des suivis radioécologiques annuels. Les activités détectées sont en accord avec les valeurs habituelles pour ces matrices [3]. La radioactivité d'origine naturelle présente une composante tellurique prépondérante dans les sols et les végétaux. Elle est liée principalement à la présence de ^{40}K et, dans une moindre mesure, aux radionucléides des familles du ^{232}Th et de ^{238}U . Dans les sols, les activités massiques en ^{40}K , en descendants du ^{232}Th et du ^{238}U sont en accord avec les valeurs observées en France métropolitaine [3, 26, 27]. La seconde composante, cosmogénique, est due au ^7Be , présent dans les végétaux dont la surface foliaire est propice à la captation des retombées atmosphériques. Dans le lait de vache, le ^{40}K est toujours proche de 50 Bq.L^{-1} , quels que soient l'année ou le lieu du prélèvement, car la teneur en potassium du lait est physiologiquement régulée chez l'animal. Ces résultats de mesure attestent de l'absence de biais dans les étapes de préparation et de mesure des échantillons.

7.2.2.1.2 Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine artificielle dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 99 page 187.

Dans les sols, le seul radionucléide d'origine artificielle quantifié est le ^{137}Cs . Ce radionucléide est également quantifié dans les salades, l'herbe, et les mousses, mais il ne l'est pas dans le lait. Les activités en ^{137}Cs détectées dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines en 2019 sont en accord avec les niveaux observés au cours des dix dernières années (Figure 26 page 162, et Tableau 85 à Tableau 91, pages 173 et suivantes) et avec le bruit de fond attendu en milieu continental [3]. L'évolution temporelle des niveaux d'activité du ^{137}Cs dans l'environnement terrestre du CNPE témoigne de niveaux relativement stables de cet élément au cours des dix dernières années (Figure 26 page 162). Du ^{60}Co et du $^{110\text{m}}\text{Ag}$ sont également détectés dans l'herbe échantillonnée en champ proche du CNPE de Gravelines, à faible distance de la mer, et leur présence peut être imputable à un apport atmosphérique *via* les embruns et aérosols marins [34] marqués par les rejets d'effluents liquides des installations implantées en Manche et Mer du Nord dont le CNPE de Gravelines et l'usine ORANO La Hague. Les analyses d' ^{131}I réalisées sur l'échantillon frais de mousses ne révèlent pas la présence de cet élément à des niveaux d'activité supérieurs au seuil de décision. Les activités γ détectées dans le cadre de cette étude ne mettent pas en évidence de marquage de l'environnement par les rejets d'effluents atmosphériques du CNPE.

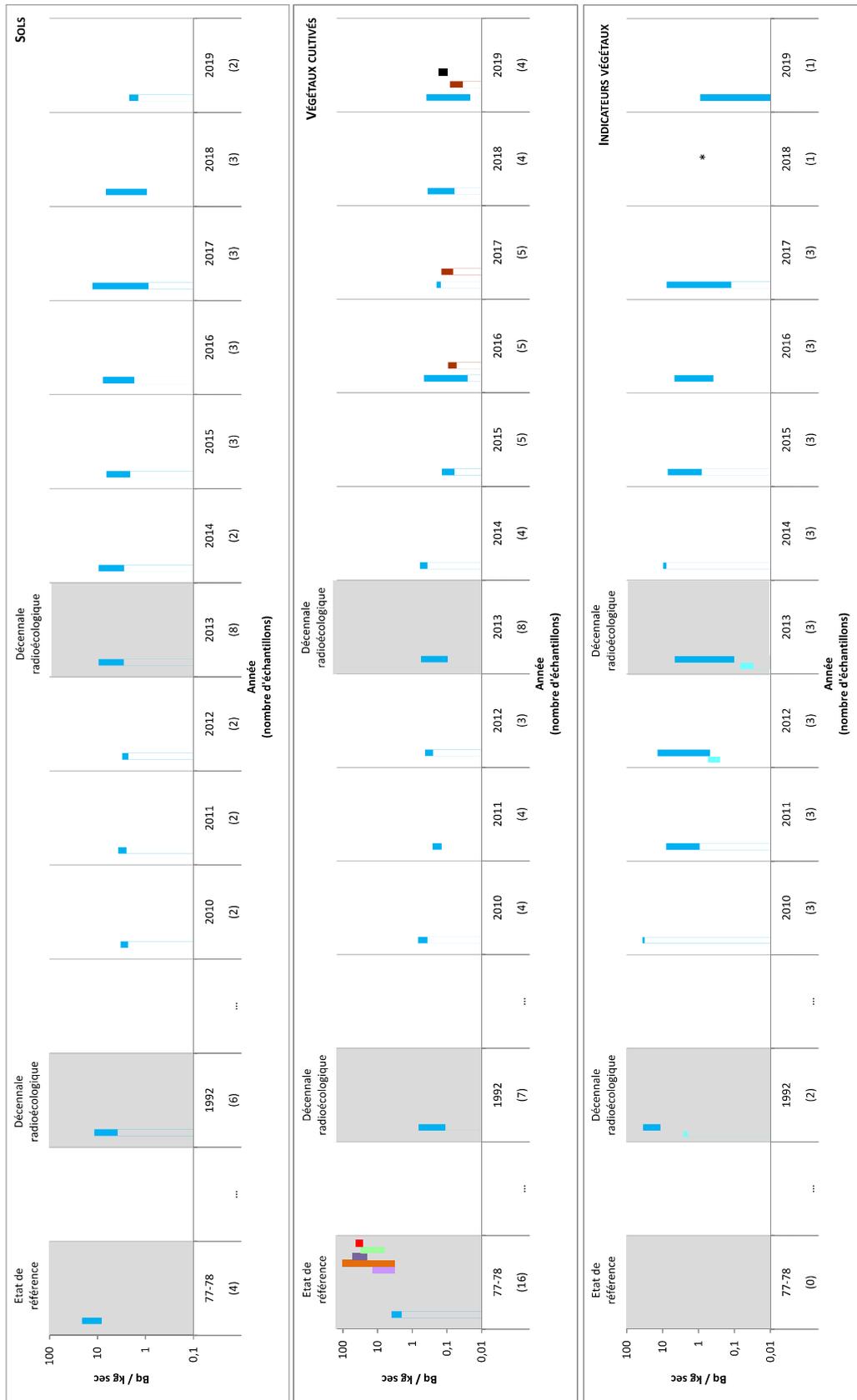


Figure 26 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des sols (cultivés et non cultivés), végétaux cultivés (herbe et légumes) et indicateurs végétaux (mousses) échantillonnés dans l'environnement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

7.2.2.2 Radionucléides émetteurs bêta

7.2.2.2.1 Tritium

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

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

7.2.2.2.2 Carbone 14

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

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

7.3 État radiologique de l'environnement aquatique

7.3.1 Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvements ainsi que la nature des échantillons collectés sont reportées sur la Figure 27 page 167. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 84 pages 164 et suivantes. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique des sédiments échantillonnés sont présentées dans le Tableau 103 page 191. Le choix des stations et de la nature des prélèvements permet la comparaison des résultats avec ceux des études antérieures. Les matrices biologiques échantillonnées sont les plus abondantes localement et/ou caractéristiques de l'économie locale. Elles correspondent également, pour la plupart, aux espèces prélevées lors de l'état de référence et au cours de la dernière décennie. Au niveau des stations côtières, accessibles à marée basse, les prélèvements de sédiments, d'algues et de mollusques (moules) ont été effectués à la main, tandis que les prélèvements de poissons et de crustacés ont été confiés à un pêcheur professionnel. Dans la mesure du possible, des sédiments fins, ayant une surface spécifique importante plus propice au piégeage des radionucléides, ont été privilégiés (port de Grand-Fort-Philippe). De même, des sédiments de granulométrie proche ont été recherchés afin de mieux comparer les résultats des différents points de prélèvement. Cependant, la configuration des plages locales n'a pas toujours rendu ces buts atteignables, notamment aux autres stations de Gravelines (prise eau, Jetée des Huttes) et à Audinghen, où seuls des sédiments relativement grossiers ont pu être récoltés.

Les stations de prélèvements ont été définies en fonction de l'hydrodynamisme local le long de la côte d'Opale et des dunes de Flandre (cf. paragraphe 7.1 page 155). La zone marine potentiellement la plus influencée est située en champ proche (CP), un terme qui désigne des stations situées à proximité du ou des points de rejets d'effluents liquides du CNPE, et/ou dans la zone d'excursion du panache des rejets d'effluents liquides du CNPE, et qui sont donc potentiellement influencées quotidiennement par ces rejets. A Gravelines, le champ proche désigne les stations situées à quelques kilomètres au sud-ouest et au nord-est du CNPE, soit d'Oye-Plage à Dunkerque. Les stations de référence sont situées en champ lointain (CL), un terme qui désigne des stations situées suffisamment à distance du ou des points de rejets d'effluents liquides du CNPE pour être considérées comme n'étant que peu influencées par ces rejets. Cette distance s'apprécie en fonction des conditions hydrodynamiques locales moyennes. A Gravelines, où la dérive des eaux côtières peut s'inverser temporairement vers l'ouest en période de vents de secteur est à nord-est persistant [1, 2], le champ lointain désigne les stations situées au-delà de quelques dizaines de kilomètres à l'ouest du CNPE, soit au niveau du Cap Gris-Nez (Audinghen et Tardinghen).

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

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

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

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

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

- : absence de traitement.

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

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



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

¹² Bleu foncé : stations en champ proche (sous influence potentielle des rejets d'effluents liquides du CNPE ; CP). Bleu clair : station en champ lointain et hors influence potentielle des rejets d'effluents liquides du CNPE (CL).

7.3.2 Résultats et interprétation

7.3.2.1 *Radionucléides émetteurs gamma*

7.3.2.1.1 Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine naturelle dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 104 pages 192 et suivante.

En 2019, la radioactivité d'origine naturelle détectée dans les matrices marines environnant le CNPE de Gravelines est qualitativement et quantitativement équivalente à celle mesurée lors de l'état de référence et depuis le début des suivis radioécologiques annuels. Les activités détectées sont en accord avec les valeurs habituelles pour ces matrices [3]. Le ^{40}K est le radionucléide prépondérant en termes d'activité. Les activités en ^{40}K dans les poissons sont en accord avec les valeurs attendues pour ces animaux dont la teneur en potassium est physiologiquement régulée (activité massique toujours proche de 100 Bq.kg^{-1} frais). Le ^7Be est détecté dans les matrices régulièrement émergées lors du cycle de marée, c'est notamment le cas des algues, du fait de leur capacité à capter les aérosols, des sédiments fins, présentant des teneurs élevées car ils sont aptes à retenir les radionucléides, et des mollusques. L'ensemble des résultats obtenus permet d'assurer que les échantillons n'ont pas subi de biais au cours des étapes de préparation et d'analyse par spectrométrie gamma.

