



Rapport environnemental annuel
relatif aux installations nucléaires du
Centre Nucléaire de Production
d'Electricité de Nogent-sur-Seine

2019

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

SOMMAIRE

Partie I - Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité de Nogent-sur-Seine en 2019	4
I. Contexte	4
II. Le CNPE de Nogent-sur-Seine	4
III. Modifications apportées au voisinage du CNPE de Nogent-sur-Seine	4
IV. Évolutions scientifiques susceptibles de modifier l'étude d'impact	5
V. Bilan des incidents de fonctionnement et des événements significatifs pour l'environnement	5
Partie II - Prélèvements d'eau	8
I. Prélèvements en SEINE	10
II. Prélèvement en nappe alluviale	11
Partie III - Consommation et restitution d'eau	13
I. Consommation d'eau	13
II. Restitution d'eau	14
Partie IV - Rejets d'effluents	15
I. Rejets d'effluents à l'atmosphère	16
II. Rejets d'effluents liquides	21
III. Rejets thermiques	35
Partie V - Prévention du risque microbiologique	37
I. Bilan annuel des colonisations en circuit	37
II. Synthèse des traitements biocides et rejets associés	38
Partie VI - Surveillance de l'environnement	39
I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement	39
II. Physico-chimie des eaux souterraines	44
III. Chimie et physico-chimie des eaux de surface	44
IV. Hydrobiologie	50
V. Acoustique environnementale	52

Partie VII - Évaluation de l'impact environnemental et sanitaire des rejets de l'installation	53
Partie VIII - Gestion des déchets	57
I. Les déchets radioactifs	57
II. Les déchets non radioactifs	62
ABREVIATIONS	64
ANNEXE 1 - Suivi 2019 de la concentration en Legionella pneumophila et en Naegleria fowleri calculées en aval du site	65
ANNEXE 2 - Suivi radioécologique annuel du CNPE de Nogent-sur-Seine Année 2018	66

Partie I - Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité de Nogent-sur-Seine en 2019

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 (SME) 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 2019 du CNPE de Nogent-sur-Seine en matière d'environnement.

II. Le CNPE de Nogent-sur-Seine

La centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine est implantée sur la rive droite de la Seine, dans le département de l'Aube (10), en région Grand Est. Elle se situe à 50 km au nord-ouest de Troyes et à 105 km au sud-est de Paris. Le site s'étend sur une surface de 212 hectares et a produit 16,26 TWh en 2019, soit plus de 4,3 % de la production nucléaire française.

La centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine compte 774 salariés EDF et 407 salariés permanents d'entreprises partenaires.

Les installations de Nogent-sur-Seine regroupent deux unités de production d'électricité en fonctionnement :

- Une unité de la filière à eau sous pression (REP) d'une puissance de 1 300 mégawatts électriques refroidie par une tour aéroréfrigérante : Nogent 1, mise en service en 1987. Ce réacteur constitue l'installation nucléaire de base (INB) n° 129.
- Une unité de la filière à eau sous pression (REP) d'une puissance de 1 300 mégawatts électriques refroidie par une tour aéroréfrigérante : Nogent 2, mise en service en 1988. Ce réacteur constitue l'installation nucléaire de base (INB) n° 130.

III. Modifications apportées au voisinage du CNPE de Nogent-sur-Seine

La surveillance de l'environnement industriel est réalisée en application d'une prescription interne d'EDF. Lors de l'année 2019, aucune modification notable au voisinage du CNPE de Nogent-sur-Seine n'a été identifiée.

IV. Evolutions 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 (Chlore Résiduel Total), 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 événements significatifs pour l'environnement

En 2019, le CNPE de Nogent-sur-Seine a été 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 Nogent-sur-Seine 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 Nogent-sur-Seine. 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 Nogent-sur-Seine a mis en place un système permettant de détecter, tracer, déclarer, les Evénements Significatifs pour l'Environnement (ESE) à l'Autorité de Sûreté Nucléaire, de traiter ces événements et d'en analyser les causes profondes pour les éradiquer.

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

1. Bilan des événements significatifs pour l'environnement déclarés

Le tableau suivant récapitule les événements significatifs pour l'environnement déclarés par le CNPE de Nogent-sur-Seine en 2019.

Typologie	Date	Evènement	Principales actions correctives
ESE 2	23/07/2019	<p>Unité de production n° 1 - Présence de phosphate dans un bassin d'orage</p> <p>Le 8 juillet 2019, en réalisant des analyses hebdomadaires sur un circuit de réfrigération de la salle des machines de l'unité de production n° 1, les équipes de la centrale constatent une diminution de la concentration en phosphate dans le circuit. Des investigations sont menées et montrent la présence de phosphate dans un bassin d'orage. En raison du rejet d'effluents phosphatés par un émissaire non autorisé par l'arrêté de rejets et bien que les quantités estimées soient faibles et compatibles avec les flux autorisés par l'arrêté de rejets, la centrale a déclaré le 23 juillet 2019 cet événement significatif environnement à l'ASN.</p>	<p>Renforcer le programme des visites manager terrain sur le champ de la pratique de fiabilisation des interventions appliquées aux consignations/déconsignations et lignages en 2020.</p> <p>Réparer le robinet 1 SAP 314 VN et/ou 1 SAP 319 VN.</p> <p>Rédiger une note de gestion (suivi pose/dépose et contrôle en local) des pompes mobiles (positionnement et orientation) lors des arrêts de tranche.</p> <p>Rappeler au travers de la présentation de l'évènement la qualité attendue de la ronde de relevés en arrêt de tranche sur les champs réalisation et contrôle.</p> <p>Réaliser un contrôle de la qualité effective de la ronde lors de l'arrêt VD3 TR2.</p> <p>Définir les critères noyau dur et la stratégie d'isolement des bassins d'orage.</p> <p>Présenter le retour d'expérience de l'évènement à l'ensemble des acteurs CEE Labo et Conduite.</p>
ESE 2	27/08/2019	<p>Non-respect de la procédure de vidange d'un réservoir</p> <p>Le 22 août 2019, un réservoir de la station de déminéralisation d'eau situé sur la partie non radioactive de l'installation et dans lequel est réalisée la rectification du pH avant rejet, a été vidangé. Les analyses préalables à cette vidange n'avaient pas encore été réalisées et l'autorisation du chef d'exploitation n'avait pas été donnée avant cette vidange, contrairement à ce que requiert la procédure. Les valeurs de pH et de conductivité surveillées en temps réel n'ont pas fait apparaître d'anomalie pendant la vidange. Cependant, l'absence d'analyses préalables sur les chlorures et le sodium auraient potentiellement pu conduire à un dépassement des valeurs prescrites par l'arrêté de rejets. En raison de ce non-respect de la procédure, la centrale a déclaré la 27 août 2019 à l'ASN un événement significatif environnement.</p>	<p>Réaliser un second contrôle de la position du 0 SDP 712.1 TL tracé sur une annexe associée à la fiche EAR.</p> <p>Organiser le cheminement de la clé (fourniture et retour).</p> <p>Positionner les inscriptions autour du commutateur avec un capot transparent.</p> <p>Intégrer les procédures (F et A 0 SDP) dans la salle de commande de la station de déminéralisation.</p> <p>Examiner le remplacement de 0 SDP 712.1 TL par un commutateur à clé emprisonnée.</p>

Typologie	Date	Evènement	Principales actions correctives
ESE 4	18/10/2019	<p>Dépassement de la valeur limite dans les bâches de contrôle des effluents de mai, juin, juillet et septembre 2019</p> <p>Des bâches de contrôle des effluents du mois de mai sont analysées pour mesurer la valeur de la demande chimique en oxygène.</p> <p>Le rapport d'analyse montre que la valeur a dépassé la limite autorisée dans ces réservoirs. Le constat est le même pour les mois de juin, juillet et septembre. L'origine des dépassements est attribuée à la nouvelle laverie du site. Ces dépassements n'ont eu aucune conséquence pour l'environnement (les limites réglementaires de rejet dans l'environnement ont toutes été respectées). En raison du dépassement de la limite autorisée dans les réservoirs, la centrale a déclaré à l'ASN le 18 octobre 2019 un évènement significatif environnement.</p>	<p>Nettoyer les pots filtrants des filtres de brassage et rejet SBE (nécessite la conception d'un outillage spécifique).</p> <p>Identifier les origines des autres effluents arrivants dans les bâches de recueil des effluents SBE.</p> <p>Limiter le volume d'effluent provenant des bâches de recueil SBE dans un réservoir KER plein à 100 m³ pendant le cycle de tranche en marche.</p> <p>Systématiser les analyses de DCO pour chaque transfert des effluents présents dans les bâches de recueil SBE sur KER tant que le diagnostic se poursuit.</p> <p>Nettoyer la bache de récupération des effluents du laboratoire Effluents (bâtiment Ampère).</p> <p>Analyser les résultats des prélèvements effectués à la sortie de machine à laver envoyés le 07/11/2019.</p> <p>Etudier le REX des autres sites sur la gestion des effluents de la laverie et sur la valeur de DCO des aliquotes KER.</p>
ESE 6	31/12/2019	<p>Unité de production n° 1 : détection de pertes de fluide frigorigène</p> <p>Dans le cadre du chantier de remplacement de 4 groupes frigorifiques lors de la visite décennale de l'unité de production n° 1, les équipes ont détecté des pertes de fluide frigorigène supérieures à 20 kg sur chacun des groupes. Le cumul de ces pertes annuelles est supérieur à 100 kg, ainsi redevable de la déclaration d'un Evènement Significatif Environnement, déclaré en retard à l'ASN le 8 janvier 2020. Ces pertes sont des pertes normales technologiques de fonctionnement pour ces groupes d'ancienne génération qui ont été remplacés par du matériel plus performant.</p>	<p>Définir l'organisation pour le suivi et la déclaration des pertes de fluide frigorigène des groupes froids industriels et tertiaires.</p>

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,
- alimenter les circuits de lutte contre les incendies,
- alimenter les installations sanitaires et les équipements de restauration des salariés.

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 bar) et à une température de 300 °C. L'eau passe dans la cuve du réacteur, capte la chaleur produite par la réaction de fission du combustible nucléaire et transporte cette énergie thermique vers le circuit secondaire au travers des générateurs de vapeur.
- Le circuit secondaire pour produire la vapeur : au contact des milliers de tubes en « U » des générateurs de vapeur, l'eau du circuit primaire transmet sa chaleur à l'eau circulant dans le circuit secondaire, lui-aussi fermé. L'eau de ce circuit est ainsi transformée en vapeur qui fait tourner la turbine. Celle-ci entraîne l'alternateur qui produit l'électricité. Après son passage dans la turbine, la vapeur repasse à l'état liquide dans le condenseur ; cette eau est ensuite renvoyée vers les générateurs de vapeur pour un nouveau cycle.
- Un troisième circuit, appelé « circuit de refroidissement » : pour condenser la vapeur et évacuer la chaleur, le circuit de refroidissement comprend un condenseur, appareil composé de milliers de tubes dans lesquels circule de l'eau froide prélevée dans la rivière ou la mer. Au contact de ces tubes, la vapeur se condense. Ce circuit de refroidissement est différent selon la situation géographique du CNPE :
 - o sur les fleuves ou les rivières dont le débit est plus faible, les CNPE fonctionnent avec un circuit semi-fermé.

Le refroidissement de l'eau chaude issue du condenseur se fait par échange avec de l'air froid dans une grande tour réfrigérante atmosphérique appelée « aéroréfrigérant ». Une partie de l'eau est vaporisée sous forme d'un panache visible, quand la CNPE fonctionne, au sommet de la tour. Le reste de l'eau refroidie retourne dans le condenseur. Avec ce système, le prélèvement en eau est beaucoup moins important, seulement de l'ordre de 2 m³ par seconde.

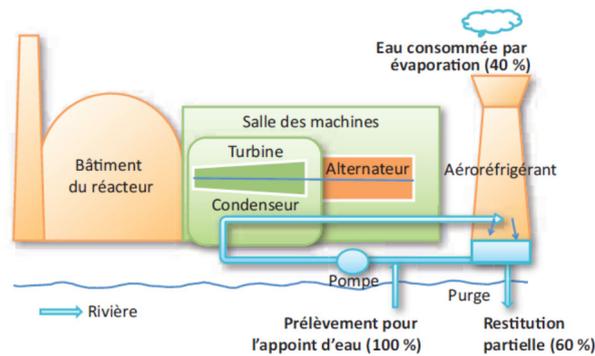


Figure 1 : Schéma d'un CNPE avec un circuit de refroidissement semi-fermé (Source : EDF)

Annuellement, en moyenne, le volume d'eau nécessaire au fonctionnement du circuit de refroidissement d'un réacteur est compris entre 50 millions de mètres cubes (si le refroidissement est assuré par un aéroréfrigérant) et 1 milliard de mètres cubes (si l'eau est rejetée directement dans le milieu naturel) soit respectivement un besoin de 6 à 160 litres d'eau prélevés pour produire 1 kWh.

Que les CNPE soient en fonctionnement ou à l'arrêt, la très grande majorité de l'eau prélevée est restituée à sa source, c'est-à-dire au milieu naturel à proximité du point de prélèvement.