7.3.2.1.2 Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine artificielle dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 105 pages 194 et suivante.

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

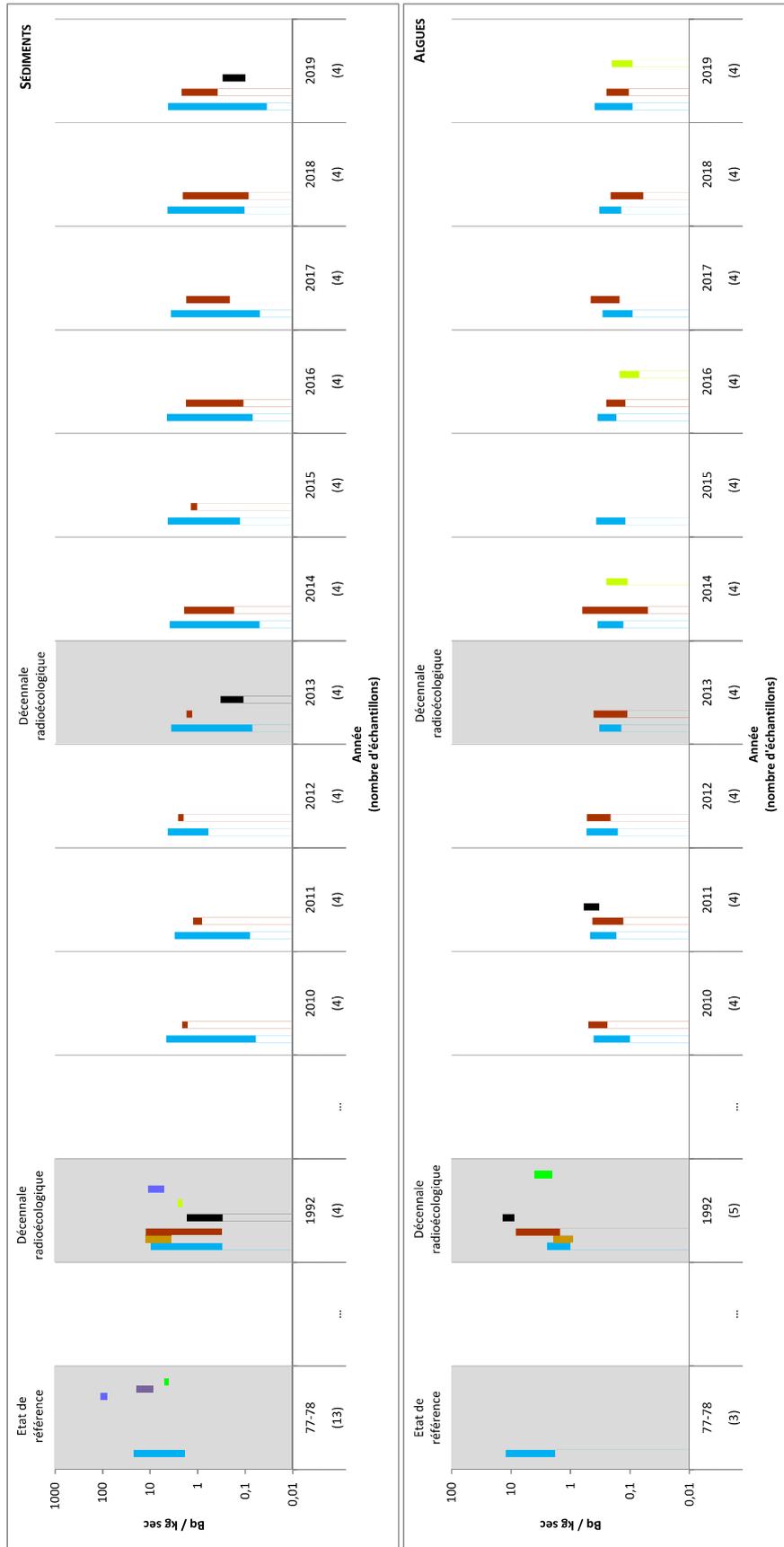


Figure 28 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des sédiments et des algues échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines.

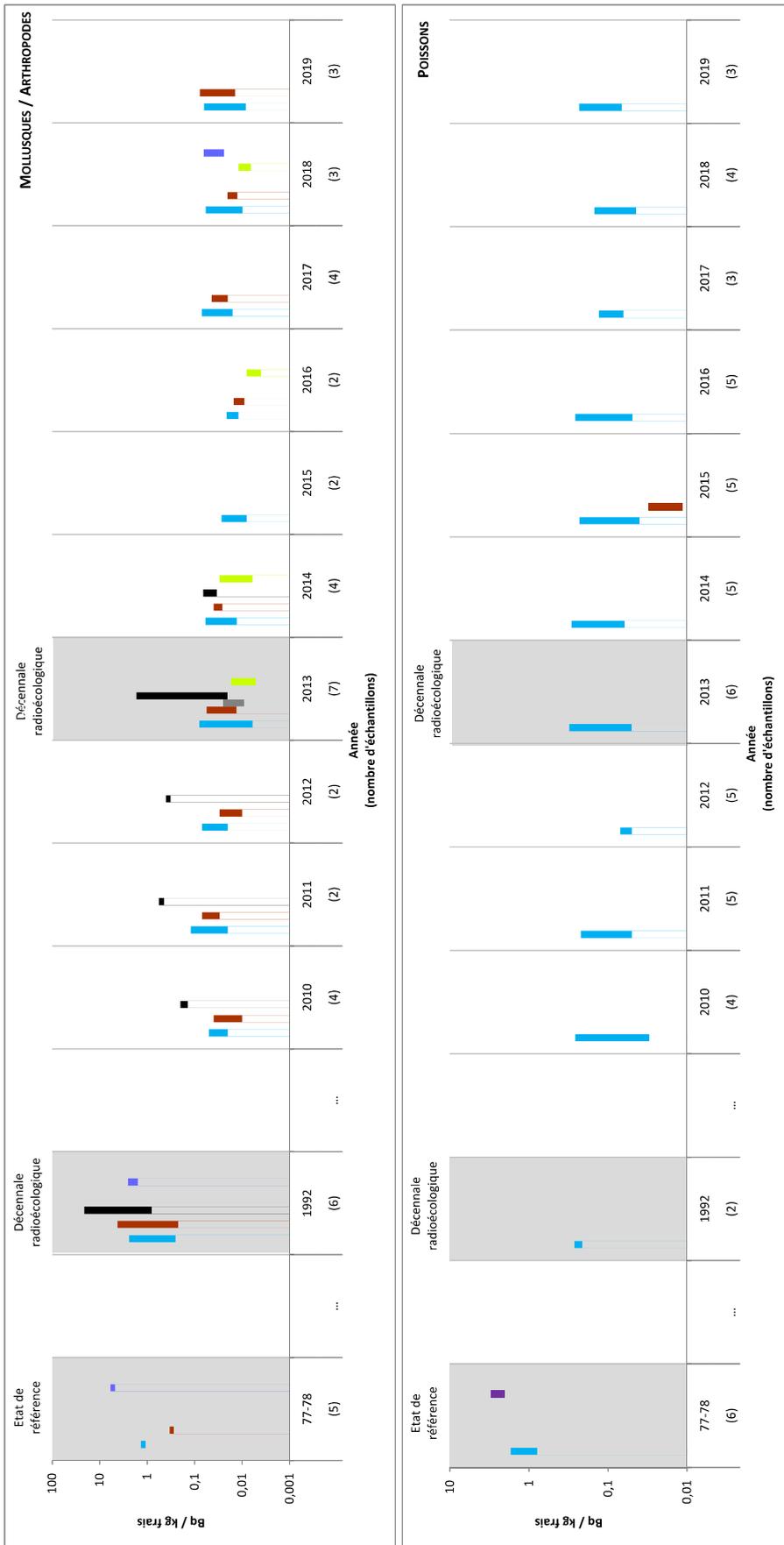


Figure 29 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ au sein des mollusques et crustacés et des poissons échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines.

7.3.2.2 Radionucléides émetteurs bêta

7.3.2.2.1 Tritium

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

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

7.3.2.2.2 Carbone 14

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

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

7.3.2.2.3 Nickel 63 et Fer 55

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

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

Le ⁵⁵Fe, recherché dans les algues et les mollusques, n'y est pas décelable en 2019. La technique de mesure du ⁵⁵Fe, fournit pour ces échantillons des limites de détection trop élevées pour affiner le diagnostic, comme ce fut le cas pour les précédents bilans décennaux des CNPE de la Manche et de la Mer du Nord depuis 2011.

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

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

La radioactivité gamma d'origine artificielle du milieu terrestre est exclusivement imputable au ^{137}Cs , présent dans le sol, l'herbe, les salades et la mousse échantillonnées, sans que la contribution des rejets du site ne soit démontrée. La présence de ce radionucléide artificiel dans l'environnement terrestre est essentiellement liée aux retombées des essais aériens d'armes nucléaires, l'accident de Tchernobyl ayant peu marqué la côte d'Opale. La dispersion de ^{137}Cs depuis le milieu marin vers l'environnement terrestre *via* les aérosols marins n'est également pas à exclure pour expliquer la présence de ce radionucléide au sein des matrices terrestres échantillonnées à proximité immédiate de la côte. Les activités en tritium libre et organiquement lié ne mettent pas en évidence de marquage lié aux rejets d'effluent à l'atmosphère. L'activité en ^{14}C dans les salades d'Offekerque et de Gravelines est significativement supérieure au bruit de fond moyen sur le territoire français hors influence industrielle (proche de $230 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ d'après [3]), tandis qu'elle est proche du bruit de fond dans les salades de Dunkerque et dans le lait. Au vu des résultats obtenus dans le cadre du suivi radioécologique 2019, il apparaît que les rejets d'effluents à l'atmosphère ne donnent pas lieu à un marquage quantifiable de l'environnement terrestre du site, si ce n'est pour le ^{14}C dans la salade, pour lesquels un apport est mis en évidence en champ proche.