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

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

I. Prélèvements en SEINE

1. Cumul mensuel

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel du prélèvement dans la SEINE de l'année 2019.

	Prélèvement d'eau (en millions de m ³)
Janvier	10.8
Février	11.1
Mars	11.8
Avril	11.1
Mai	7.8
Juin	10.1
Juillet	12.0
Août	13.1
Septembre	12.0
Octobre	10.4
Novembre	11.5
Décembre	10.3
TOTAL (en millions de m³)	132

2. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel des prélèvements d'eau pour 2019

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de prélèvement des années 2017 à 2019 avec la valeur du prévisionnel 2019.

Année	Milieu	Volume	Unité
2017	SEINE	135	Millions de m ³
2018		138	
2019		132	
Prévisionnel 2019		140	

Commentaires : Le volume annuel d'eau prélevé est cohérent au prévisionnel qui avait été défini pour l'année 2019, compte tenu du temps effectif de fonctionnement des tranches.

3. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des volumes annuels d'eau prélevés cette année avec les valeurs limites de prélèvement fixées par l'arrêté du 29 décembre 2004.

Limites de prélèvement			Prélèvement
Prescriptions	Valeur	Unité	Valeur maximale
Débit instantané	7	m ³ / s	4.99
Volume annuel	149	million de m ³	132

Commentaires : La valeur maximale observée est inférieure à la limite autorisée.

4. Principales opérations de maintenance intervenues sur les équipements et ouvrages de prélèvements en Seine

L'année 2019 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 prélèvements en « Seine »

Le CNPE de Nogent-sur-Seine n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de prélèvement d'eau dans la Seine en 2019.

II. Prélèvement en nappe alluviale

1. Cumul mensuel

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel du prélèvement dans la nappe alluviale de l'année 2019.

	Prélèvement d'eau (en milliers de m ³)
Janvier	19.1
Février	16.8
Mars	18.6
Avril	33.9
Mai	24.3
Juin	18.7
Juillet	22.4
Août	21.5
Septembre	40.3
Octobre	14.4
Novembre	19.1
Décembre	13.7
TOTAL (en milliers de m³)	263

2. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel des prélèvements d'eau pour 2019

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de prélèvement des années 2017 à 2019 avec la valeur du prévisionnel 2019.

Année	Milieu	Volume	Unité
2017	Nappe phréatique	217	milliers de m ³
2018		280	
2019		263	
Prévisionnel 2019		250	

Commentaires : Le volume annuel d'eau prélevé est cohérent au prévisionnel qui avait été défini pour l'année 2019.

3. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des volumes annuels d'eau prélevés cette année avec les valeurs limites de prélèvement fixées par l'arrêté du 29 décembre 2004.

Limites de prélèvement			Prélèvement
Prescriptions	Valeur	Unité	Valeur maximale
Débit instantané	0.1	m ³ /s	0.04
Volume journalier	6 130	m ³	3845
Volume annuel	562	milliers de m ³	263

Commentaires : La valeur maximale observée est inférieure à la limite autorisée.

4. Principales opérations de maintenance intervenues sur les équipements et ouvrages de prélèvements en nappe alluviale

L'année 2019 n'a pas été concernée par des actions de maintenance (hors maintenance programmée) et aucune intervention ou opération de maintenance anticipée n'ont été nécessaires.

A noter que dans le cadre du retour d'expérience de l'événement survenu au CNPE de Fukushima-Daiichi, il a été décidé de mettre en place, sur l'ensemble des CNPE, un moyen complémentaire de pompage en eau d'ultime secours pour les matériels de l'îlot Nucléaire (bâches d'alimentation en eau de secours des générateurs de vapeur et piscines du bâtiment combustible et du bâtiment réacteur). Sur le CNPE de Nogent-sur-Seine, la solution retenue est la réalisation de puits de pompage en nappe phréatique (1 puits par tranche). La première mise en exploitation est prévue en 2020 pour les 2 tranches.

5. Opérations exceptionnelles de prélèvements en nappe alluviale

Le CNPE de Nogent-sur-Seine n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de prélèvement d'eau dans la nappe alluviale en 2019.

Partie III - Consommation et restitution d'eau

I. Consommation d'eau

1. Cumul mensuel

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel de consommation d'eau de l'année 2019.

	Consommation d'eau (en millions de m ³)
Janvier	3.6
Février	3.3
Mars	3.6
Avril	2.4
Mai	1.0
Juin	1.9
Juillet	1.5
Août	2.1
Septembre	2.3
Octobre	3.9
Novembre	3.4
Décembre	3.4
TOTAL (en millions de m³)	32.4

2. Comparaison aux valeurs limites

Limite de la Fraction évaporée (m ³ /s)	Valeur maximale Fraction évaporée (m ³ /s)	Valeur moyenne annuelle Fraction évaporée (m ³ /s)
1.85	1.58	1.05

Commentaires : La valeur maximale observée est inférieure à la limite autorisée.

II. Restitution d'eau

La restitution d'eau dans le milieu correspond à la différence entre la quantité d'eau prélevée et la consommation. La restitution d'eau du CNPE de Nogent-sur-Seine pour l'année 2019 est présentée dans le tableau ci-dessous.

	Restitution d'eau (en millions de m ³)
Janvier	7.2
Février	7.8
Mars	8.2
Avril	8.7
Mai	6.8
Juin	8.2
Juillet	10.5
Août	11.0
Septembre	9.7
Octobre	6.5
Novembre	8.1
Décembre	6.9
TOTAL (en millions de m³)	99.6
Pourcentage de restitution d'eau par rapport au prélèvement	75 %

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).
- Les rejets chimiques atmosphériques : un CNPE émet peu de substances chimiques par voie atmosphérique. Les émissions proviennent des groupes électrogènes de secours constitués de moteurs diesels ou de turbines à combustion consommant du gasoil, de pertes de fluides frigorigènes, du renouvellement de calorifuges dans le bâtiment réacteur et d'émanations de certaines substances volatiles utilisées pour la protection et le traitement des circuits.
- Les rejets thermiques : quel que soit le mode de refroidissement (ouvert ou fermé) d'un CNPE, l'échauffement du milieu aquatique est limité par la réglementation propre à chaque CNPE.

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

I. Rejets d'effluents à l'atmosphère

1. Rejets d'effluents à l'atmosphère radioactifs

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

- Les effluents dits « hydrogénés » proviennent du dégazage des effluents liquides issus du circuit primaire. Afin d'éviter tout mélange avec l'oxygène de l'air, ces effluents hydrogénés sont collectés et stockés, au minimum 30 jours dans des réservoirs où une surveillance régulière est effectuée. Durant ce temps, la radioactivité décroît naturellement, ce qui réduit d'autant l'impact environnemental. Les effluents sont contrôlés avant leur rejet. Pendant leur rejet, ils subissent systématiquement des traitements tels que la filtration à Très Haute Efficacité (filtres THE) qui permet de retenir les poussières radioactives. Ces rejets occasionnels sont dits « concertés ».
- Les effluents dits « aérés » qui proviennent de la collecte des événements des circuits de traitement des effluents liquides radioactifs, de la dépressurisation du bâtiment du réacteur ainsi que de l'air de la ventilation des locaux de l'îlot nucléaire. La ventilation maintient les locaux en légère dépression par rapport à l'extérieur et évite ainsi les pertes de gaz ou de poussières contaminées vers l'environnement. Les opérations de dépressurisation de l'air du bâtiment réacteur conduisent à des rejets dits « concertés ». L'air de ventilation transite par des filtres THE et, dans certains circuits, sur des pièges à iodes à charbon actif avant d'être rejeté en continu à la cheminée. Ces rejets sont dits « permanents ».

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

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

- Les principaux gaz rares issus de la réaction de fission sont le xénon 133, le xénon 135, le krypton 85 et le xénon 131. Ce sont des gaz inertes, ils ne sont donc pas retenus par les systèmes de filtration (filtres très haute efficacité THE et pièges à iodes).
- Le tritium est un isotope radioactif de l'hydrogène. C'est un émetteur bêta (électron) de faible énergie. Il est 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).

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* ».

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

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

c. Cumul mensuel

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

	Volumes rejetés (m ³)	Activités gaz rares (GBq)	Activité Tritium (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Iodes (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)
Janvier	3.34 ^{E8}	57,7	61,83	45,44	0,002	0,00023
Février	2.97 ^{E8}	22,1	61,31		0,003	0,00028
Mars	3.34 ^{E8}	37,6	66,63		0,006	0,00020
Avril	3.39 ^{E8}	140,4	75,26	112,48	0,008	0,00021
Mai	3.52 ^{E8}	55,7	128,40		0,011	0,00026
Juin	3.22 ^{E8}	76,4	97,09		0,004	0,00026
Juillet	3.55 ^{E8}	88,6	104,30	85,1	0,005	0,00027
Août	3.54 ^{E8}	93,0	115,20		0,003	0,00025
Septembre	3.22 ^{E8}	21,1	83,68		0,003	0,00025
Octobre	3.37 ^{E8}	75,3	71,71	38,92	0,004	0,00028
Novembre	3.29 ^{E8}	27,0	65,48		0,006	0,00026
Décembre	3.33 ^{E8}	23,6	54,30		0,002	0,00019
TOTAL ANNUEL	4.01^{E9}	719	985	282	0.06	0.00292

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 celle naturellement présente dans l'air ambiant.

d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2019 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2019.

Année	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)				
	Gaz rares	Tritium	Carbone 14	Iodes	Autres produits de fission et d'activation
2017	4 366	1 154	318	0.09	0.003
2018	2 283	1 102	322	0.07	0.005
2019	719	985	282	0.06	0.003
Prévisionnel 2019	2 000	1 300	350	0.15	0.004

Commentaires : Les rejets radioactifs à l'atmosphère ne sont pas cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2019. En effet, la faible manœuvrabilité du réacteur n° 2 en lien avec la présomption de défaut combustible et la bonne maîtrise des effluents ont permis de limiter très fortement les rejets radioactifs à l'atmosphère.

e. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2019 avec les valeurs limites de rejets fixées par l'arrêté du 29 décembre 2004.

Paramètres	Localisation prélèvement	Limites annuelles de rejet		Rejet
		Prescriptions	Valeur	Valeur maximale
Gaz rares	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	45 000	719
	Cheminée n° 1	Débit moyen 24h (Bq/s)	5.10 ^{E7}	1.52 ^{E5}
	Cheminée n° 2	Débit moyen 24h (Bq/s)	5.10 ^{E7}	1.41 ^{E5}
Carbone 14	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	1 400	282
Tritium	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	8 000	985
	Cheminée n° 1	Débit moyen période (Bq/s)	5.10 ^{E6}	4.27 ^{E4}
	Cheminée n° 2	Débit moyen période (Bq/s)	5.10 ^{E6}	2.22 ^{E4}
Iodes	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	0.8	0.06
	Cheminée n° 1	Débit moyen période (Bq/s)	5.10 ^{E2}	1.01
	Cheminée n° 2	Débit moyen période (Bq/s)	5.10 ^{E2}	10.2
Autres produits de fission et produits d'activation	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	0.8	0.003
	Cheminée n° 1	Débit moyen période (Bq/s)	5.10 ^{E2}	0.151
	Cheminée n° 2	Débit moyen période (Bq/s)	5.10 ^{E2}	6.26 ^{E-2}

Commentaires : Les rejets radioactifs à l'atmosphère respectent les valeurs limites de rejets de l'arrêté du 29 décembre 2004. Les débits instantanés ont respecté l'arrêté du 29 décembre 2004 tout au long de l'année 2019.

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 sont donnés dans le tableau suivant :

	Rejets de vapeur du circuit secondaire (m ³)	Rejets au niveau des événements des réservoirs d'entreposage des effluents liquides Ex, T et S ainsi que des réservoirs d'eau de refroidissement des piscines (m ³)
Janvier	/	5.3 ^{E3}
Février	/	5.16 ^{E3}
Mars	843	8.3 ^{E3}
Avril	3.8 ^{E3}	1.4 ^{E4}
Mai	4.2 ^{E3}	1.3 ^{E4}
Juin	/	1.03 ^{E4}
Juillet	3.7 ^{E3}	9.3 ^{E3}
Août	2 ^{E3}	1.11 ^{E4}
Septembre	5.8 ^{E3}	1.5 ^{E4}
Octobre	/	7.84 ^{E3}
Novembre	1.09 ^{E3}	7.9 ^{E3}
Décembre	/	9.19 ^{E3}
TOTAL ANNUEL	2.14^{E4}	1.2^{E5}

II. Rejets d'effluents liquides

1. Rejets d'effluents liquides radioactifs

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

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

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

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

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

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

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

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

a. Règles spécifiques de comptabilisation

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

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

Les cumuls mensuels sont établis par sommation des activités rejetées pour chacune des catégories d'effluents du mois considéré (T, S, Ex). Les cumuls annuels sont égaux à la somme des cumuls mensuels.

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 ».

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 :

	Volumes rejetés (m ³)	Activité Tritium (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Iodes (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)
Janvier	5 300	4 687	2,3	0,001	0,012
Février	5 162	5 678	3,4	0,001	0,012
Mars	8 271	6 295	3,9	0,002	0,029
Avril	13 687	3 544	2,3	0,001	0,028
Mai	12 026	2 629	1,6	0,001	0,024
Juin	9 097	2 631	0,4	0,001	0,015
Juillet	6 817	1 238	0,5	0,000	0,004
Août	9 908	2 963	0,9	0,001	0,016
Septembre	15 272	640	0,3	0,000	0,010
Octobre	7 843	2 977	3,2	0,001	0,033
Novembre	7 868	5 927	2,6	0,001	0,029
Décembre	9 184	2 986	2,6	0,001	0,009
TOTAL ANNUEL	110 435	42 195	24	0.012	0.221

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

Commentaires : Des réservoirs Ex (SEK) présentent une activité volumique comprise entre 400 et 4000 Bq/L en raison d'une fuite I/II estimée à 0.7 L/h (moyenne pour les 2 tranches).

d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejet de l'année 2019 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2019.

	Rejets par catégorie de radionucléides			
	Tritium (GBq)	Carbone 14 (GBq)	Iodes (MBq)	Autres PA et PF (MBq)
2017	54 795	39	0.010	0.25
2018	51 037	26	0.014	0.38
2019	42 195	21	0.012	0.27
Prévisionnel 2019	55 000	30	0.020	0.5

Commentaires : Les rejets radioactifs liquides sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2019.

e. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2019 avec les valeurs limites de rejets fixées par l'arrêté du 29 décembre 2004.

Paramètres	Limites annuelles de rejet		Rejet
	Prescriptions	Valeur	Valeur
Tritium	Activité annuelle rejetée (GBq)	80 673	42 195
Carbone 14	Activité annuelle rejetée (GBq)	190	21
Iodes	Activité annuelle rejetée (GBq)	0.1	0.012
Autres PA et PF	Activité annuelle rejetée (GBq)	25	0.27

Commentaires : Les limites réglementaires de rejets ont été respectées.

f. Surveillance des eaux de surface

Des prélèvements d'eau de Seine 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 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 2019 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 2019	Valeur maximale mesurée en 2019	Limite réglementaire	Valeur moyenne mesurée en 2019	Valeur maximale mesurée en 2019	Limite réglementaire	
Eau filtrée	Activité bêta globale	0.19 Bq/L	0.5 Bq/L	2 Bq/L	-	-	-
	Tritium	61 Bq/L	78.8 Bq/L	280 Bq/L	32.5 Bq/L	77.3 Bq/L	140 ⁽¹⁾ / 100 ⁽²⁾ Bq/L
	Potassium	1.7 mg/L	2.2 mg/L	-	-	-	-
Matières en suspension	Activité bêta globale	3.8 ^{E-2} Bq/L	3.36 ^{E-1} Bq/L	-	-	-	-

(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 2019 sont cohérentes avec les valeurs attendues du fait des rejets d'effluents autorisés du CNPE. Les mesures d'activité bêta globale et de l'activité en tritium dans l'eau sont très inférieures aux limites réglementaires.

2. Rejets d'effluents liquides chimiques

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

Ces rejets d'effluents chimiques sont issus :

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

Les eaux vannes issues du CNPE de Nogent-sur-Seine sont traitées par la station d'épuration de la commune de Nogent-sur-Seine. Ces rejets font l'objet d'une convention.

Les principales substances utilisées sont :

- l'acide borique (H_3BO_3) : le bore contenu dans cet acide est « avide » des neutrons produits lors de la réaction nucléaire. C'est une substance neutrophage, qui permet donc le contrôle de la réaction de fission et donc le pilotage du réacteur. Ce bore est dissous dans l'eau du circuit primaire.
- la lithine ($LiOH$) : ce produit est utilisé pour maintenir le pH du circuit primaire. En effet, le bore est sous forme acide. Pour éviter les effets de corrosion liés à cet acide, de la lithine est ajoutée à l'eau du circuit primaire afin d'ajuster le pH à celui de moindre corrosion. La concentration en lithine est donc directement liée à celle du bore.
- l'hydrazine (N_2H_4) : ce produit est utilisé principalement dans le circuit secondaire comme un agent antioxydant. Il permet d'éliminer l'oxygène dissous dans le mélange eau-vapeur, et ainsi maintenir là aussi un pH de moindre corrosion du circuit secondaire.
- L'éthanolamine (C_2H_7NO) est une amine volatile qui peut être employée, seule ou en combinaison, pour maintenir le bon pH dans le circuit secondaire. Elle complète l'action de l'hydrazine. Elle contribue à la protection des pièces internes des générateurs de vapeur et des purges des sècheurs-surchauffeurs de la turbine.
- le phosphate trisodique (Na_3PO_4) : comme l'hydrazine, le phosphate est utilisé pour le conditionnement des circuits de refroidissement intermédiaires.
- les détergents : ces produits sont régulièrement utilisés pour le nettoyage des locaux industriels ; qu'ils soient en ou hors zone contrôlée. Ils sont également utilisés à la laverie du CNPE pour le nettoyage des tenues d'intervention.

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

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

Les circuits fermés de refroidissement des condenseurs véhiculent de l'eau chaude dans laquelle peuvent se développer des salissures et des micro-organismes. Pour limiter leurs développements pendant la période estivale, un traitement contre le tartre

ou un traitement biocide est mis en œuvre dans les circuits fermés de refroidissement des condenseurs.

L'injection d'acide sulfurique agit sur les causes de la formation du tartre. Il permet de se placer dans le domaine où les ions, à partir desquels se forme le carbonate de calcium, sont en dessous de la saturation ou dans les limites de sursaturation ne donnant pas lieu à précipitation.

L'injection d'anti-tartre organique agit sur le processus de germination du tartre par un ralentissement de la vitesse de croissance des cristaux et permet de limiter également l'adhésion du tartre et des matières en suspension sur les parois des principaux composants des circuits de par son effet filmant et dispersant.

Il existe également des rejets chimiques résultant du traitement contre la prolifération des amibes *Naegleria fowleri* et des légionelles *Legionella pneumophila* qui sont :

- des composés liés à la fabrication de la monochloramine sur CNPE, tels que le sodium, les chlorures et l'ammonium issus respectivement de l'hypochlorite de sodium (NaOCl) et de l'ammoniaque (NH₄OH),
- des composés issus de la réaction du chlore de la monochloramine avec les matières organiques présentes dans l'eau circulant dans les circuits de refroidissement, tels que les AOX (dérivés organo-halogénés),
- des nitrites et nitrates liés à la décomposition de la monochloramine et à l'oxydation de l'azote réduit (ammonium).

Le résiduel en chlore total à maintenir en sortie de condenseur (paramètre de pilotage) est à l'origine du flux de Chlore Résiduel Total (CRT).

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

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

- L'éthanolamine a des propriétés irritantes (oculaire, cutané, brûlure d'œsophage dans le cas de l'ingestion) et corrosives. Une VTR chronique par voie orale a été établie par la National Science Foundation (NSF - ONG étatsunienne accréditée) en 2008 pour l'éthanolamine, sa valeur étant de 4.10⁻² mg/kg/j. Il ne s'agit néanmoins pas d'un organisme reconnu au sens de la note d'information n° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.
- 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 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 1^{er} 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 l'émissaire A1 : station de déminéralisation

i. Cumul mensuel

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

	Chlorures (kg)	Sodium (kg)
Janvier	2 107	891
Février	903	178
Mars	4 060	1 232
Avril	8 623	2 180
Mai	7 733	2 278
Juin	5 083	1 482
Juillet	7 417	2 394
Août	4 392	1 403
Septembre	10 993	3 884
Octobre	2 004	785
Novembre	1 093	221
Décembre	683	126
TOTAL ANNUEL	55 090	17 054

ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets d'effluents liquides chimiques de l'année 2019 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2019.

Paramètres	Unité	2017	2018	2019	Prévisionnel 2019
Chlorures	Kg	62 956	62 956	55 090	60 000
Sodium	kg	16 290	16 290	17 054	17 000

Commentaires : RAS ;

iii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2019 avec les valeurs limites de rejets fixées par l'arrêté du 29 décembre 2004.

Paramètres	Limites de rejet Flux 24h (kg)	Rejet effectif Valeur maximal calculée (kg)	Limites de rejet Flux 2h (kg)	Rejet effectif Valeur maximal calculée (kg)
Chlorures	2 400	980	1 200	980
Sodium	1 000	416	500	416

Commentaires : RAS.

d. Rejets d'effluents liquides chimiques via le cumul des émissaires A2 et A3 : effluents radioactifs non recyclés (réservoirs T et S) provenant des deux îlots nucléaires et effluents éventuellement radioactifs issus des salles des machines (réservoirs Ex)

i. Cumul mensuel

Le cumul mensuel des rejets chimiques transitant par l'ouvrage de rejet principal est donné dans le tableau suivant :

	Acide borique (kg)	Ethanolamine (kg)	Hydrazine (kg)	Lithine (kg)	Détergents (kg)	Phosphates (kg)	Sodium (kg)	Ammonium (kg)	Métaux totaux (kg)	MES (kg)	DCO (kg)
Janvier	688	0,8	0,02	0,06	1,7	6	5	274	0,8	12	80
Février	636	0,8	0,02	0,07	1,9	35	25	287	0,9	10	77
Mars	562	1,2	0,03	0,10	2,9	7	5	390	1,3	8,2	230
Avril	455	2,1	0,25	0,06	1,9	18	27	163	1,7	17	240
Mai	252	1,8	0,06	0,08	2,4	37	27	100	2,2	27	140
Juin	961	1,3	0,02	0,07	2,2	13	10	66	2,5	23	690
Juillet	350	1,0	0,02	0,03	0,7	16	12	97	2,1	18	270
Août	743	1,2	0,04	0,04	2,2	11	8	105	2,8	17	310
Septembre	590	0,4	0,04	0,01	0,7	4	3	91	1,8	17	350
Octobre	701	0,2	0,03	0,04	2,2	8	6	241	1,9	22	190
Novembre	1 213	0,2	0,02	0,05	2,9	22	15	221	1,9	17	120
Décembre	423	0,2	0,04	0,02	1,4	17	12	260	1,2	9,2	41
TOTAL ANNUEL	7 575	11.2	0.58	0.63	23.1	194	155	2 297	21.1	197.4	2 738

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 2019 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2019.

Substances	Unité	2017	2018	2019	Prévisionnel 2019
Acide borique	kg	4 085	4 905	7 575	5 000
Ethanolamine	kg	12	16	11	14
Hydrazine	kg	0.32	0.35	0.58	1
Lithine	kg	0.99	1.28	0.63	1.1
Détergents	kg	23	23	23	30
Phosphates	kg	316	155	195	300
Sodium	kg	231	112	155	240
Ammonium	kg	2 731	2 238	2 297	3 000
Métaux totaux	kg	18	16	21	24
MES	kg	165	248	197	/
DCO	kg	1 524	1 777	2 738	/

Commentaires : La quantité d'acide borique rejetée en 2019 est supérieure au prévisionnel en raison de plusieurs aléas techniques sur des circuits borés ne permettant pas de recycler l'acide borique.

iii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2019 avec les valeurs limites de rejets fixées par l'arrêté du 29 décembre 2004.

Substances	Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet
	Flux 24h (kg)	Valeur maximale calculée (kg)	Flux 2h (kg)	Valeur maximale calculée (kg)	Flux annuel ajouté (kg)	Flux annuel calculé (kg)
Acide borique	5 500	210	460	18	28 202	7 575
Ethanolamine	12	0.33	/	/	910	11
Hydrazine	5	0.11	2	0.08	28	0.58
Lithine	/	/	/	/	8	0.63
Détergents	30	0.36	367	0.03	3740	23
Ammonium	60	58	45	40	3 700	2 731
Phosphates	50	15	25	9.7	1 710	316
Sodium	/	/	/	/	1 240	231
Métaux totaux	14	0.36	/	/	/	/
MES	298	2.5	/	/	/	/
DCO	433	52	/	/	/	/

Commentaires : Les rejets liquides chimiques respectent les valeurs limites annuelles de rejet de l'arrêté du 29 décembre 2004.

e. Rejets d'effluents liquides chimiques via « l'émissaire A4 »

Ce paragraphe présente les rejets de substances chimiques liées au traitement antitartre et le traitement biocide saisonnier du CNPE de Nogent-sur-Seine pour l'année 2019.

i. Cumul mensuel

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

	Chlorures (kg)	Sodium (kg)	AOX (kg)	Ammonium (kg)	CRT (kg)	Nitrates (kg)	Nitrites (kg)	Sulfates (t)	Polyacrylates (t)	DCO (t)
Janvier	/	/	/	/	/	/	/	1 194	5,4	7,6
Février	/	/	/	/	/	/	/	1 089	3,6	5,0
Mars	/	/	/	/	/	/	/	1 190	5,1	7,2
Avril	4 008	2 597	6,7	60,7	130	3 587	53,9	747	4,9	6,8
Mai	6 535	4 234	21,1	5,3	424	5 971	29,1	295	2,5	3,5
Juin	8 295	5 374	73,0	11,6	182	7 541	46,5	582	2,0	2,8
Juillet	6 993	4 531	15,8	41,0	193	6 429	0,4	372	1,1	1,5
Août	7 754	5 024	32,4	15,4	82	7 103	27,4	384	1,1	1,6
Septembre	7 724	5 004	35,5	0,0	49	7 100	1,8	304	1,5	2,1
Octobre	3 695	2 394	0,0	0,0	12	3 399	1,1	1 356	2,5	3,5
Novembre	/	/	/	/	/	/	/	1 010	2,9	4,1
Décembre	/	/	/	/	/	/	/	1 330	3,9	5,4
TOTAL ANNUUEL	45 004	29 158	185	134	1 072	41 129	160	9 851	36.6	51.2

ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Les limites réglementaires relatives aux rejets des substances chimiques liées au traitement antitartre et au traitement biocide sont réglementées par l'arrêté du 29 décembre 2004.