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

7.5 Tableaux de résultats

Tableau 85 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

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

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

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

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

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

Tableau 87 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

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

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

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

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

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	-	-	-	-	9,7 et 19 km	-	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km
Émetteurs β (^3H libre : Bq.L $^{-1}$ d'eau de dessiccation, ^3H lié : Bq.L $^{-1}$ d'eau de combustion ; ^{14}C : Bq.kg $^{-1}$ C)											
^3H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,7 (2/2)	n.a.	n.a.	7,8 (1/1)	n.a.	3,9 (1/1)	2,5 (1/1)
^3H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,4-3,0 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,6 (1/1)	2,1 (1/1)
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	228-229 (2/2)	n.a.	263 (3/3)	248-261 (4/4)	252-264 (4/4)	242-263 (4/4)	243-261 (4/4)

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

Tableau 89 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de légumes (salades, choux-fleurs et pommes de terre) collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

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

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

Tableau 90 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

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

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

Tableau 91 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'eau de boisson collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2,5 km	11,6 km	11,6 km	11,6 km	11,6 km	11,6 km	11,6 km	9,5 km	9,5 km	9,5 km	9,5 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.L⁻¹)											
¹³⁴ Cs	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
¹³⁷ Cs	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
⁵⁷ Co	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
⁵⁸ Co	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
⁶⁰ Co	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{110m} Ag	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
¹⁰⁶ Ru/Rh	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)											
³ H libre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	165 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

Tableau 92 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	1,0 à 40 km	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,0 à 41 km	1,0 à 41 km	1,7 à 41 km	0,7 à 41 km			
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,3-1,6 (3/4)	0,1-4,2 (4/4)	0,1-2,8 (4/4)	0,1-3,9 (4/4)	0,1-3,3 (4/4)	0,09-3,60 (4/4)	0,18-3,90 (2/4)	0,12-4,10 (4/4)	0,10-3,38 (4/4)	0,14-4,01 (4/4)	0,08-3,89 (4/4)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁹ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	0,8 (1/4)	1,9 (1/4)	1,0 (1/4)	2,3 (1/4)	1,5 (1/4)	0,3-1,7 (2/4)	1,2 (1/4)	0,2-1,6 (2/4)	0,3-1,5 (2/4)	0,1-1,9 (3/4)	0,5-1,9 (2/4)
^{110m} Ag	-	-	-	-	0,2 (1/4)	-	-	-	-	-	0,2 (1/4)
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3,4-5,9 (4/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	8,1 (1/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	305 (1/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	232-307 (2/2)	n.a.

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

Tableau 93 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

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

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

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

Tableau 94 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

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

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

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

Tableau 95 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de crustacés collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2,0 km	2,0 km	-	2,0 km	2,0 et 41 km	2,0 et 41 km	-	-	2,0 et 41 km	2,0 km	2,0 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ frais)											
¹³⁴ Cs	-	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,05-0,08 (2/2)	-	n.a.	0,06 (1/1)	0,07 (1/1)	0,04-0,05 (2/2)	n.a.	n.a.	0,04 (1/2)	0,05 (1/1)	0,21 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-
⁶⁰ Co	0,02 (1/2)	-	n.a.	0,02 (1/1)	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-
^{110m} Ag	0,05 (1/2)	-	n.a.	-	0,25 (1/1)	0,05 (1/2)	n.a.	n.a.	-	-	0,25 (1/1)
^{108m} Ag	-	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	0,03 (1/1)	-

Date	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Distance au site	2,0 km	2,0 km	-	2,0 km	2,0 et 41 km	2,0 et 41 km	-	-	2,0 km	2,0 km	2,0 km
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	6,3 (1/1)	4,6 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	7,5 (1/1)	5,2 (1/1)	n.a.	n.a.	6,4 (1/1)	3,9 (1/1)	5,1 (1/1)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	562 (1/1)	308 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

Tableau 96 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de poissons collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2009 à 2019 dans le cadre du suivi radioécologique.

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

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

Tableau 97 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sol collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2019.

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

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

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

Tableau 98 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2019 ($Bq \cdot kg^{-1}$ sec pour les sols et les végétaux, $Bq \cdot L^{-1}$ pour le lait).

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

n.a. : non analysé.

Tableau 99 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2019 ($Bq \cdot kg^{-1} \cdot sec$ pour les sols et les végétaux, $Bq \cdot L^{-1}$ pour le lait).

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{109m}Ag	^{54}Mn	^{125}Sb	^{129}Sb	$^{131}I^*$
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	25/02/2019	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,12	09/05/2019	$\leq 0,090$	$\leq 0,17$	$\leq 0,100$	$\leq 0,12$	$\leq 0,12$	$\leq 0,18$	$\leq 0,26$	n.a.
Gravelines - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	27/08/2019	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,11	18/11/2019	$\leq 0,12$	$\leq 0,24$	$\leq 0,14$	$\leq 0,17$	$\leq 0,18$	$\leq 0,27$	$\leq 0,34$	n.a.
Gravelines - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	27/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	endre	14,45	09/12/2019	$\leq 0,12$	$\leq 0,34$	$\leq 0,18$	$\leq 0,18$	$\leq 0,16$	$\leq 0,32$	$\leq 0,28$	n.a.
Gravelines - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents secondaires, moins de 20 km	Offekerque	27/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	endre	19,02	09/12/2019	$\leq 0,21$	$\leq 0,65$	$\leq 0,37$	$\leq 0,35$	$\leq 0,30$	$\leq 0,60$	$\leq 0,49$	n.a.
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	27/08/2019	Légumes	Salades	Feuilles	endre	23,82	21/10/2019	$\leq 0,11$	$\leq 0,14$	$\leq 0,19$	$\leq 0,16$	$\leq 0,14$	$\leq 0,19$	$\leq 0,28$	n.a.
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Gravelines	25/02/2019	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	endre	1,26	22/08/2019	$\leq 0,023$	$\leq 0,11$	$0,058 \pm 0,023$	$0,134 \pm 0,040$	$\leq 0,030$	$\leq 0,13$	$\leq 0,055$	n.a.
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Loon-Plage	25/02/2019	Mousses terrestres	<i>Tortula ruralis</i> <i>Tortula ruralis</i>	Entier	frais	1,12	28/02/2019	$\leq 0,21$	$\leq 0,25$	$\leq 0,30$	$\leq 0,22$	$\leq 0,28$	$\leq 0,22$	$\leq 0,56$	$\leq 0,26$
Gravelines - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	27/08/2019	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	endre	8,81	16/12/2019	$\leq 0,0029$	$\leq 0,0027$	$\leq 0,0044$	$\leq 0,0044$	$\leq 0,0036$	$\leq 0,0088$	$\leq 0,0066$	n.a.

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

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

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

n.a. : non analysé.

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

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

n.a. : non analysé.

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

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

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

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

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 104 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2019 ($Bq.kg^{-1}$ sec pour les sédiments et les algues, $Bq.kg^{-1}$ frais pour les mollusques, les crustacés et les poissons).

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

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	⁴⁰ K	Famille de ¹³⁷ U		⁷ Be
										²³² Th	²³⁵ U	
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	26/02/2019	Mollusques aquatiques	Moule bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Chair	cenbre	6,06	14/06/2019	70,0±6,8	0,062±0,022	²³⁴ Th ≤ 0,98 ^{234m} Pa ≤ 0,060 ²¹⁰ Pb 0,757±0,095	0,40±0,10
Gravelines - champ lointain	Tardinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	27/08/2019	Mollusques aquatiques	Moule bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Chair	cenbre	4,38	28/11/2019	63,8±6,2	0,099±0,028	≤ 1,3 0,228±0,059	0,27±0,10
Centre Aquacole	Gravelines, lieu-dit Ferme Aquanord	26/02/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	cenbre	3,20	21/10/2019	127±12	≤ 0,027	≤ 0,94 ≤ 0,081	≤ 0,81
Gravelines - champ proche	Gravelines, au large	06/04/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	cenbre	4,84	13/12/2019	127±13	≤ 0,020	≤ 0,71 ≤ 0,066	≤ 0,66
Gravelines - champ lointain	Audinghen au large	12/03/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	cenbre	4,29	17/12/2019	126±12	≤ 0,040	≤ 0,11 ≤ 1,4 ≤ 0,14	≤ 2,1

n.a. : non analysé.

Tableau 105 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2019 ($Bq.kg^{-1}$ sec pour les sédiments et les algues, $Bq.kg^{-1}$ frais pour les mollusques, les crustacés et les poissons).

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

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	¹³⁷ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	^{109m} Ag	⁵⁴ Mn	¹²⁴ Sb	¹²⁵ Sb	^{108m} Ag	¹⁰⁹ Rh	²⁴¹ Am	¹³⁷ I*
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	26/02/2019	Mollusques aquatiques	Moule bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Chair	crendre	6,06	14/06/2019 ≤ 0,0068	0,0179± 0,0043	≤ 0,019	0,0206± 0,0065	≤ 0,011	≤ 0,0084	≤ 0,019	≤ 0,016	≤ 0,0087	≤ 0,076	≤ 0,0087	n.a.
Gravelines - champ lointain	Tardinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	27/08/2019	Mollusques aquatiques	Moule bretonne <i>Mytilus edulis</i>	Chair	crendre	4,38	28/11/2019 ≤ 0,0077	0,0133± 0,0049	≤ 0,018	≤ 0,013	≤ 0,012	≤ 0,0099	≤ 0,018	≤ 0,018	≤ 0,011	≤ 0,086	≤ 0,010	n.a.
Centre Aquacole	Gravelines, lieu-dit Ferme Aquanord	26/02/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	crendre	3,20	21/10/2019 ≤ 0,0067	0,0754± 0,0081	≤ 0,063	≤ 0,0094	≤ 0,013	≤ 0,011	≤ 0,081	≤ 0,016	≤ 0,0081	≤ 0,081	≤ 0,0081	n.a.
Gravelines - champ proche	Gravelines, au large	06/04/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	crendre	4,84	13/12/2019 ≤ 0,0051	0,1073± 0,0099	≤ 0,055	≤ 0,0071	≤ 0,0099	≤ 0,0085	≤ 0,068	≤ 0,011	≤ 0,0059	≤ 0,064	≤ 0,0058	n.a.
Gravelines - champ lointain	Audinghen au large	12/03/2019	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	crendre	4,29	17/12/2019 ≤ 0,011	0,210± 0,021	≤ 0,14	≤ 0,015	≤ 0,023	≤ 0,016	≤ 0,19	≤ 0,025	≤ 0,012	≤ 0,14	≤ 0,012	n.a.

n.a. : non analysé. * Du fait de sa courte période radioactive, l'¹³⁷I a été analysé sur des échantillons frais.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8.1 Radioécologie du milieu terrestre

Le ^{137}Cs est détecté dans la plupart des échantillons prélevés (21 fois sur 26). L'activité la plus élevée ($8,9\pm 0,7 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) est observée dans le sol de pâturage de Sortosville-en-Beaumont, dans la zone hors vents du CNPE de Flamanville. Son activité résulte essentiellement des retombées globales des essais aériens d'armes nucléaires et de l'accident de Tchernobyl (Figure 4 page 28).

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

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

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

À la vue des résultats obtenus dans le cadre du suivi radioécologique 2019, il apparaît que les rejets d'effluents à l'atmosphère des CNPE français côtiers de la Manche et de la Mer du Nord ne donnent pas lieu à un marquage mesurable de l'environnement terrestre, hormis pour les échantillons d'herbe et de lierre échantillonnés à proximité immédiate des CNPE, pour lesquels le marquage par les rejets d'effluents atmosphériques des CNPE est visible pour le ^3H (HTO et TOL) et/ou le ^{14}C .