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets d'effluents liquides chimiques de l'année 2019 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2019.

Paramètres	Unité	2017	2018	2019	Prévisionnel 2019
Chlorures	t	116	59	45	57,5
Sodium	t	75	38	29	37,5
AOX	kg	466	172	185	250
Ammonium	kg	289	218	134	250
CRT	kg	382	1 714	1 072	650
Nitrates	t	106	54	41	53
Nitrites	kg	506	429	160	2 000
Sulfates	t	11 177	10 491	9 851	11 000
Polyacrylates	t	61	51,5	37	45
DCO	t	85	75	51	/

Commentaires : La différence par rapport au prévisionnel pour le paramètre CRT est principalement liée à un effet comptabilisation avec l'augmentation de Limite de Quantification (LQ) lors du changement de prestataire qui n'a pas été intégrée dans le calcul du prévisionnel 2019.

iii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous présente les rejets annuels relatifs au traitement antitartre et au traitement biocide à la monochloramine pour chaque type de substance chimique.

- Traitement anti-tartre :

Paramètres	Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet
	Flux 24h ajouté (kg)	Valeur maximale (kg)	Flux 2h (kg)	Valeur maximale (kg)	Flux annuel ajouté (t)	Flux annuel (kg)
Sulfates	53 100	49 254	4 900	4 147	15 700	9 851
Polyacrylates	436	242	40	20	170	37
DCO	1 200	339	/	/	/	/

- Traitement biocide :

Paramètres	Limite	Rejet
	Flux 2h ajouté (kg)	Valeur maximale (kg)
Chlorures	180	72.1
Sodium	116	46.7
AOX	3	0.2
Ammonium	3	1.03
CRT	9	4.4
Nitrates	165	50.6
Nitrites	9 (1) 34.4 (2)	0.9

(1) Valeur à respecter pour 90 % des échantillons prélevés.

(2) Valeur à respecter pour 100 % des échantillons prélevés.

Commentaires : La stratégie de traitement a été adaptée au cours de la campagne de traitement biocide (continu/séquentiel) sans entraîner de dépassement du prévisionnel ou des limites. Le prévisionnel des flux chimiques peut être fluctuant pour permettre la maîtrise des colonisations amibes et légionnelles.

f. Rejets d'effluents liquides chimiques via l'émissaire principal B1

Ce paragraphe présente les concentrations maximales ajoutées dans l'ouvrage de rejet principal B1 des substances chimiques de l'ensemble des installations du CNPE de Nogent-sur-Seine pour l'année 2019.

i. Suivi mensuel

Le tableau ci-dessous présente le suivi mensuel moyen pour chaque type de substances chimiques par voie liquide (mg/L).

	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Acide Borique	0.11	0.14	0.10	0.07	0.05	0.18	0.12	0.15	0.67	0.21	0.19	0.20
ETA	5.5 ^{E-4}	7.7 ^{E-4}	8.5 ^{E-4}	1.3 ^{E-3}	1.3 ^{E-3}	1.1 ^{E-3}	1.4 ^{E-3}	6.8 ^{E-4}	3.1 ^{E-4}	1.9 ^{E-4}	1.2 ^{E-4}	2.6 ^{E-4}
Hydrazine	1.6 ^{E-4}	1.6 ^{E-5}	2.4 ^{E-5}	1.8 ^{E-4}	5.3 ^{E-5}	1.9 ^{E-5}	2.4 ^{E-5}	2.1 ^{E-5}	3.1 ^{E-5}	7 ^{E-5}	1.2 ^{E-5}	4.3 ^{E-5}
DCO	1.0	0.84	1.07	0.91	0.55	0.56	0.22	0.21	0.32	0.58	0.63	0.84
Azote total	0.21	0.34	0.38	0.18	0.27	0.32	0.23	0.23	0.25	0.32	0.16	0.15
Phosphates	2.0 ^{E-3}	4.3 ^{E-2}	3.5 ^{E-3}	5.0 ^{E-3}	2.9 ^{E-2}	1.1 ^{E-2}	6.5 ^{E-3}	3.9 ^{E-3}	2.2 ^{E-3}	6.2 ^{E-3}	7.5 ^{E-3}	7.6 ^{E-3}
Nitrates	1.6	1.8	1.8	0.7	0.3	1.1	1.2	0.6	0.6	0.3	0.7	0.7
Nitrites	5.3 ^{E-3}	0.02	0.05	0.01	1.3 ^{E-2}	1.3 ^{E-2}	5 ^{E-3}	2 ^{E-2}	1.7 ^{E-2}	2.2 ^{E-4}	0.03	0.05
chlorures	0.6	1.8	7.2	13	15	13	13	10	18	5.2	1.8	1.2
Sodium	0.54	0.39	2.2	3.4	5.2	4.7	4.8	3.9	7.0	2.4	0.34	0.23
AOX	/	/	/	0.2	1.8 ^{E-2}	1.6 ^{E-2}	1.7 ^{E-2}	1.6 ^{E-2}	2 ^{E-2}	3 ^{E-2}	/	/
THM	/	/	/	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	/	/
CRT	/	/	/	0.054	0.06	0.054	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	/	/
Détergents	2.6 ^{E-4}	4.1 ^{E-4}	2.4 ^{E-5}	2.8 ^{E-4}	4.5 ^{E-4}	3.9 ^{E-4}	8 ^{E-5}	4.5 ^{E-4}	8.4 ^{E-4}	7.1 ^{E-4}	4.9 ^{E-4}	6.4 ^{E-4}
Métaux totaux	5.5 ^{E-4}	1.1 ^{E-3}	8.2 ^{E-4}	1.1 ^{E-3}	1.1 ^{E-3}	1.2 ^{E-3}	1.1 ^{E-3}	7.7 ^{E-4}	6.5 ^{E-4}	1.2 ^{E-3}	6.9 ^{E-4}	7.7 ^{E-4}
Hydrocarbures	0.05	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

ii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2019 avec les valeurs limites de rejets fixées par l'arrêté du 29 décembre 2004.

Paramètres	Limite	Rejet
	Concentration maximale ajoutée (mg/L)	Valeur maximale calculée (mg/L)
Acide Borique	16	0.83
ETA	0.12	4.9 ^{E-3}
Hydrazine	0.06	3 ^{E-3}
DCO	13	1.5
Azote total	4.8	1.8
Phosphates	0.82	0.53
Nitrates	11	2
Nitrites	0.6	0.07
Chlorures	90.7	3.9
Sodium	41.7	10
AOX	0.09	0.03
THM	< 0.001	< 0.001
CRT	0.3	0.075
Détergents	1	1.6 ^{E-3}
Métaux totaux	0.11	6.9 ^{E-3}
Hydrocarbures	0.5	0.1

Commentaires : RAS.

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

Commentaires :

L'année 2019 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.

III. Rejets thermiques

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

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

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

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

L'échauffement de l'eau (écart de température entre la sortie et l'entrée : ΔT °C) est lié à la puissance thermique (P_{th}) à évacuer au condenseur et du débit d'eau brute au condenseur (Q).

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

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

1. En conditions climatiques normales

Les rejets thermiques issus du circuit de refroidissement du CNPE de Nogent-sur-Seine et des différents circuits secondaires nécessaires à son fonctionnement doivent respecter les limites fixées dans l'arrêté du 29 décembre 2004.

Le CNPE de Nogent-sur-Seine réalise en continu des mesures de températures en amont et en aval du CNPE et un suivi des rejets thermiques conformément aux autorisations de rejet en vigueur (échauffement amont-aval calculé sur 12h glissantes et température aval après mélange aux eaux de la Seine calculés sur 12 heures glissantes).

Le bilan des valeurs mensuelles de ces différents paramètres pour l'année 2019 est présenté dans le tableau suivant :

	Température amont (°C)			Echauffement amont-aval calculé (°C)			Température aval après mélange (°C)		
	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy
Janvier	7,5	4,0	6,1	1.1	0.5	0.8	8,4	4,8	6,9
Février	5,4	6,1	7,5	0.9	0.2	0.4	5,8	6,9	8,4
Mars	7,2	7,5	5,4	1.0	0.2	0.6	7,6	8,4	5,8
Avril	8,9	5,4	7,2	0.8	0.2	0.5	9,8	5,8	7,6
Mai	8,8	7,2	8,9	0.6	0.1	0.3	9,4	7,6	9,8
Juin	9,7	8,9	8,8	0.9	0.4	0.6	10,3	9,8	9,4
Juillet	11,7	8,8	9,7	0.6	- 0.1	0.4	12,1	9,4	10,3
Août	10,3	9,7	11,7	0.5	0.2	0.4	10,8	10,3	12,1
Septembre	12,7	11,7	10,3	1.0	- 0.1	0.5	13,2	12,1	10,8
Octobre	16,1	10,3	12,7	1.1	0.4	0.8	16,7	10,8	13,2
Novembre	11,5	12,7	16,1	0.9	0.3	0.7	12,0	13,2	16,7
Décembre	14,6	16,1	11,5	1.1	0.2	0.5	14,9	16,7	12,0

2. Comparaison aux limites

Les rejets thermiques doivent respecter les limites fixées à l'article 22 de l'arrêté du 29 décembre 2004.

Paramètres	Unité	Limite en vigueur	Valeurs maximales
Echauffement amont-aval calculé en moyenne sur 12 heures glissantes	°C	3	1.1
Température aval après mélange en moyenne sur 12 heures glissantes	°C	28	25.8

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

3. En conditions climatiques exceptionnelles

Aucun épisode caniculaire nécessitant l'utilisation des limites en conditions climatiques exceptionnelles n'a eu lieu en 2019.

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

Commentaires : L'année 2019 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 - Prévention du risque microbiologique

Le CNPE de Nogent-sur-Seine peut être confronté au risque de prolifération de micro-organismes pathogènes pour l'homme, comme les amibes ou les légionelles, qui sont naturellement présents dans les cours d'eau en amont des installations et transitent par les circuits de refroidissement.

Ces micro-organismes trouvent en effet un terrain de développement favorable dans l'eau des circuits de refroidissement dits «semi fermés » des CNPE. Ces circuits de refroidissement, équipés de tours aéroréfrigérantes, sont soumis depuis le 1^{er} avril 2017 à une réglementation commune, la décision ASN n° 2016-DC-0578 relative à la prévention des risques résultant de la dispersion de micro-organismes pathogènes, qui fixe des seuils à partir desquels des actions doivent être menées afin de rétablir les concentrations à des niveaux inférieurs.

Afin de limiter ces proliférations, le CNPE de Nogent-sur-Seine applique un traitement biocide à l'eau des circuits de refroidissement. Dans l'objectif de limiter l'impact sur l'environnement de ce traitement par injection de monochloramine, le CNPE de Nogent-sur-Seine développe depuis plusieurs années une méthodologie de traitement séquentiel au lieu d'une injection continue. Cette méthode permet de maîtriser le risque microbiologique tout en diminuant de façon notable les quantités de produits chimiques rejetés.

Les résultats microbiologiques indiqués dans ce rapport sont issus de l'exigence 5.4.1 de la décision ASN n° 2016-DC-0578 dite « Amibes Légionelles ». Pour corrélérer les résultats microbiologiques et le traitement biocide associés mis en place sur les CNPE, les exigences des décisions individuelles des CNPE liées à la surveillance et aux résultats de mesures du traitement biocide sont présentées également ci-dessous.

I. Bilan annuel des colonisations en circuit

Les valeurs maximales observées en 2019 en *Legionella pneumophila* mesurées en bassin et en *Naegleria fowleri* calculées en aval dans le fleuve sont détaillées dans le tableau ci-dessous.

Les résultats des analyses de suivi de la concentration en *Legionella pneumophila* et en *Naegleria fowleri* calculés en aval dans le fleuve sont détaillés en **annexe 1**.

Paramètre	Valeur maximale observée en 2019	Seuil d'action
<i>Legionella pneumophila</i>	1 300 UFC/L en Tranche 1 le 15 octobre 2019	10 000 UFC/L
<i>Naegleria fowleri</i>	16 Nf/L le 18 avril 2019	100 <i>N.fowleri</i> /L

Sur l'année 2019, la concentration en *Naegleria fowleri* calculée dans la Seine après dilution du rejet n'a jamais atteint la valeur limite de 100 Nf/L, et la concentration en *Legionella pneumophila* n'a jamais atteint le seuil d'action de 10 000 UFC/L.

II. Synthèse des traitements biocides et rejets associés

Les données concernant les rejets associés aux traitements biocides se trouvent dans la Partie IV- Rejets d'effluents.

La stratégie de traitement communiquée en début d'année consistait en un traitement continu, suivi d'un traitement séquentiel. Le traitement séquentiel consiste en une injection continue de 10 heures par jour suivi d'un arrêt du traitement de 14h environ. Le traitement est démarré et arrêté sur des critères basés sur les niveaux de colonisations en amibes *Naegleria fowleri*.

Données d'ensemble de la campagne de traitement 2019 :

Paramètres	Unités de production	
	N° 1	N° 2
Date de démarrage du traitement	Pas de traitement en 2019	21 avril 2019
Date d'arrêt du traitement	/	14 octobre 2019
Date d'arrêt de Tranche	Du 20 avril 2019 au 22 septembre 2019	Du 18 mai 2019 au 2 juin 2019 et du 13 juillet 2019 au 23 juillet 2019
Nombre de jour de traitement continu	/	15
Nombre de jour de traitement séquentiel	/	161
Date de mise en œuvre du traitement renforcé	/	Pas de traitement renforcé en 2019
Nombre de jours de Chloration massive	/	/
CRT moyen sortie condenseur (mg/L)	/	0.25 +/- 0.05 mg/L
Consommation réelle d'eau de Javel (m ³)	300.7	
Consommation réelle d'ammoniaque (m ³)	52.5	

Les approvisionnements en réactifs se sont déroulés comme prévu et n'ont pas posé de difficulté particulière.

Partie VI - Surveillance de l'environnement

I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement

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

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

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

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

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

Les prélèvements et analyses sont réalisés à des fréquences variables en cohérence avec les objectifs assignés à la mesure (alerte, contrôle, ...). Des contrôles quotidiens, hebdomadaires et mensuels sont ainsi réalisés dans l'écosystème terrestre, l'air ambiant, les eaux de surface recevant les rejets liquides et les eaux souterraines. Les prélèvements et les analyses sont réalisés par le CNPE selon les modalités fixées par les autorisations délivrées par l'administration. La stricte application du programme de surveillance fait l'objet d'inspections 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. Les résultats des mesures de radioactivité réalisées dans le cadre de la surveillance réglementaire de l'environnement sont également accessible 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 détaillé 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.

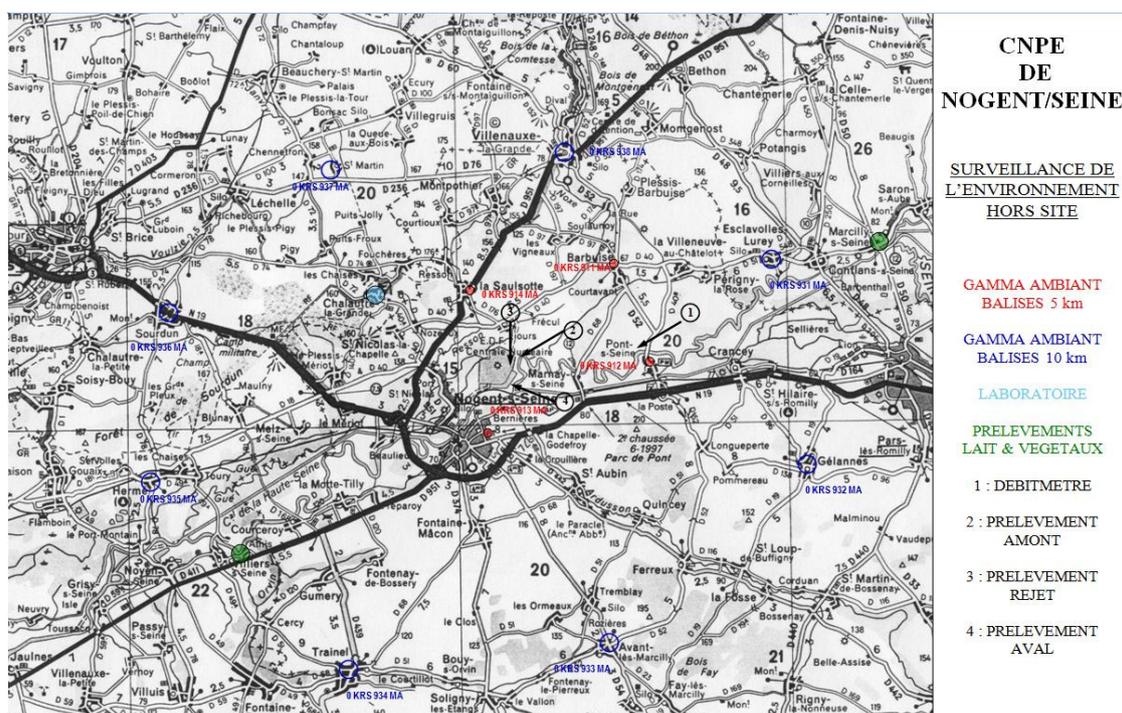
En règle générale, le plan d'échantillonnage contient des échantillons biologiques, qui constituent des voies de transfert possibles, directes ou indirectes, de la radioactivité vers l'homme (prélèvements de légumes, fruits, poissons, lait, eaux, herbes...) et des échantillons, appelés bio indicateurs, 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.



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 2019 sont présentés dans le tableau suivant. Les débits de dose maximaux et les données relatives à l'année antérieure sont également présentés à titre de comparaison.

Réseau de mesure	Débit de dose moyen année 2019 (nSv/h)	Débit de dose max année 2019 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2018 (nSv/h)	Débit de dose max année 2018 (nSv/h)
Clôture	78	264	82	3 540
1 km	87	428	86	264
5 km	87	203	93	204
10 km	95	180	94	166

Commentaires : Pour les quatre réseaux, les débits de dose moyens enregistrés pour l'année 2019 sont de l'ordre de grandeur du bruit de fond et cohérents avec les résultats des années antérieures.

Les valeurs maximales 2018 et 2019 des réseaux clôture et 1 km sont liées aux passages de Transports nucléaires à proximité immédiate des balises.

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 1^{er} 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 globales et tritium sont réalisées.

Les résultats des mesures réalisées sur le compartiment atmosphérique pour l'année 2019 sont donnés dans le tableau suivant.

Compartiment	Paramètres	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée	Limite réglementaire (pour chaque analyse)	
Poussières atmosphériques	Bêta globale	4.6E-4 Bq/m ³	1.8E-3 Bq/m ³	0,01 Bq/m ³	
	Spectrométrie gamma	⁵⁸ Co	< 1.3E-5	< 1.9E-5	-
		⁶⁰ Co	< 7.9E-6	< 1.1E-5	-
		¹³⁴ Cs	< 8.5E-6	< 1.1E-5	-
		¹³⁷ Cs	< 6.6E-6	< 9.5E-6	-
		⁴⁰ K	1.3E-4	2E-4	-
Tritium atmosphérique		< 0.14 Bq/m ³	< 0.168 Bq/m ³	50 Bq/m ³	
Eau de pluie	Bêta globale	0.28 Bq/L	0.72 Bq/L	-	
	Tritium	< 4.9 Bq/L	< 5.4 Bq/L	-	

Commentaires : Les mesures de surveillance du compartiment atmosphérique pour l'année 2019 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 2019 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 maximale mesurée
Végétaux terrestres (Bq/kg sec)	Spectrométrie gamma	¹³⁷ Cs	Mensuelle	0.46	1.2
		⁴⁰ K		682	1 400
Lait (Bq/L)	Spectrométrie gamma		Mensuelle		
		¹³⁷ Cs		< 0.38	< 0.49
		⁴⁰ K		47	78

Commentaires :

Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment terrestre ainsi que leur interprétation pour l'année 2018 sont présentés dans le rapport du suivi radioécologique annuel, présenté en **annexe 2**. Les rapports du suivi radioécologique annuel sont toujours présentés avec 2 ans de décalage (lié aux délais de prélèvements, d'analyses et d'interprétations des résultats).

4. Surveillance du milieu aquatique

Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment aquatique ainsi que leur interprétation pour l'année 2018 sont présentés dans le rapport du suivi radioécologique annuel, présenté en **annexe 2**. Les rapports du suivi radioécologique annuel sont toujours présentés avec 2 ans de décalage (lié aux délais de prélèvements, d'analyses et d'interprétations des résultats).

5. Surveillance des eaux souterraines

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

Paramètres		Unité	Valeur maximale mesurée
Eau filtrée	Activité bêta globale	Bq/L	< 1
	Tritium		< 20
Matières en suspension	Activité bêta globale	Bq/L	< 1

Commentaires : RAS.

II. Physico-chimie des eaux souterraines

Une surveillance physico-chimique des eaux souterraines est effectuée sur les paramètres physicochimiques par le biais de prélèvements sur 5 piézomètres du CNPE.

Paramètres	Unité	Valeur maximale mesurée
pH	-	7.5
Conductivité	μS/cm	802
COT	mg/L	4.9
Sulfates		208
Polyacrylates		< 0.003
Chlorures		79.2
Hydrocarbures		< 0.1
Fer		2.3
Manganèse		0.267
Nickel		0.007

Commentaires : RAS.

III. Chimie et physico-chimie des eaux de surface

1. Physico-chimie en continu

Les stations multi-paramètres (SMP), situées à « l'amont » et à « l'aval » du CNPE, mesurent en continu le pH, la conductivité, la température de l'eau et l'oxygène dissous dans le milieu récepteur.

Les tableaux suivants présentent les résultats du suivi sur l'année 2019 pour les stations amont, rejet et aval.

Station amont	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Oxygène dissous (mg/L)	11,6	11,3	10,6	10,3	9,6	8,6	8,1	7,8	9,0	9,0	9,8	9,9
Conductivité (μS/cm)	542,5	528,0	515,5	500,2	493,5	483,4	404,9	336,4	306,1	326,5	471,0	528,5
pH	8,0	7,9	7,8	7,9	7,9	7,8	7,8	8,3	7,9	8,0	8,2	8,2
Température	6,1	7,1	9,7	12,7	14,5	19,5	22,0	21,0	17,8	14,4	9,4	7,9

Commentaires : RAS.

Station rejet	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Oxygène dissous (mg/L)	9,7	9,3	9,0	9,4	9,4	8,3	8,3	8,0	8,8	8,3	9,1	9,0
Conductivité (µS/cm)	771,3	777,4	777,2	647,4	586,3	641,7	484,7	415,4	386,1	515,0	684,5	777,7
pH	8,3	8,1	8,1	8,0	8,0	7,9	8,0	8,4	8,2	8,3	8,3	8,2
Température	17,8	19,9	21,2	19,0	18,4	24,3	24,5	24,1	22,1	24,5	19,8	21,1

Commentaires : RAS.

Station aval	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Oxygène dissous (mg/L)	11,6	11,3	10,6	10,3	9,7	8,5	8,1	7,7	9,0	9,0	9,8	9,9
Conductivité (µS/cm)	561,3	542,6	533,4	514,5	498,8	501,3	420,5	345,0	311,5	332,8	464,5	516,1
pH	8,0	8,0	7,9	7,9	7,8	7,7	7,7	8,2	7,8	7,9	8,1	8,1
Température	7,0	7,6	10,3	13,2	14,9	20,1	22,4	21,5	18,2	15,1	10,1	8,4

Commentaires : RAS.

Il n'y a pas de différence significative des mesures moyennes mensuelles de pH, oxygène dissous et de conductivité entre les stations amont et aval du CNPE.