8.2 Radioécologie du milieu marin

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

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

Parmi ces diverses origines, les rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague sont les plus à même de marquer l'environnement marin des CNPE côtiers de la Manche et de la Mer du Nord. Certains radionucléides émetteurs gamma (tels que le ^{137}Cs , le ^{60}Co , le ^{54}Mn et le $^{110\text{m}}\text{Ag}$), tout comme le ^3H libre, sont communs aux rejets d'effluents liquides des CNPE et de l'usine de retraitement du combustible usé. Cependant, les niveaux d'activité en radionucléides artificiels dans les effluents liquides rejetés en mer par l'usine ORANO La Hague sont de 2 à 4 ordres de grandeur supérieurs à ceux des CNPE, notamment dans le cas du ^3H libre. Ceci se traduit par un gradient décroissant des activités de ces radionucléides entre la presque-île du Cotentin et le détroit du Pas-de-Calais (Figure 30 page 202).

Le ^{137}Cs est le radionucléide artificiel le plus fréquemment détecté au sein des matrices échantillonnées (40 fois sur 49). Les activités en ^{137}Cs sont relativement homogènes de Flamanville à Gravelines (Figure 31 page 203). Néanmoins, les apports de l'usine ORANO La Hague contribuent à doubler les activités en ^{137}Cs sur cette zone comparativement aux niveaux mesurés au sein des eaux Atlantiques en entrée de Manche. D'un point de vue quantitatif, les niveaux d'activités en émetteurs gamma artificiels au sein des organismes consommés demeurent très faibles, de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de mBq par kg de matière fraîche. L' ^{131}I , recherché dans les algues, est détecté dans deux échantillons dans l'environnement des CNPE de Flamanville et Penly.

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

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

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

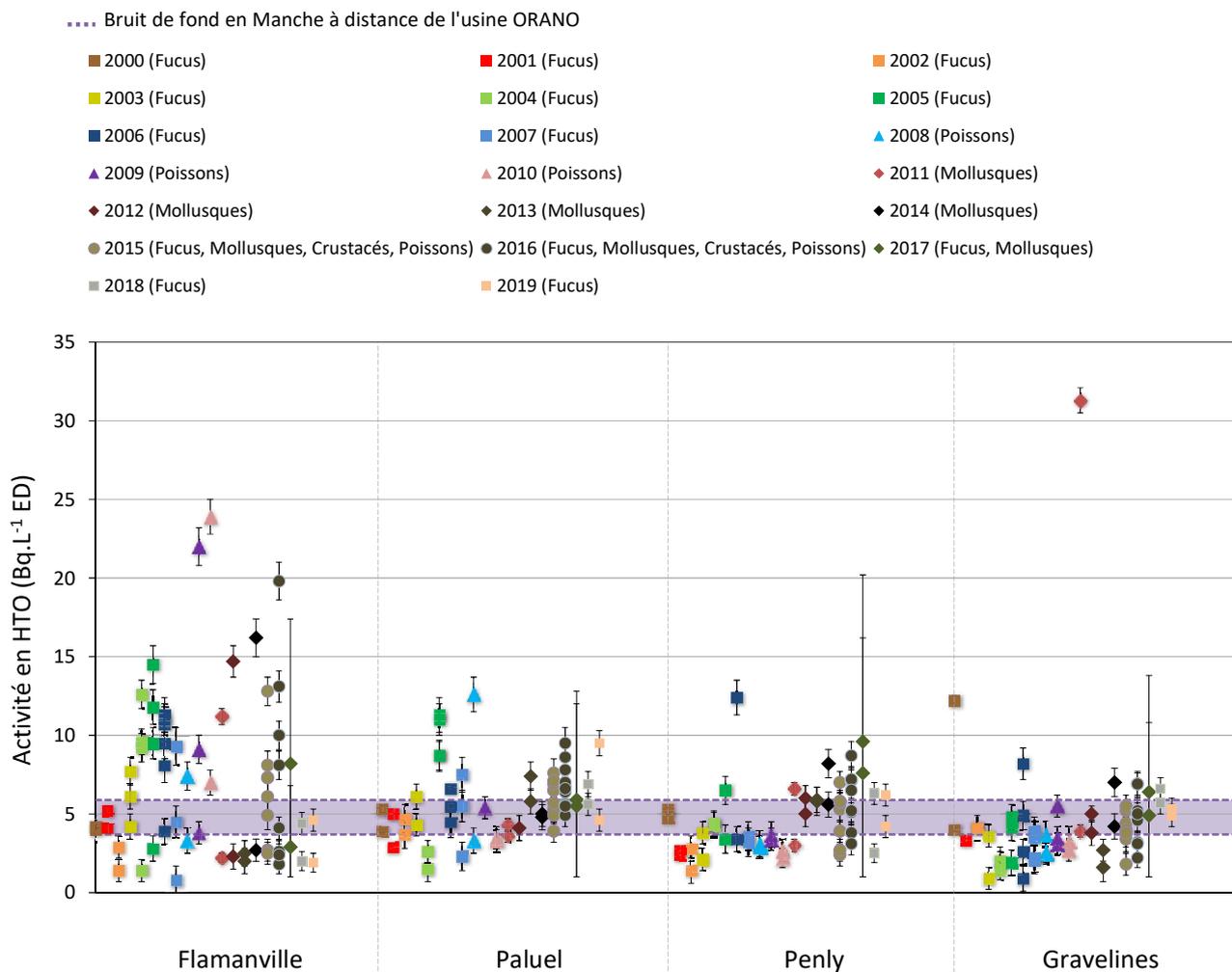


Figure 30 - Activités en tritium libre ($\text{Bq.L}^{-1} \text{ED}$) mesurées dans les algues, les mollusques, les crustacés et les poissons échantillonnés dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord depuis 2000. La zone violette indique le bruit de fond attendu en entrée de Manche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

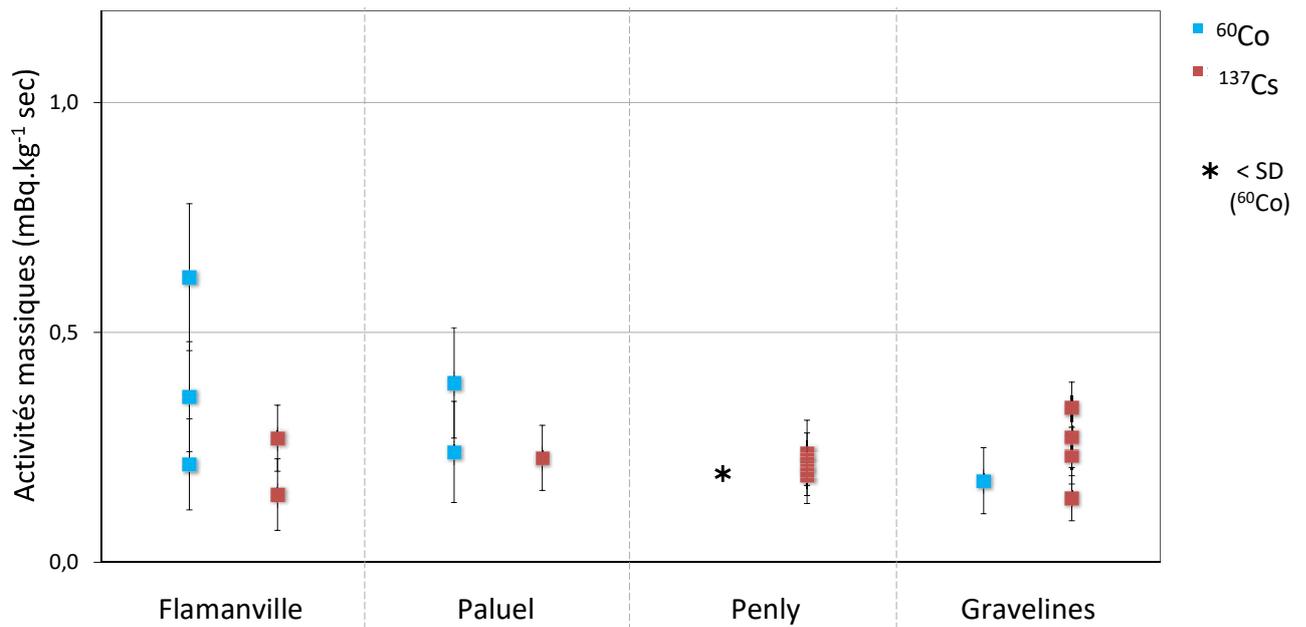


Figure 31 - Activités en ^{60}Co et en ^{137}Cs mesurées dans les algues échantillonnées en 2019 dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord.

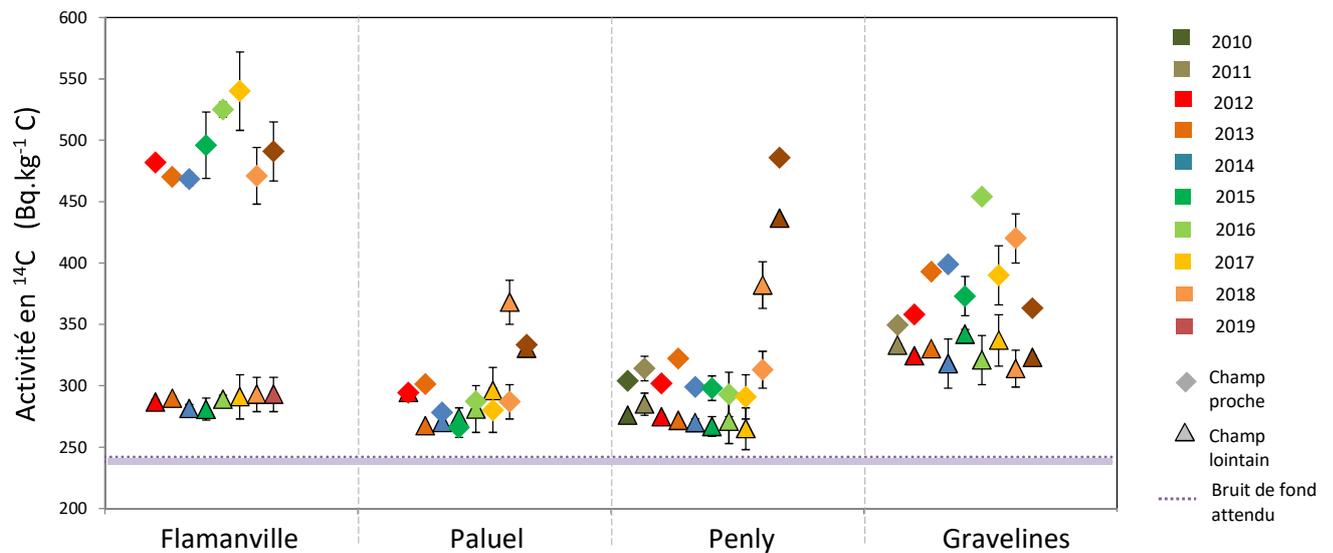


Figure 32 - Activités en ^{14}C ($\text{Bq.kg}^{-1}\text{ C}$) dans les mollusques (patelles et moules) échantillonnés depuis 2010 dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord. Le graphique distingue les prélèvements fait en champ proche de chaque CNPE (losanges) de ceux effectués en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