2. Physico-chimie des eaux de surface

Le CNPE fait réaliser par la société IRH INGENIEUR CONSEIL, en amont et en aval, des mesures mensuelles de certains paramètres physico-chimiques soutenant la vie biologique. Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants :

Station Marnay (amont)	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Température (°C)	7,8	5,9	9,3	12,1	12,2	18,3	20,2	24,8	16,8	14,4	13	5,5
pH	8,4	8,46	7,9	7,38	7,95	8,14	8,25	8,3	8,34	8,37	8,16	8,41
Conductivité (µS/cm)	460	490	511	495	485	284	401	350	433	300	355	490
O2 (mg/L)	13,1	13,0	8,9	12,0	10,7	10,4	9,5	8,1	9,84	10,2	10,61	12,9
Calcium (mg/L)	110	94	97	100	96	91	76	63	54	57	63	100
Chlorures (mg/L)	14	12	18	14	19	18	14	10	11	12	11	14
Magnésium (mg/L)	3,7	3,4	3,6	3,1	3,4	3,2	3,1	3,3	3,1	3,3	3,4	3,6
Silicates (mg/L)	2,6	2,5	1,9	1,9	1,5	2,3	5,5	1,7	1,5	1,3	1,81	2,84
TAC (°f)	22,5	20,3	20,8	23,6	20,2	19,8	17,5	14	12,3	13	14,2	23,3
COT (mg/L)	1,9	3,5	2,6	1,6	1,6	1,6	1,8	1,9	2,2	2	2	2
DBO5 (mg/L)	1,3	1,3	< 3,0	1,8	1,6	3,0	0,5	1,00	1,6	0,9	1,9	2
DCO (mg/L)	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5	< 5	< 5	< 5	8	< 5	< 5	< 5	< 5
MES (mg/L)	7	30	6	12,6	< 2	4	5	5	4	8	14	6
Ammonium (mg/L)	< 0,05	< 0,05	0,12	< 0,05	< 0,05	0,14	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Azote Kjeldahl (mg/L)	< 0,5	0,8	21,6	0,7	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Nitrates (mg/L)	27	30	27	24	24	20	14	9,9	8,9	7,6	9,4	28
Nitrites (mg/L)	0,03	0,03	0,03	0,02	< 0,01	0,03	0,04	0,02	0,02	0,05	< 0,01	0,02
Phosphates (mg/L)	0,078	0,066	0,046	0,037	0,03	< 0,015	0,06	0,086	0,12	0,069	0,048	0,055
COD (mg/L)	1,8	2,8	2,5	1,5	1,6	1,3	1,5	1,5	2,1	1,8	2	2
Phosphore total (mg/L)	0,03	0,06	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,04	0,03
Turbidité (FNU)	2,8	11,6	5,1	8,3	2,2	3,6	4,8	0,5	1,3	4,6	7,2	1,7
Hydrogénocarbonates (mg/L)	269	244	254	288	238	241	214	176	150	159	174	284
Sodium (mg/L)	6,2	5,4	7,1	5,8	7,7	6,8	6	5,0	4,9	5,9	5,1	6,2
Potassium (mg/L)	1,8	1,7	1,9	1,6	2	2,3	1,7	1,5	1,4	1,7	2	2
TH (°f)	27,8	24,9	25,6	26,4	25,5	24,0	20,2	17,1	14,8	15,5	17,2	26,5

Station Nogent (aval immédiat)	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Température (°C)	7,8	6,3	10,3	12,5	12,1	18,6	21,2	24,6	16,9	14,9	12,9	6,1
pH	8,4	8,38	7,85	7,99	8,21	8,09	8,17	8,3	8,33	8,4	8,22	8,42
Conductivité (µS/cm)	481	493	534	504	491	295	418	370	460	319	345	507
O2 (mg/L)	13	13,1	9,1	9,5	10,4	10,3	8,5	7,6	9,68	10,1	10,24	12,8
Calcium (mg/L)	110	95	100	100	99	93	81	65	55	59	65	100
Chlorures (mg/L)	15	12	19	15	20	19	14	10	11	13	12	14
Magnésium (mg/L)	3,8	3,4	3,7	3,2	3,5	3,3	3,4	3,4	3,1	3,4	3,5	3,7
Silicates (mg/L)	2,8	2,5	2	2,0	1,5	2,4	2,1	1,7	1,5	1,4	1,86	3,16
TAC (°f)	21,9	20,4	20,1	23,1	19,7	28	17,5	14,3	12,2	12,7	14,1	21,5
COT (mg/L)	2,1	4,6	2,6	1,7	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2	2,1	2
DBO5 (mg/L)	1,7	1,9	< 3,0	1,9	1,2	1,9	<0,5	1,2	1,4	0,8	1,5	2,1
DCO (mg/L)	< 5,0	< 5,0	< 5,0	7	<5	<5	5	8	< 5	< 5	< 5	< 5
MES (mg/L)	7	33	10	12,6	5	8	8	9	6	5	6	4
Ammonium (mg/L)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,11	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Azote Kjeldahl (mg/L)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	4,8	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	2,3	< 0,5
Nitrates (mg/L)	28	30	28	24	24	21	15	10	9,2	8,1	10	28
Nitrites (mg/L)	0,03	0,03	0,02	0,01	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	< 0,01	0,02	0,02
Phosphates (mg/L)	0,084	0,07	0,052	0,039	0,031	0,033	0,063	0,049	0,048	0,06	0,061	0,058
COD (mg/L)	2	1,3	2,7	1,5	1,6	1,4	1,6	1,7	2,00	2	2	2
Phosphore total (mg/L)	0,04	0,06	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03
Turbidité (FNU)	2,6	12,5	14,6	9,6	2,1	5,5	4,8	1,4	1,2	4,5	5,4	1,6
Hydrogénocarbonates (mg/L)	260	244	245	282	233	235	208	173	149	155	171	262
Sodium (mg/L)	6,6	5,3	7,5	5,8	7,9	7,6	6,5	5,2	5,1	6,1	5,3	6,4
Potassium (mg/L)	1,8	1,6	1,9	1,6	2	2,1	1,8	1,6	1,5	1,7	1,9	2,1
TH (°f)	28,6	25,2	26,5	26,8	26,0	24,6	21,6	17,6	15,00	16	17,6	27,4

Station La Motte (aval éloigné)	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Température (°C)	8,0	6	10	12,4	13,1	19,3	21,8	24,7	17	15,1	13	6
pH	8,4	8,42	7,85	7,84	8,32	8,09	8,2	8,3	8,38	8,38	10,63	8,43
Conductivité (µS/cm)	480	499	539	510	500	302	424	370	464	329	363	507
O2 (mg/L)	13,2	13,2	9,5	9,7	13,0	10,1	8,2	8,00	9,94	10,6	8,14	13,3
Calcium (mg/L)	49	96	100	100	99	93	78	65	56	60	65	100
Chlorures (mg/L)	15	13	20	15	20	20	16	11	12	13	13	15
Magnésium (mg/L)	3,8	3,4	3,7	3,3	3,4	3,3	3,2	3,4	3,2	3,4	3,4	3,7
Silicates (mg/L)	2,8	2,6	2,1	2,0	1,6	2,5	2,9	1,8	1,5	1,5	1,93	2,99
Sulfates (mg/L)	33	24	34	21	25	27	26	21	19	23	22	32
TAC (°f)	21,9	20,4	20,5	23,6	20,0	19,4	17,6	14,4	12,6	13,2	14,3	21,6
COT (mg/L)	2	4,7	2,6	1,7	1,6	1,7	1,9	2,1	2,2	2,3	2,1	2,2
DBO5 (mg/L)	1,5	1,6	< 3,0	2,1	1,3	2,1	< 0,5	1,1	1,1	0,9	1,3	2,6
DCO (mg/L)	< 5,0	< 5,0	< 5,0	7	< 5	12	< 5	6	< 5	< 5	7	<5
MES (mg/L)	6	36	6	12,8	4	5	5	6	3	7	12	4
Ammonium (mg/L)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,08	< 0,05	0,06	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Azote Kjeldahl (mg/L)	< 0,5	0,5	0,9	5,4	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	2,1	< 0,5
Nitrates (mg/L)	29	30	28	24	24	21	15	10	9,4	8,3	9,3	27
Nitrites (mg/L)	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,06	0,03	< 0,01	< 0,01	0,03
Phosphates (mg/L)	0,112	0,139	0,057	0,047	0,049	0,039	0,091	0,027	0,070	0,07	0,067	0,064
Polyacrylates (mg/L)	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100
COD (mg/L)	1,9	1,5	2,5	1,6	1,6	1,4	1,6	1,6	2,2	2	2,1	2,1
Phosphore total (mg/L)	0,04	0,06	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03
Turbidité (FNU)	3	25,2	6,1	3,1	2,3	3,2	3,4	0,5	0,9	6,1	3,9	1,4
Hydrogénocarbonates (mg/L)	261	243	250	288	236	237	210	175	153	161	175	264
Sodium (mg/L)	6,5	5,8	7,9	6,3	8,1	8,5	7,3	5,7	5,7	7	6,1	6,6
Potassium (mg/L)	1,5	1,8	2,4	1,7	2,4	2,7	2,3	2,1	2,00	2,4	2,3	2,5
TH (°f)	13,8	25,3	26,7	26,3	26,2	24,5	20,8	17,6	15,3	16,3	17,6	27,2

Commentaires : RAS.

3. Chimie des eaux de surface

Les rejets chimiques résultant du fonctionnement du CNPE sont issus :

- des produits de conditionnement des circuits ;
- des traitements de l'eau des circuits contre le tartre, la corrosion, la prolifération des micro-organismes ;
- de l'usure normale des matériaux ;
- du lavage du linge utilisé en zone contrôlée.

Ces rejets font l'objet d'une surveillance des concentrations présentes dans le milieu récepteur. A cet effet, des mesures de substances chimiques sont effectuées mensuellement (semestriellement pour les métaux) dans la SEINE en amont et en aval du CNPE. Les tableaux suivants présentent les valeurs mesurées aux trois stations amont, aval immédiat et aval éloigné sur l'année 2019.

Station Marnay (amont)		Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Bore (mg/L)		13,1	12,2	14,5	10,3	12,4	13,0	12	14,0	11,6	11,6	12,2	12,7
Métaux totaux (µ/L)	Fraction brute	69,9	595,7	104,0	183,9	77,1	86,3	62,0	134,3	140,5	121,3	128,4	117,6
	Fraction dissoute	16,0	24,5	7,8	10,8	21,5	8,9	6,2	32,3	22,5	21,8	33,8	30,7
Ethanoline (mg/L)		< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,05	< 0,05	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,05	< 0,05
Détergents (mg/L)		< 0,1	< 0,1	< 0,10	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Hydrocarbures (mg/L)		< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05

Station Nogent (aval immédiat)		Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Bore (mg/L)		16,9	11,8	15,4	9,6	15,3	17,6	12,4	14,2	11,2	12,5	12	13,9
Métaux totaux (µ/L)	Fraction brute	70,8	550,6	145,8	166,2	73,3	105,7	54,0	132,7	99,0	108,0	201,0	111,0
	Fraction dissoute	15,1	25,3	10,0	13,0	23,4	12,9	6,3	26,3	13,7	20,9	30,7	24,0
Ethanoline (mg/L)		< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,05	< 0,05	< 0,10	< 0,10	< 0,010	< 0,05	< 0,05
Détergents (mg/L)		< 0,1	< 0,1	< 0,10	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Hydrocarbures (mg/L)		< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05

Station La Motte (aval éloigné)		Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Bore (mg/L)		16,9	13,2	19,9	12,1	19,7	20,7	20,2	17,7	19,4	19,2	16,3	22,6
Métaux totaux (µ/L)	Fraction brute	59,9	545,3	93,5	191,0	90,8	91,0	72,1	102,8	89,4	120,5	127,7	128,0
	Fraction dissoute	17,6	26,4	8,5	12,6	22,7	8,7	6,9	22,4	12,8	23,6	28,7	24,9
Ethanolamine (mg/L)		< 0,1	< 0,1	< 0,10	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Détergents (mg/L)		< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Hydrocarbures (mg/L)		< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,12	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Commentaires : RAS.

IV. Hydrobiologie

Chaque année, le CNPE confie la réalisation de la surveillance hydrobiologique à DUBOST ENVIRONNEMENT. Sont distinguées la surveillance pérenne, réalisée annuellement, des surveillances en conditions climatiques exceptionnelles (CCE) ou en situation exceptionnelle (SE), dont le déclenchement est conditionné par l'atteinte d'une température de la SEINE supérieure à 28 °C et d'un échauffement supérieur à 3 °C en moyenne sur 12 heures glissantes à l'aval du CNPE.

L'objectif de la surveillance pérenne est de suivre l'évolution naturelle du milieu récepteur et de détecter une évolution anormale de l'écosystème, sur le long terme, qui pourrait être attribuable au fonctionnement du CNPE. Au contraire, les surveillances en conditions climatiques exceptionnelles et situations exceptionnelles ont plutôt pour objectif d'étudier la réponse à court terme de l'écosystème sous conditions de débits contraints et températures ambiantes élevées, le CNPE étant en fonctionnement.

1. Surveillance pérenne

La synthèse du rapport de surveillance, réalisée par DUBOST ENVIRONNEMENT, est présentée ci-dessous.

L'analyse du phytoplancton indique de très faibles concentrations, qui sont confirmées par de faibles valeurs de chlorophylles et de phéopigments toute l'année. Aucune différence interstationnelle imputable au CNPE n'est décelée au travers de ce compartiment.

Les indices IBD sont toujours compatibles avec la classe de bon état écologique, voire de très bon état écologique pour l'élément de qualité « diatomées ». L'activité du CNPE n'entraîne pas de modification significative de la qualité de l'eau de la Seine selon l'IBD.

L'étude de la qualité biologique des sédiments fins (indice IOBS) en 2019 repose sur un nombre d'oligochètes insuffisant pour pouvoir calculer l'indice aux trois stations suivies. Cependant, cette situation est plutôt fréquente puisque, sur la chronique 2002-2018, cela est déjà arrivé 5 à 7 fois à chacune des trois stations (et quasiment de manière systématique depuis 2014). Cependant, en termes de groupes taxonomiques représentés, les trois stations montrent une composition globalement comparable. De ce point de vue, l'activité du CNPE ne semble induire aucune différence interstationnelle mais il n'est pas possible de le confirmer au travers de notes indicielles IOBS cette année. Le pourcentage de Tubificinae sans soies capillaires étant supérieur à 60 % aux stations amont et aval immédiat, un effet de contamination par des micropolluants (métaux et/ou PCB) est suspecté. Etant donné que cela concerne déjà la station amont, ce constat reste sans lien avec l'activité du CNPE.

Concernant les invertébrés benthiques, les résultats des analyses MGCE-12 prélèvements réalisées au cours des deux campagnes 2019, indiquent une très bonne qualité biologique de la Seine sur l'ensemble du secteur d'étude. Vis-à-vis de ce compartiment, les résultats sont compatibles avec la classe de très bon état écologique à toutes les stations, aussi bien en mai qu'en septembre. Globalement les analyses sur les invertébrés aquatiques n'ont mis en évidence aucune différence interstationnelle imputable au fonctionnement du CNPE de Nogent-sur-Seine concernant la qualité hydrobiologique globale de la Seine.

L'étude des macrophytes aquatiques en 2019 ne fait pas apparaître de différence entre les stations imputable au fonctionnement du CNPE de Nogent-sur-Seine. Les variations de densité ou d'espèces entre les trois stations observées sont principalement dues aux caractéristiques morphodynamiques localement différentes. En outre, l'analyse de la végétation menée en 2019 n'a pas mis en évidence d'apparition ou de développement trop intense d'espèces à tendance thermophile qui pourraient proliférer en cas de réchauffement des eaux par les rejets du CNPE. En amont et en aval (immédiat et éloigné) du CNPE, la Seine atteint le bon état écologique vis-à-vis de l'indice IBMR.

Enfin, les pêches à l'électricité réalisées en septembre 2019 ont montré un total de 26 espèces piscicoles, ce qui constitue une diversité spécifique classique par rapport à ce qui a été relevé depuis 2003. Plusieurs espèces révèlent un intérêt écologique et/ou patrimonial qui confère à chaque station un aspect qualitatif particulier à préserver. La classe d'état biologique par rapport à la faune piscicole de la Seine en 2019 peut être qualifiée de « moyen » en amont et aval immédiat du CNPE et de « bon » en aval éloigné (selon les grilles de l'arrêté du 27/07/2018). Le calcul de l'IPR+, montre, en revanche, une légère diminution de l'amont vers l'aval. L'application du « protocole sanitaire » (campagne printanière) ne suggère pas non plus d'influence quelconque du CNPE sur les populations piscicoles. Par conséquent, aucune différence intersationnelle imputable au fonctionnement du CNPE n'est relevée sur la faune piscicole.

2. Surveillance en conditions climatiques exceptionnelles

L'article 29 chapitre VII de l'arrêté du 29 décembre 2004 prévoit qu'une surveillance chimique, physico-chimique, microbiologique et hydrobiologique spécifiques soit réalisée en cas de dépassement de la température maximale à l'aval de 30 °C en moyenne sur 12 heures glissantes et d'un échauffement de 1.5°C en moyenne sur 12 heures glissantes.

En 2019, le CNPE de Nogent-sur-Seine n'a pas recouru à cette surveillance.

3. Surveillance en situations exceptionnelles

L'article 22 chapitre II de l'arrêté du 29 décembre 2004 prévoit qu'une surveillance chimique, physico-chimique, microbiologique et hydrobiologique spécifiques soit réalisée en cas de dépassement de la température maximale à l'aval de 30 °C en moyenne sur 12 heures glissantes et d'un échauffement de 1.5 °C en moyenne sur 12 heures glissantes.

En 2019, le CNPE de Nogent-sur-Seine n'a pas sollicité d'autorisation temporaire de fonctionnement suite à un dossier « Article R593-40-II ».

V. Acoustique environnementale

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

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

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

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

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

La Mission Communication du CNPE de Nogent-sur-Seine réalise des informations 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.

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

Les résultats de cette surveillance et des mesures associées montrent des niveaux très faibles de radioactivité artificielle dans l'environnement du CNPE dont la majeure partie trouve son origine dans d'autres sources (retombées atmosphériques des essais nucléaires, Tchernobyl, ...). L'analyse détaillée des résultats est présentée dans le rapport du suivi radioécologique annuel réalisé par IRSN, présenté en **annexe 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

A 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 2019 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...);
- l'eau captée à l'aval des installations est considérée comme provenant de captages d'eaux superficielles, même s'il s'agit de captages en nappes d'eaux souterraines, ce qui revient à considérer que le milieu aquatique à l'aval du CNPE est toujours influencé par les rejets d'effluents liquides de l'installation ;
- on considère que l'eau de boisson n'a subi aucun traitement de potabilisation (autre que la filtration), et donc qu'aucune rétention de radionucléides n'a été effectuée lors de procédés de traitement ;
- la pêche de poissons dans les fleuves à l'aval des CNPE est supposée systématique, sans exclure les zones de pêche interdite.

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 = Tissue Weighting factor) correspondant à la radiosensibilité relative du tissu exposé. La dose efficace a pour objectif d'apprécier le risque total et s'exprime en sievert (Sv). Elle est appelée communément « **dose** ».

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

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

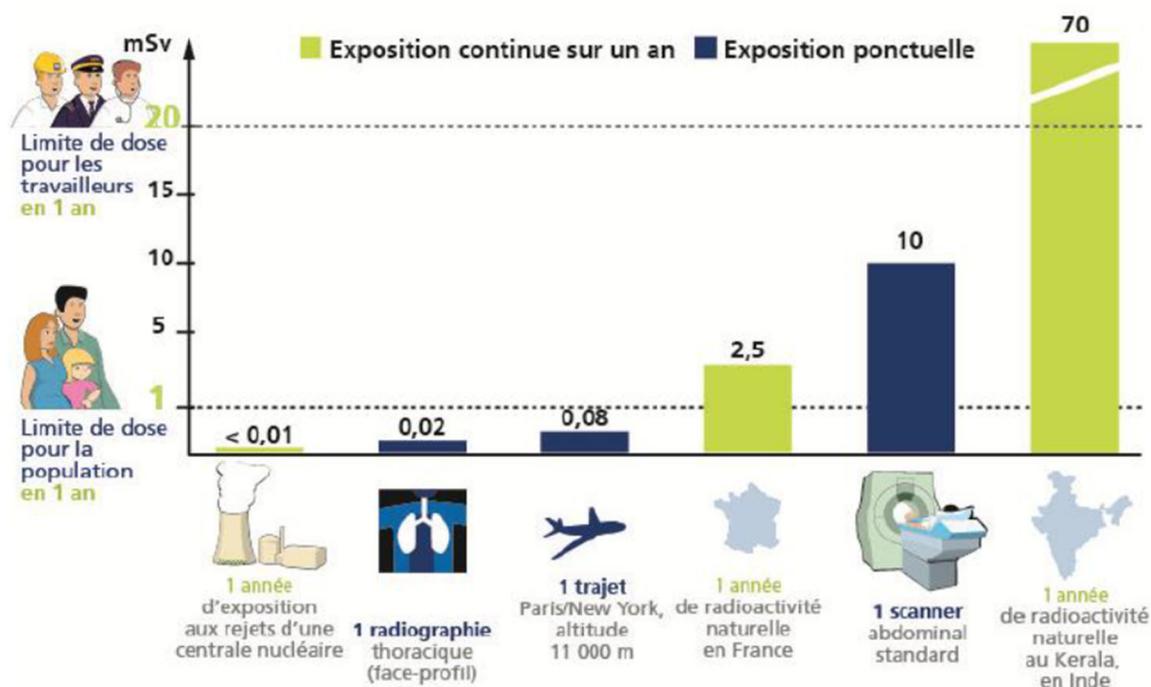


Figure 2 : Echelle des ordres de grandeur de doses résultant de situations courantes et comparaison aux seuils réglementaires (Source : EDF)

L'exposition moyenne de la population française aux rayonnements ionisants (d'origine naturelle et artificielle) est de 4,5 mSv/an. Les contributions des différentes sources d'exposition sont présentées sur la figure 3 ci-après.

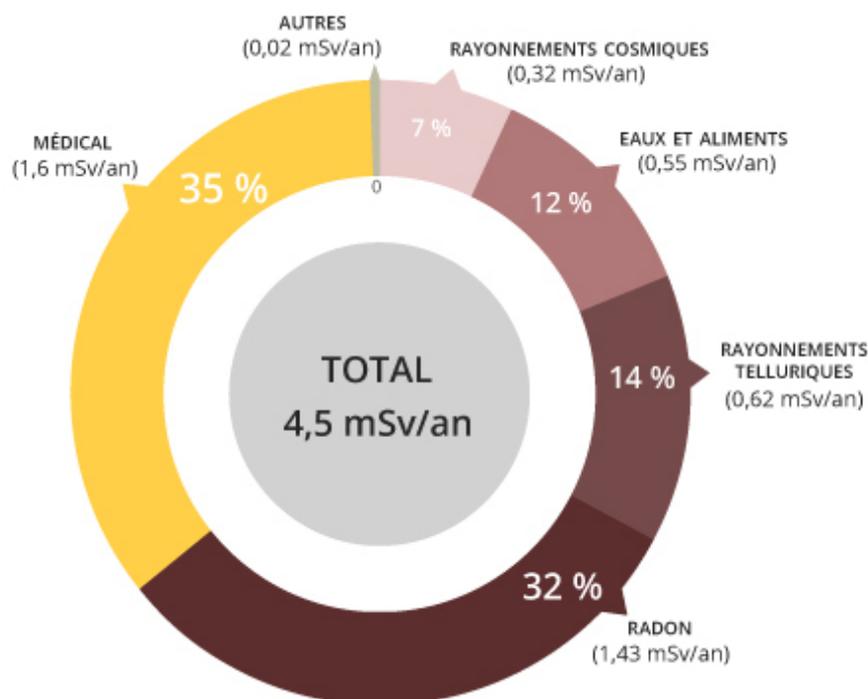


Figure 3 : Part relative des différentes sources d'expositions de la population française aux rayonnements ionisants (Source : Bilan IRSN 2015)

Le tableau suivant fournit les valeurs de dose efficace totale calculées à partir des rejets radioactifs réels de l'année 2019 effectués par le CNPE de Nogent-sur-Seine, pour la population du groupe de référence. Ce groupe correspond aux personnes pouvant recevoir la dose efficace annuelle maximale induite par les rejets d'effluents radioactifs autorisés du CNPE (cf. Arrêté du 29 décembre 2004).

ADULTE	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	5.8E-07	5.8E-06	6.4E-06
Rejets d'effluents liquides	8.5E-07	2.4E-04	2.4E-04
Total	1.4E-06	2.5E-04	2.5E-04

ENFANT DE 10 ANS	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	5.9E-07	6.0E-06	6.6E-06
Rejets d'effluents liquides	so	2.8E-04	2.8E-04
Total	5.9E-07	2.9E-04	2.9E-04

ENFANT DE 1 AN	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	5.9 ^{E-07}	9.7 ^{E-06}	1.0 ^{E-05}
Rejets liquides	so	3.5 ^{E-04}	3.5 ^{E-04}
Total	5.9^{E-07}	3.6^{E-04}	3.6^{E-04}

Les valeurs de doses calculées sont inférieures à 1.10⁻³ mSv/an pour l'adulte, 1.10⁻³ mSv/an pour l'enfant de 10 ans et 1.10⁻³ mSv/an pour l'enfant de 1 an.

Les valeurs de doses calculées pour l'adulte, l'enfant de 10 ans et l'enfant de 1 an, attribuables aux rejets d'effluents radioactifs de l'année 2019 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 le groupe de référence, 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.

A titre de comparaison, la dose moyenne liée à la radioactivité naturelle en France est de l'ordre de 2.4 mSv par an.