ANNEXE 3

Résultats de la campagne estivale 2020 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
22/05/2020	11h45	< 10	< 10	0,24	0,254	0,011	< 0,10 (P total)	9,5	8,3	33,5	15,3
25/05/2020	14h55	< 10	< 10	0,34	0,138	0,015	< 0,10 (P total)	8,6	8,1	33,5	16,3
05/06/2020	11h45	< 10	< 10	0,30	0,22	0,023	< 0,10 (P total)	7	8	33,6	16,2
08/06/2020	14h20	< 10	< 10	0,28	0,14	0,028	0,04	7,2	8,1	33,8	16,7
18/06/2020	10h45	< 10	< 10	0,16	0,221	0,027	< 0,03	6,9	7,9	33,7	17,5
22/06/2020	13h30	< 10	< 10	0,18	0,14	0,025	0,05	7	8	33,6	19,9
02/07/2020	12h00	10	10	0,15	< 0,10	0,016	< 0,03	7,7	7,9	34,4	17,9
06/07/2020	14h35	< 10	< 10	0,12	0,11	0,024	< 0,03	9,75	7,76	34,6	18,3
17/07/2020	11h05	< 10	< 10	0,08	< 0,10	0,005	< 0,03	9,3	7,4	34,7	19,1
20/07/2020	12h55	< 10	< 10	0,03	< 0,10	0,005	0,04	6,8	8	34,2	20,3
30/07/2020	09h20	< 10	< 10	0,18	< 0,10	0,012	0,03	9,3	7,4	34,4	19,1
05/08/2020	12h45	< 10	< 10	0,13	< 0,10	0,011	0,07	9,1	7,8	34,3	22
14/08/2020	08h15	10	10	0,14	< 0,10	0,009	< 0,03	9	7	34,7	23,1
20/08/2020	14h10	non détecté	non détecté	0,14	< 0,10	0,016	0,10	8,1	7,2	30,7	22,5
28/08/2020	09h05	non détecté	non détecté	0,13	0,11	0,017	0,06	8,7	8,3	34,5	19,2
03/09/2020	14h30	< 10	< 10	0,15	< 0,10	0,018	0,03	7,3	7,97	33,9	18,9
07/09/2020	14h45	10	< 10	0,13	< 0,10	0,028	0,03	7,5	-	33,9	19,6
18/09/2020	13h20	10	< 10	0,091	< 0,10	0,017	0,05	7,8	8,1	34	19,8
21/09/2020	14h30	10	< 10	0,05	< 0,10	0,009	0,04	5,3	8,2	34,2	19,3
02/10/2020	14h00	10	< 10	0,14	< 0,10	0,014	< 0,03	7,7	7,92	34	16
05/10/2020	14h30	< 10	< 10	0,13	0,13	0,015	0,05	7,7	8,1	34	16,2

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
22/05/2020	12h40	< 10	< 10	0,11	1,076	< 0,005	0,20 (P total)	9,8	8,3	33,9	20,5
25/05/2020	15h05	20	< 10	0,30	1,949	< 0,005	1,52 (P total)	6,3	7,9	33,6	24,3
05/06/2020	11h20	< 10	< 10	0,08	0,95	0,021	< 0,10 (P total)	6,2	7,9	33,6	20,2
08/06/2020	14h30	< 10	< 10	0,14	1,00	0,027	0,10	5,2	8,1	33,8	20,3
18/06/2020	10h30	< 10	< 10	0,05	1,17	0,040	0,10 (P total)	5,4	7,9	33,7	21,5
22/06/2020	13h00	< 10	< 10	0,04	0,93	0,040	0,29	5,4	7,9	33,6	23,8
02/07/2020	11h45	< 10	< 10	0,08	0,550	0,034	0,08	7	7,7	34,2	23,5
06/07/2020	14h55	< 10	< 10	0,11	0,51	0,040	< 0,03	9,36	8,6	34,6	22,1
17/07/2020	11h15	< 10	< 10	0,02	0,24	0,020	0,06	8,9	8,4	34,8	22,3
20/07/2020	13h35	< 10	< 10	< 0,01	0,21	0,020	0,05	6,5	7,9	34	23,9
30/07/2020	10h00	< 10	< 10	0,05	0,34	0,035	0,09	8,4	8,4	34,5	22,3
05/08/2020	12h30	< 10	< 10	0,05	0,639	0,021	0,08	9,2	7,8	34,5	26
14/08/2020	08h30	< 10	< 10	0,06	0,386	0,023	0,05	8,2	7,5	34,7	24,9
20/08/2020	14h25	non détecté	non détecté	0,07	0,469	0,053	0,08	8,6	7,3	34,7	30,7
28/08/2020	09h30	non détecté	non détecté	0,06	1,08	0,032	0,13	5,9	8,3	34,3	21
03/09/2020	14h45	< 10	10	0,08	0,35	0,038	0,06	6,8	7,84	33,9	26,1
07/09/2020	14h30	< 10	< 10	0,04	0,40	0,039	0,09	6,2	-	33,9	28,5
18/09/2020	12h55	< 10	< 10	0,042	0,58	0,009	0,05	7,8	8,1	33,9	22,6
21/09/2020	15h00	< 10	< 10	0,02	0,27	0,028	0,07	5,4	8	34,4	23,1
02/10/2020	14h10	< 10	< 10	0,06	0,43	0,054	0,05	7,31	7,79	33,9	19,9
05/10/2020	15h15	20	< 10	0,04	0,79	0,053	< 0,03	7,3	8,2	34	20,3

ANNEXE 4

Résultats des levées bathymétriques 2020, différentiel 2019/2020 « petite zone » et 2017/2020 « grande zone »

CNPE de Gravelines

Plage de Gravelines, grande zone

Evolution entre 2017 et 2020

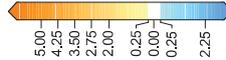
Principales différences d'altitudes



Legende



Altitudes remarquables



Echelle : 1 / 15000



Un centimètre-papier = 150 mètres-terrain

Alii. : Aucune

Références géographiques
Plant. : Lambert 93

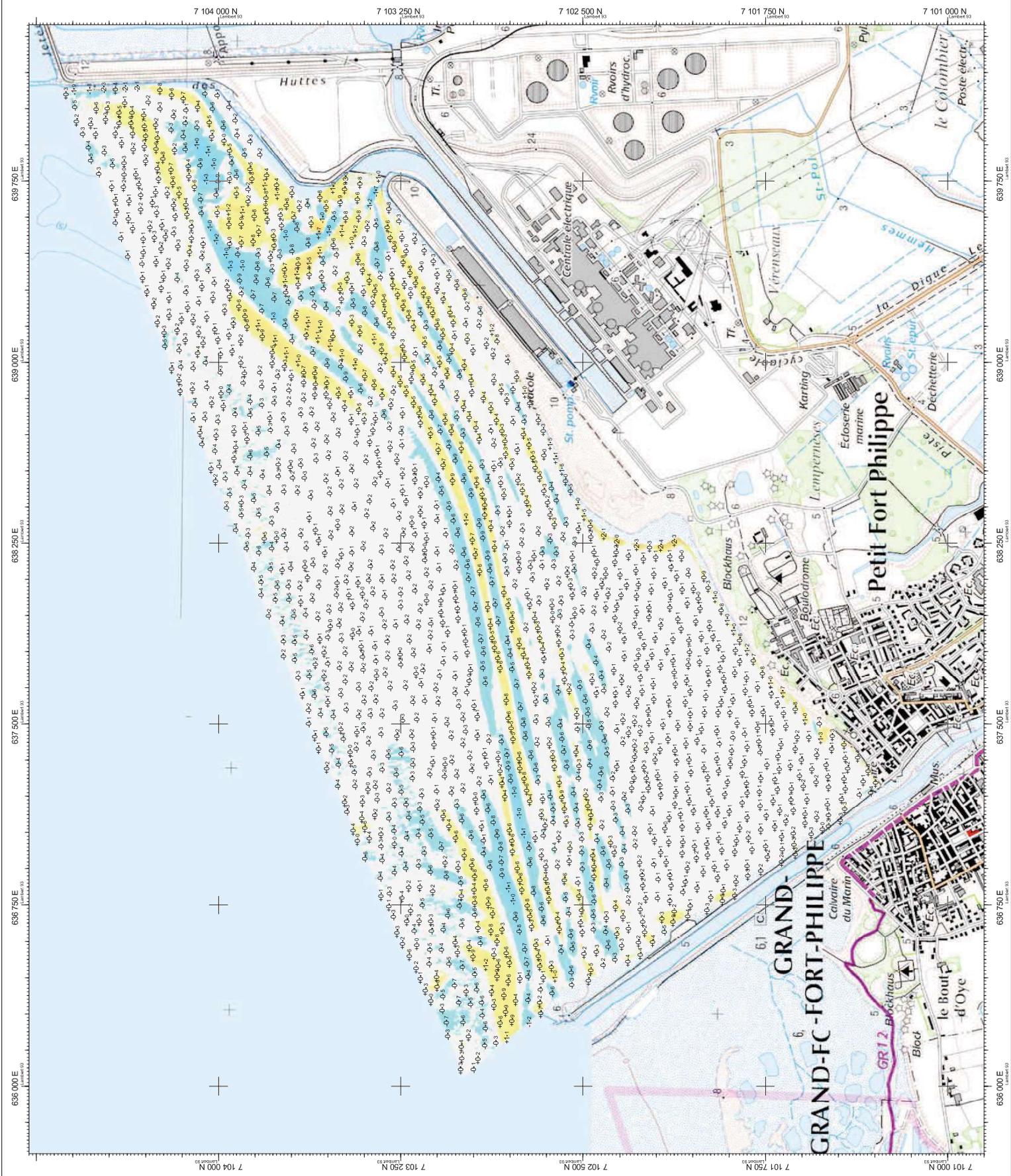
Référence documentaire
H-44200961-2021-000017

A.2.1

Origine des données
GEOxyz

Édition du 19 janvier 2021

Paul Valet



CNPE de Gravelines

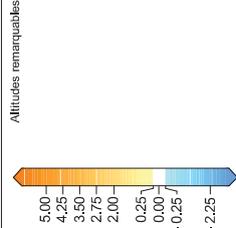
Plage de Gravelines, petite zone

Evolution entre 2019 et 2020

Principales différences d'altitudes



Legende



Altitudes remarquables

Echelle : 1 / 10000

Un centimètre-papier = 100 mètres-terrain

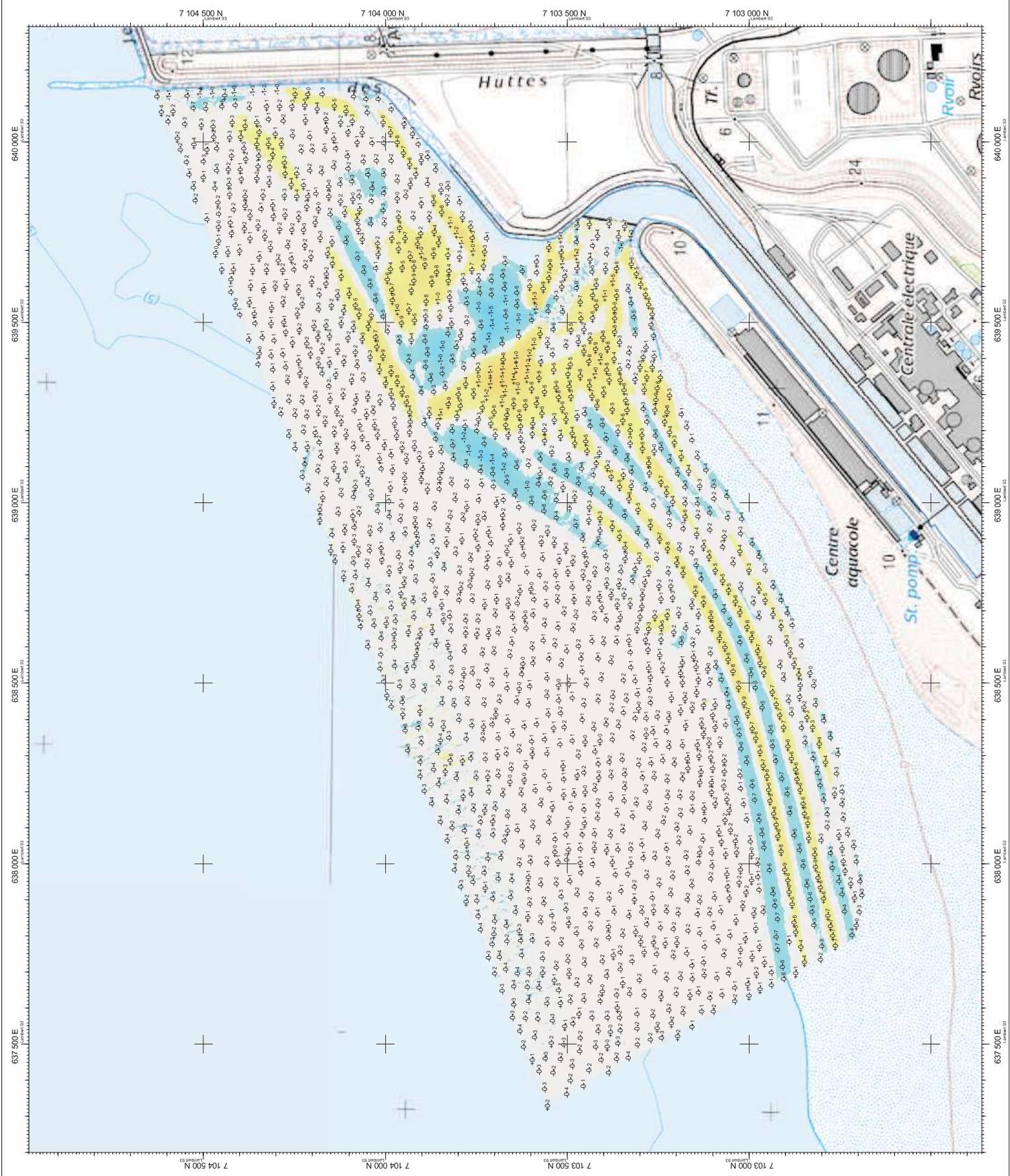
Alii. : Aucune

Références géographiques
Plant. : Lambert 93

Référence documentaire
H-44200961-2021-000017

Origine des données
GEOxyz

Édition du 22 janvier 2021
Paul Valet





DIMENSION PRODUCTION INGENIERIE
DTG

134, chemin de Béring - 38850 Saint-Marcellin-Hérivaux
dgenprod@edf.fr | Tel. 04.78.22.03.04

CNPE de Gravelines

Plage de Gravelines, zone de rejet

Evolution entre 2019 et 2020

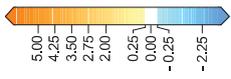
Principales différences d'altitudes



Legende



Altitudes remarquables



Echelle : 1 / 2500



Un centimètre-papier = 25 mètres-terrain

Références géographiques
Planit. : Lambert 93

Reference documentaire
H-44200961-2021-000017

Origine des données
GEOTYZ

Édition du 22 janvier 2021
Paul Valet



ANNEXE 5

Rapport du Prévisionnel de prélèvement et consommation d'eau et de rejets du CNPE pour l'année 2020

Prévisionnel de prélèvement et consommation d'eau et de rejets
pour l'année 2020 du CNPE de Gravelines

22 janvier 2020

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	15

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 2020 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.

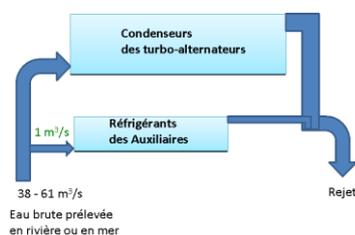


Fig. 1 Schéma simplifié d'une unité de production refroidie en circuit ouvert

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 2020 :

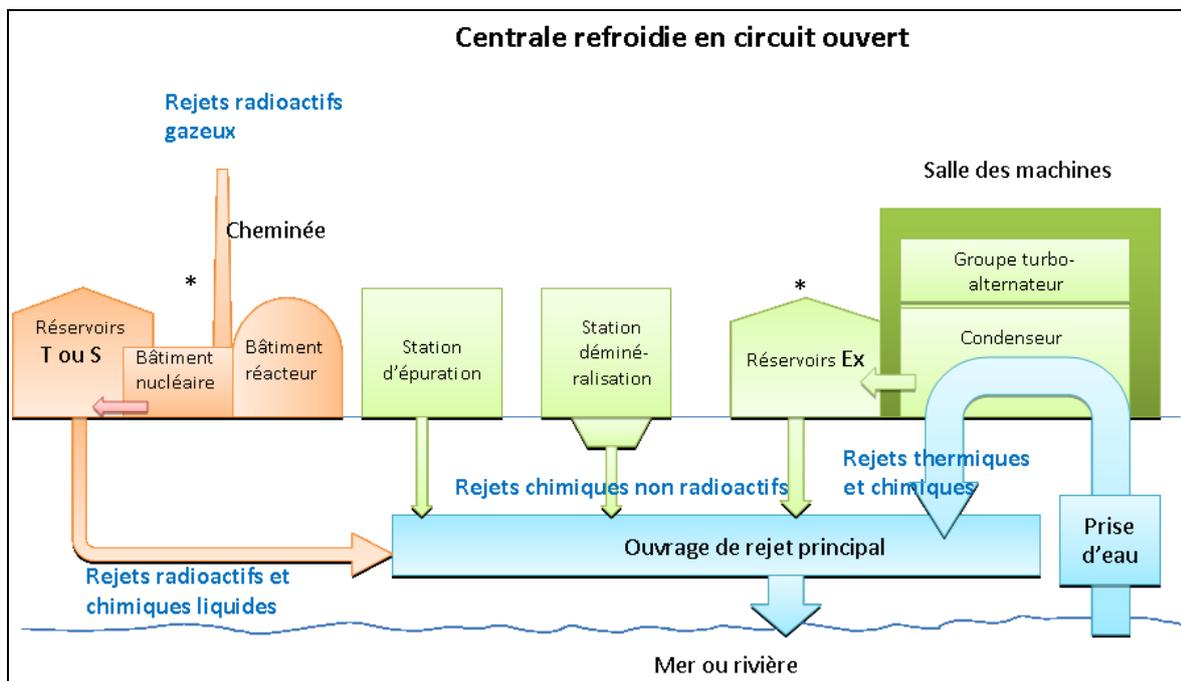
- Prélèvements en mer : **6 900 000** milliers de m³
- Prélèvements d'eaux de réseaux de distribution : **850** milliers de m³
- Prélèvements d'eau de nappe : **0** milliers de m³

4. Les rejets

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

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

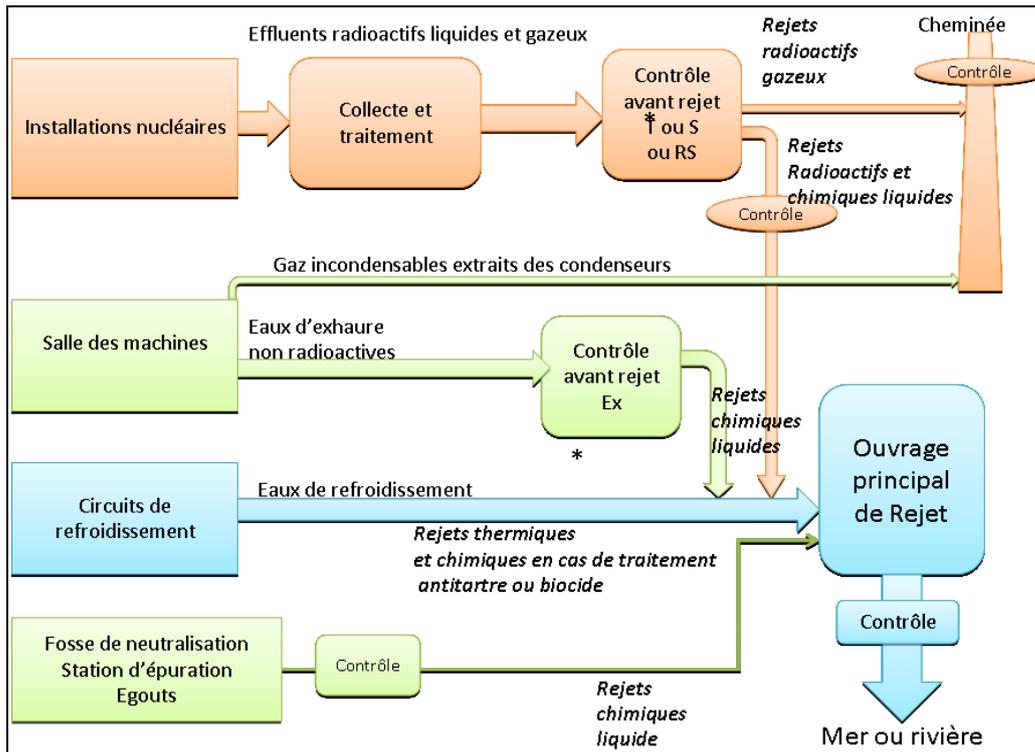
Fig. 2 Schéma de principe des circuits de rejets d'une centrale nucléaire



4.1 Les rejets radioactifs

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

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



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

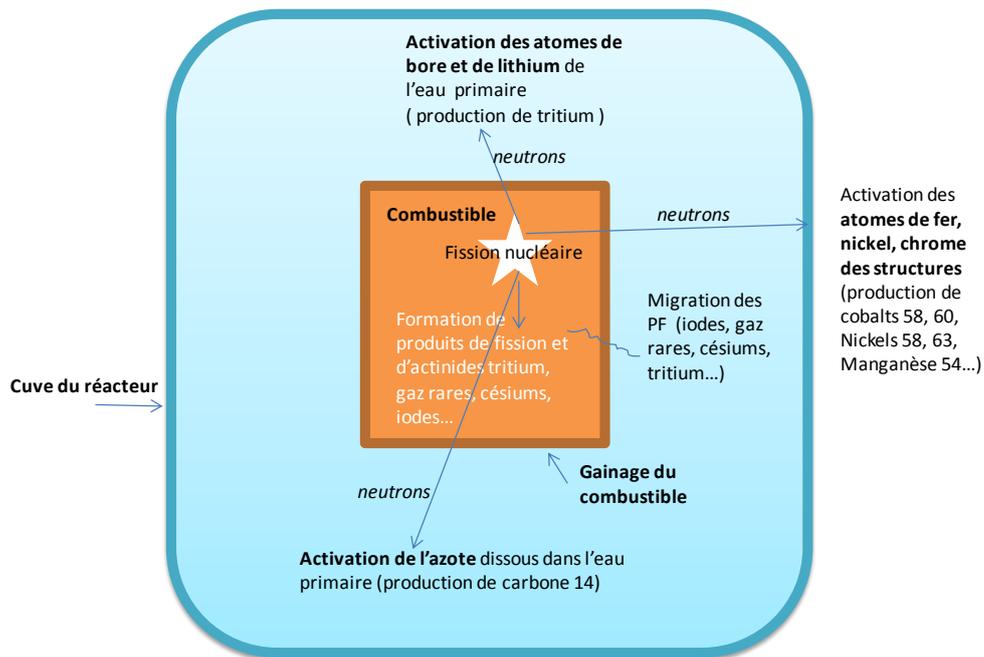
Par ces actions conjuguées, les rejets d'activité de gaz rares ont été réduits de plus d'un facteur 50 et les rejets liquides hors tritium et carbone 14 l'ont été de plus d'un facteur 100. Les rejets radioactifs ont ainsi atteint un niveau qualifié de « plancher » traduisant la volonté de l'exploitant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

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

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

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

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



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

Règles de comptabilisation des rejets radioactifs :

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

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

Impact de ces rejets radioactifs

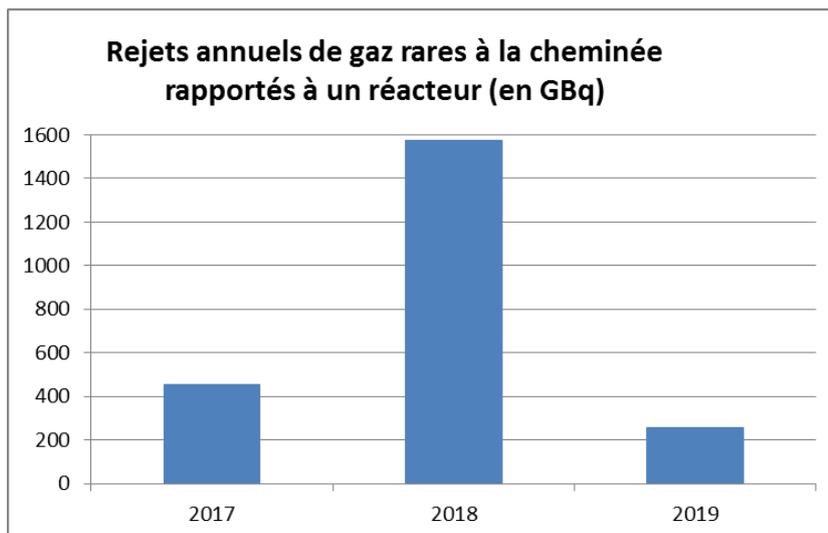
L'impact des rejets radioactifs exprimé en dose (unité : le Sievert, Sv) est calculé avec des modèles de transfert des radionucléides dans l'environnement. La personne du public la plus exposée aux rejets radioactifs du CNPE reçoit une dose de rayonnement représentant moins de 0,01 mSv par an (0,00001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

4.1.1 Les rejets radioactifs gazeux

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

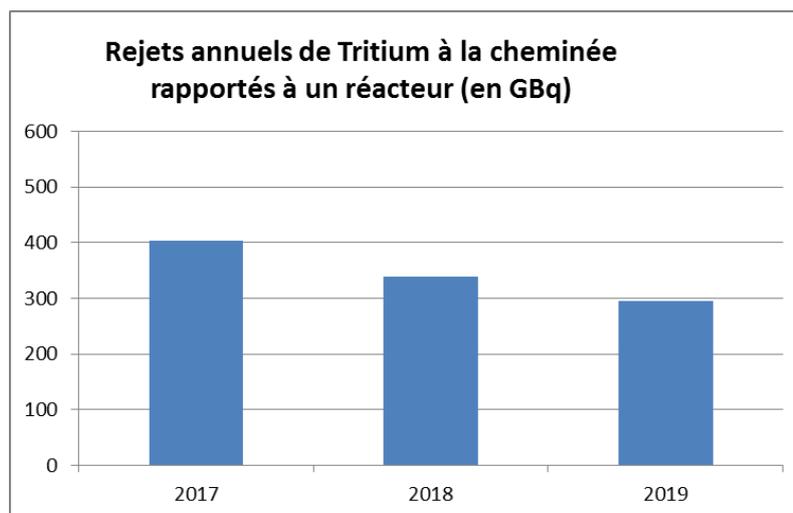
- Les gaz rares (krypton, xénon) : ce sont des gaz inertes, ils ne sont donc pas retenus par les systèmes de filtration (filtres très haute efficacité THE et pièges à iodes). Ces rejets peuvent varier en fonction des caractéristiques d'étanchéité du gainage du combustible.

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 (CH₄) et de gaz carbonique (CO₂). Le carbone 14 est mesuré sur un prélèvement réalisé par un tamis moléculaire.

- Les rejets d'iodes sont infimes compte tenu du bon confinement des circuits nucléaires et de l'efficacité des systèmes de piégeage en cas de fuite. Ces rejets sont généralement inférieurs à 0,1GBq/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 β ou γ , présents sous forme de poussières (aérosols), sont, comme les rejets d'iodes, extrêmement faibles.

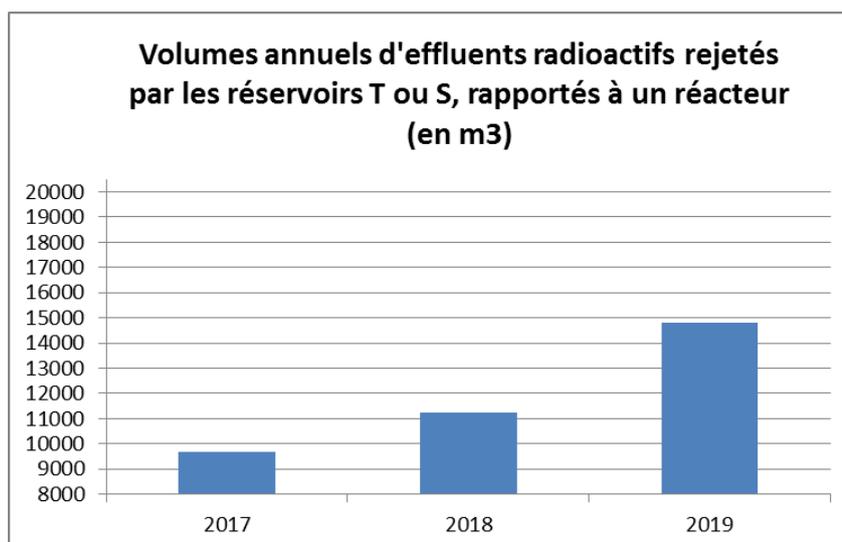
La prévision de rejets radioactifs gazeux pour l'ensemble du site peut être évaluée de la façon suivante en tenant compte de la connaissance des caractéristiques de l'étanchéité du combustible et du programme prévisionnel de production et d'arrêt de tranche de la centrale pour l'année 2020 :

- 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'activation¹ : **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 m³ environ (cf. fig. 7).

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

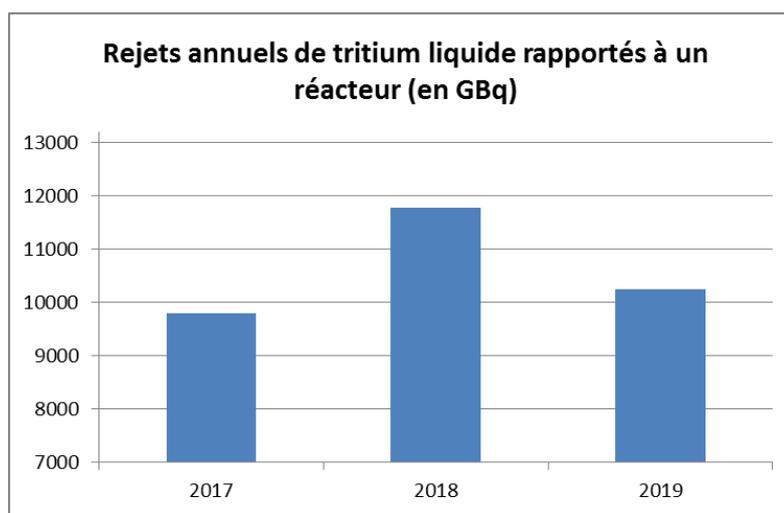


¹ Les radionucléides pris en compte dans les « autres produits de fission et d'activation » sont : Mn54, Co58, Ni63, Co60, Ag110m, Te123m, Sb124, Sb125, Cs134, Cs137.

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

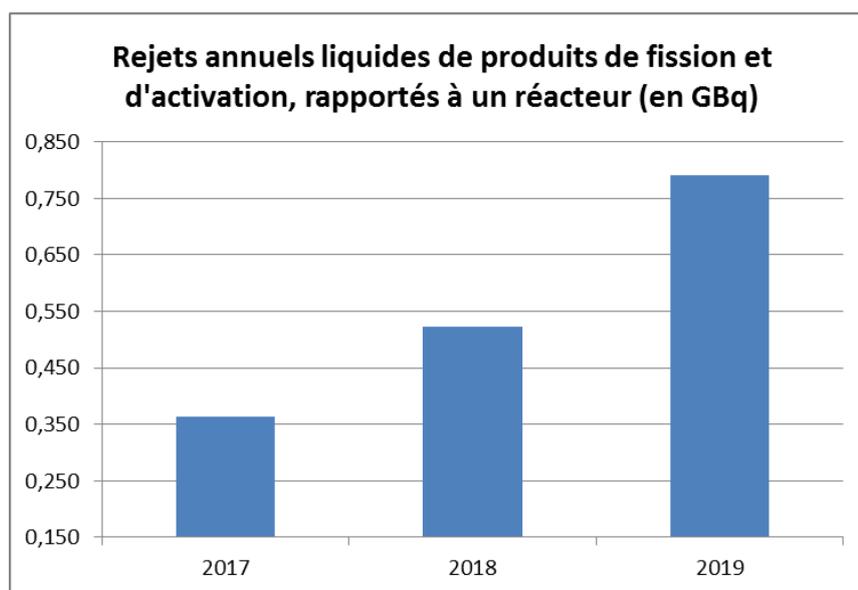
- Le tritium du circuit primaire se retrouve dans les effluents sous forme d'eau tritiée. Ne pouvant pas être éliminé par traitement contrairement à d'autres radionucléides, étant très peu radiotoxique (émetteur bêta de faible énergie) et étant présent en faible concentration, le tritium est rejeté dans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

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



- Le carbone 14 est présent dans les effluents sous forme de CO₂ dissous.
- Les rejets d'iodes sont infimes compte tenu du bon confinement des circuits nucléaires et de l'efficacité des systèmes de piégeage en cas de fuite. Cependant, ils peuvent varier en fonction des caractéristiques d'étanchéité du gainage du combustible.
- Les produits de fission (PF) et d'activation (PA) sont éliminés en grande partie par les systèmes de traitement. Les rejets d'activité de ces radionucléides par unité de production ont diminué d'un facteur 100 depuis la mise en service du parc nucléaire d'EDF. Les améliorations apportées aux circuits de collecte et de traitement et les efforts réalisés par l'exploitant pour réduire à la source la production d'effluents expliquent ce résultat.
A noter que l'année 2020 sera marquée par la maintenance de deux des systèmes de traitement des effluents et par le traitement d'effluents ayant une activité importante.

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 2020 :

- 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.

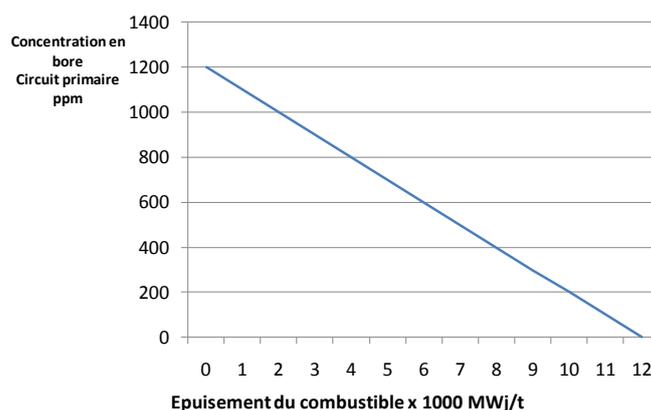
Chaque substance chimique assure une fonction bien précise tant en phase d'exploitation (contrôle de la réaction nucléaire, protection des circuits contre la corrosion, lutte contre le tartre et le développement de micro-organismes, production d'eau déminéralisée...), que lors des opérations de maintenance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

4.2.1 Substance chimique utilisée pour le contrôle de la réaction nucléaire

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

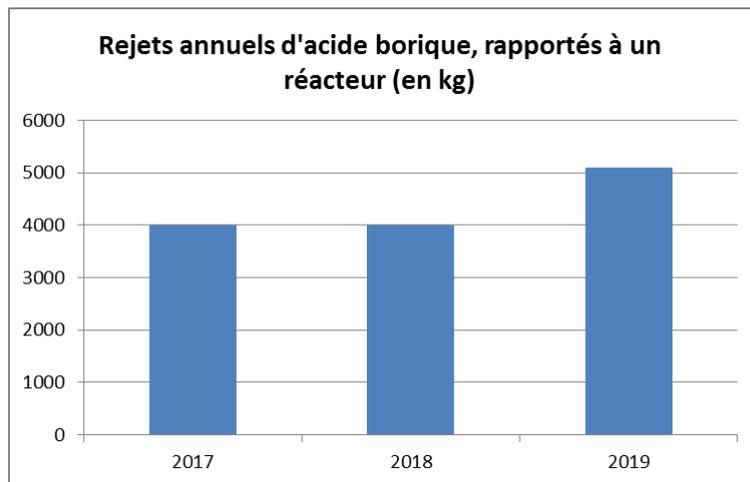
Fig. 10 Evolution de la concentration en bore en fonction de l'épuisement du combustible



Réduction des rejets d'acide borique (cf. fig. 11) : Une partie des effluents radioactifs borés issus du circuit primaire peuvent être, après traitement, recyclés, c'est-à-dire réutilisés comme eau d'appoint au circuit primaire. Mais le recyclage se heurte à des difficultés en raison de la teneur en silice présente à l'état de trace dans l'effluent à recycler. Comme celui-ci subit un traitement sur évaporateur qui concentre l'acide borique mais aussi la silice, la teneur en silice dans l'eau à recycler peut atteindre la limite fixée par les spécifications radiochimiques définies pour l'eau d'appoint au réacteur. Dans ce cas, le recyclage de l'eau borée n'est pas possible, elle doit donc être rejetée. C'est ce qui explique en grande partie les variations des rejets d'acide borique. L'acide borique non recyclé est soit rejeté sous forme liquide, soit enfûté en coque béton ou incinéré à l'usine Centraco de Marcoule comme un déchet radioactif.

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

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



4.2.2 Substances chimiques utilisées pour le conditionnement des circuits

- *Conditionnement chimique du circuit primaire*

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

L'hydrazine (N₂H₄) est injectée, sous forme d'hydrate d'hydrazine (N₂H₄OH), 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*

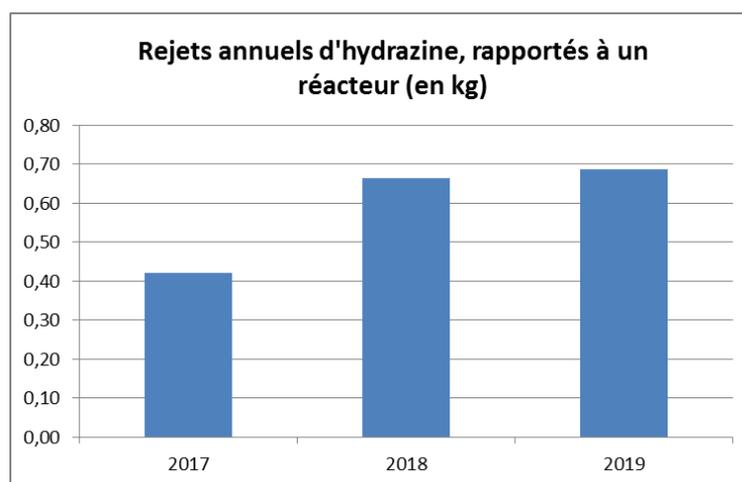
Le conditionnement du circuit secondaire vise à éviter la corrosion des matériels par l'utilisation de substances chimiques choisies pour leur efficacité mais aussi pour leur moindre impact sur la santé et l'environnement.

- L'hydrazine (N₂H₄) 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 (N₂H₄.H₂O), l'hydrazine se décompose en ammoniac (NH₄OH) qui joue un rôle sur le pH de l'eau du circuit secondaire. L'hydrazine agit donc tant sur l'oxygène dissous que sur le pH de l'eau du circuit.

Élimination de l'hydrazine : Lorsque la centrale est en fonctionnement, l'hydrazine du circuit secondaire (eau-vapeur) chemine par les purges des circuits jusqu'aux réservoirs d'entreposage T ou Ex de stockage avant rejet. Dans ces réservoirs, l'hydrazine se décompose au contact de l'oxygène de l'air ambiant. De ce fait, les rejets d'hydrazine sont faibles (quelques kilos par réacteur et par an). En arrêt de tranche, le conditionnement à l'hydrazine des générateurs de vapeur (côté secondaire) et du poste d'eau pouvait être à l'origine de rejets plus importants (jusqu'à quelques dizaines de kilos d'hydrazine par jour) lors de la vidange des circuits. Pour réduire ces rejets, les actions suivantes ont été engagées :

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

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



- La morpholine (C₄H₉NO) et l'ammoniaque (NH₄OH) sont des amines volatiles qui peuvent être employées 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 (C₂H₇NO) est une amine volatile qui peut être employée pour maintenir le bon pH dans le circuit secondaire. Elles complètent l'action de l'hydrazine. Le conditionnement du circuit secondaire fait l'objet de spécifications chimiques. Celles-ci sont établies en tenant compte notamment de la nature des matériaux à protéger contre la corrosion (acier noir, acier inoxydable, alliage cuivreux) mais aussi des questions d'environnement, car ces substances et leurs dérivés se retrouvent en partie dans les rejets. L'éthanolamine constitue une alternative intéressante à la morpholine, utilisée précédemment, en particulier pour la protection des pièces internes des générateurs de vapeur et des purges des sècheurs-surchauffeurs de la turbine. En 2017, le site de Gravelines a terminé son passage d'un conditionnement en morpholine à un conditionnement en éthanolamine.

Les **métaux** que l'on peut rencontrer dans les rejets liquides associés aux effluents radioactifs sont ceux qui entrent dans la composition des aciers dont sont constitués les circuits (fer, manganèse, nickel, chrome) et dans certains équipements (zinc, cuivre, aluminium et plomb). Ils sont présents à l'état de traces dans les réservoirs et proviennent de la corrosion et de l'érosion des circuits. Le bon conditionnement chimique est un paramètre majeur pour en limiter la production. Malgré la filtration et le traitement des effluents sur résines échangeuses d'ions, une faible quantité de ces métaux se retrouve dans les réservoirs de rejet.

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

4.2.3 Substances chimiques utilisées pour le conditionnement des circuits

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

4.2.4 Substances chimiques issues de la production d'eau déminéralisée

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

4.2.5 Substances chimiques issues du traitement des eaux usées du site

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

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

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

La prévision de rejets de substances chimiques pour l'ensemble du site, utilisées pour le contrôle de la réaction nucléaire et le conditionnement des circuits, peut être évaluée de la façon suivante en tenant compte du programme prévisionnel de production et d'arrêt de tranche de la centrale pour l'année 2020 :

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 : **50** 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 : **1 300** 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 2020 CNPE de Gravelines

Prélèvements en eau :

- Prélèvements en mer : **6 900 000** milliers de m³
- Prélèvements d'eaux de réseaux de distribution : **850** milliers de m³
- Prélèvements d'eau de nappe : **0** milliers de m³

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 : **50** 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 : **1 300** 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

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