Partie VIII - Gestion des déchets

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

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

La démarche industrielle repose sur 4 principes :

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

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

I. Les déchets radioactifs

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

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

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

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

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

1. Les catégories de déchets radioactifs

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

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

Ces déchets proviennent essentiellement :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2. Le transport des déchets

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

- le centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage des déchets de très faible activité (CIREs) exploité par l'Andra et situé à Morvilliers (Aube) ;
- le centre de stockage de l'Aube (CSA) pour les déchets à faible ou moyenne activité exploité par l'Andra et situé à Soullaines (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

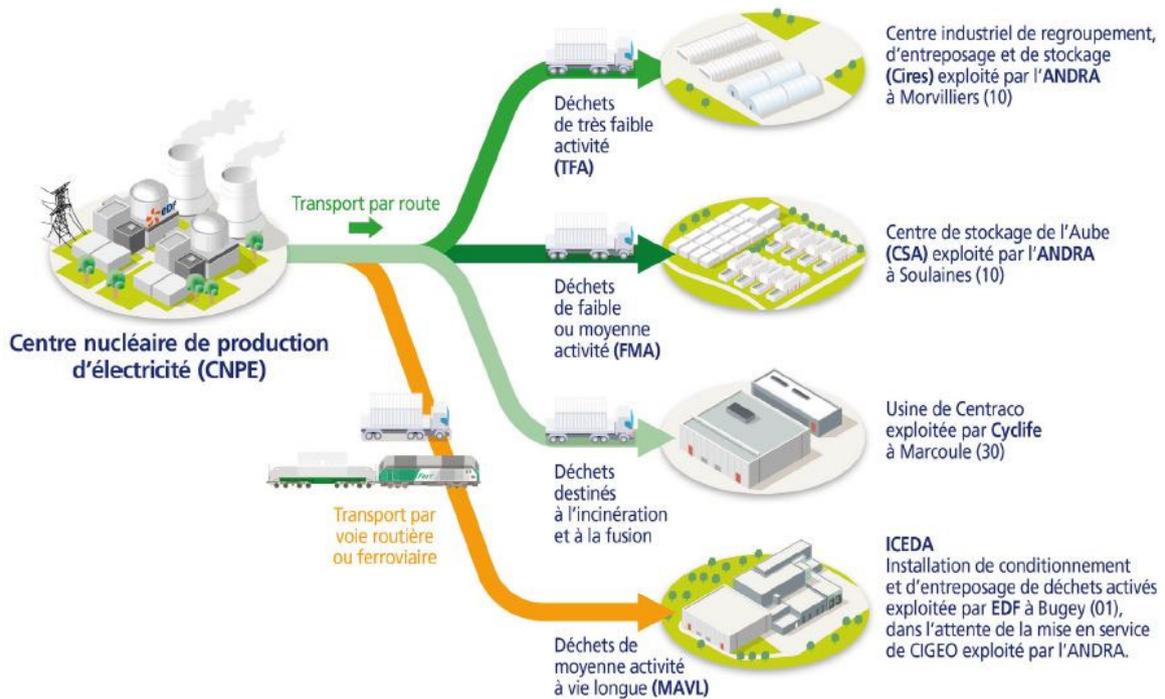


Figure 4 : Transport des déchets radioactifs (Source : EDF)

3. Les quantités de déchets entreposées au 31/12/2019

Le tableau suivant présente les quantités de déchets en attente de conditionnement au 31 décembre 2019 pour les 2 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Nogent-sur-Seine.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2019	Commentaires
TFA	366,46 tonnes	En conteneur sur l'aire TFA
FMAVC (Liquides)	34,74 tonnes	Effluents de lessivage chimique, huiles, solvants, concentrats borés
FMAVC (Solides)	200,45 tonnes	Localisation Bâtiment des Auxiliaires Nucléaire et Bâtiment de Traitement des Effluents (BTE)
FAVL	0 tonne	
MAVL	263 objets	Concerne les grappes et les étuis dans les piscines de désactivation (déchets technologiques)

Le tableau suivant présente les quantités de déchets conditionnés en attente d'expédition au 31 décembre 2019 pour les 2 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Nogent-sur-Seine.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2019	Type d'emballage
TFA	46 colis	Tous types d'emballages confondus
FMAVC	64 colis	Coques béton
FMAVC	685 colis	Fûts (métalliques, PEHD)
FMAVC	10 colis	Autres (caissons, pièces massives...)

Le tableau suivant présente le nombre de colis évacués et les sites d'entreposage en 2019 pour les 2 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Nogent-sur-Seine.

Site destinataire	Nombre de colis évacués
Cires à Morvilliers	491
CSA à Soulaines	59
Centraco à Marcoule	1539

En 2019, 2089 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 2019 par les INB d'EDF.

Quantités 2019 en tonnes	Déchets dangereux		Déchets non dangereux non inertes		Déchets inertes		Total	
	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés
Sites en exploitation	7 931 t	6 405 t	40 126 t	37 030 t	54 293 t	54 287 t	102 350 t	97 722 t
Sites en déconstruction	70 t	19 t	405 t	356,5 t	435,5 t	425,5 t	910,5 t	801 t

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 a été historiquement conséquente en 2019 du fait 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 2019, les 2 unités de production du CNPE de Nogent-sur-Seine ont produit 1401 tonnes de déchets conventionnels : 92,5 % de ces déchets ont été valorisés ou recyclés.

ABREVIATIONS

ANDRA - Agence Nationale pour la gestion des Déchets RAadioactifs

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 - Evènement Significatif Environnement

FMA - Faible Moyenne Activité

IBD - Indice Biologique Diatomées

IBMR - Indice Biologique Macrophytes en Rivière

ICPE - Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

INB - Installation Nucléaire de Base

IOBS - Indice Oligochètes de Bioindication des Sédiments

IPR - Indice Poisson Rivière

IRSN - Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

ISO - International Standard Organization

KRT - Chaîne de mesure de radioactivité

MES - Matières En Suspension

MGCE - indice Macroinvertébrés Grands Cours d'Eau

Nf - Naegleria fowleri

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

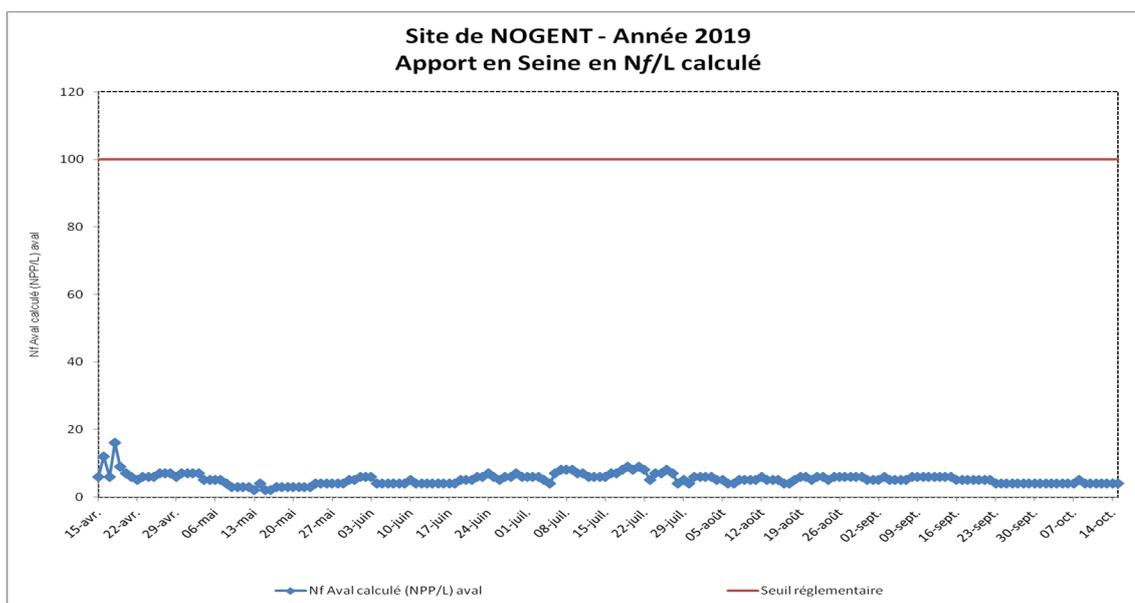
UFC - Unité Formant Colonie

Annexe 1 – Suivi 2019 de la concentration en Legionella pneumophila et en Naegleria fowleri calculées en aval du site

Concentrations en légionelles :

Date du prélèvement	Seine amont en UFC/L	Purge TR1 en UFC/L	Purge TR2 en UFC/L
08/01/2019	-	600	< 100
22/01/2019	-	< 100	< 100
05/02/2019	-	< 100	< 100
19/02/2019	-	100	< 100
05/03/2019	-	< 100	< 100
19/03/2019	-	< 100	100
02/04/2019	-	400	-
16/04/2019	-	< 100	< 100
30/04/2019	-	-	< 100
14/05/2019	-	-	< 100
27/05/2019	-	-	< 100
04/06/2019	-	-	< 100
18/06/2019	-	-	< 100
02/07/2019	< 100	-	< 100
16/07/2019	-	-	< 100
06/08/2019	-	-	< 100
20/08/2019	-	-	< 100
03/09/2019	-	-	< 100
16/09/2019	-	-	< 100
01/10/2019	-	-	< 100
15/10/2019	-	1 300	< 100
05/11/2019	-	100	< 100
19/11/2019	-	< 100	< 100
03/12/2019	-	< 100	< 100

Concentrations en Nf calculées en aval du site :



Suivi radioécologique annuel du CNPE de Nogent-sur-Seine

Année 2018

Rapport IRSN/2019-00435

Pôle Santé et Environnement

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

Suivi radioécologique annuel du CNPE de Nogent-sur-Seine

Année 2018

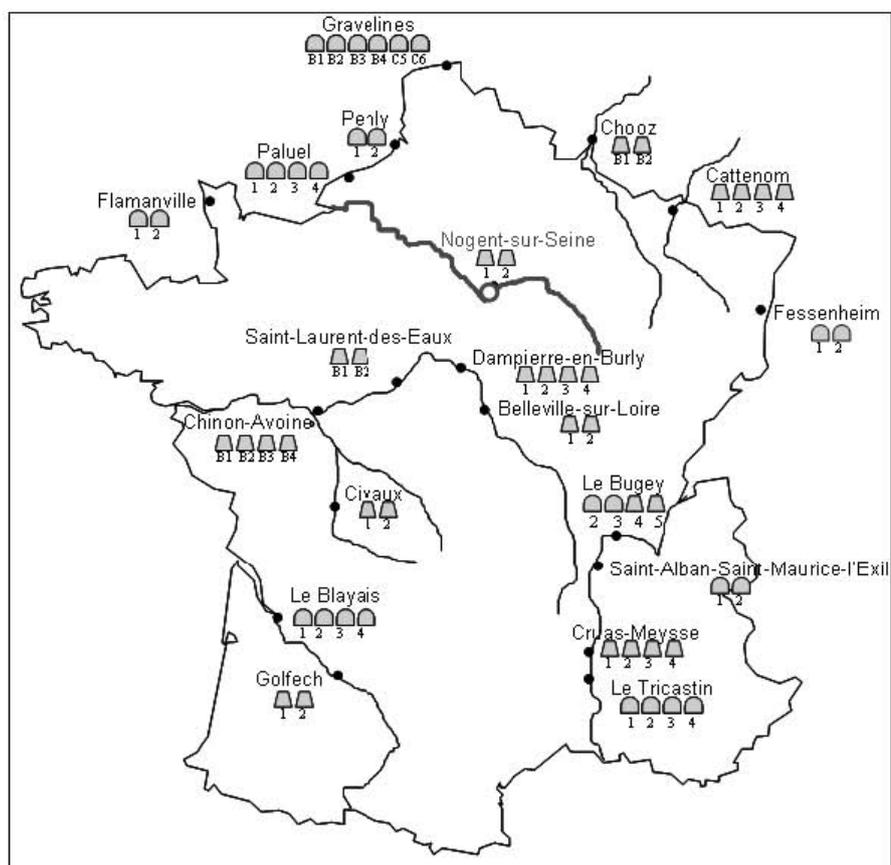


Table des Matières

TABLE DES ILLUSTRATIONS ET DES TABLEAUX	9
RÉSUMÉ.....	12
0. OBJECTIFS.....	13
1. MÉTHODOLOGIE DU SUIVI RADIOÉCOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT PROCHE DES CENTRES NUCLÉAIRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ FRANÇAIS	13
2. ORIGINE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'ENVIRONNEMENT DU CNPE DE NOGENT-SUR-SEINE.....	14
2.1. Radionucléides d'origine naturelle.....	14
2.1.1. Origine tellurique.....	14
2.1.2. Origine cosmogénique et comportement du tritium et du ¹⁴ C	14
2.2. Radionucléides d'origine artificielle	15
2.2.1. Retombées des essais aériens d'armes nucléaires	15
2.2.2. Retombées de l'accident de Tchernobyl.....	17
2.2.3. Retombées de l'accident de Fukushima-Daiichi.....	19
2.2.4. Installations nucléaires exploitées par EDF.....	20
2.2.5. Autres activités	20
3. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET GÉOGRAPHIQUE.....	21
3.1. Climatologie	22
3.2. Géologie et hydrogéologie	22
3.3. Hydrographie et hydrologie	23
4. ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE NOGENT-SUR-SEINE.....	24
4.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures.....	24
4.2. État radiologique de l'environnement terrestre.....	26
4.2.1. Stratégie d'échantillonnage	26

4.2.2.	Résultats et interprétation.....	31
4.3.	État radiologique de l'environnement aquatique	34
4.3.1.	Stratégie d'échantillonnage	34
4.3.2.	Résultats et interprétation.....	39
4.4.	Conclusion sur l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine	45
4.5.	Tableaux de résultats.....	46
5.	BIBLIOGRAPHIE	68
6.	ANNEXES	70
6.1.	Choix des stations de prélèvements	73
6.2.	Choix des matrices prélevées	73
6.2.1.	Domaine terrestre.....	74
6.2.2.	Domaine aquatique continental	74
6.1.	Choix des fréquences d'analyses	75
6.2.	Choix des analyses	75
6.3.	Méthode de prélèvements sur le terrain.....	76
6.3.1.	Domaine terrestre.....	76
6.3.2.	Domaine aquatique continental	76
6.4.	Préparation et conditionnement des échantillons	77
6.4.1.	Domaine terrestre.....	77
6.4.2.	Domaine aquatique continental	79
6.5.	Techniques d'analyses.....	80
6.5.1.	Détermination de la teneur en matière organique et de la granulométrie des sols et des sédiments.....	80
6.5.2.	Identification des espèces vivantes.....	80
6.5.3.	Mesure du tritium libre	81
6.5.4.	Mesure du tritium organiquement lié.....	81
6.5.5.	Mesure du ¹⁴ C	81
6.5.6.	Spectrométrie γ.....	82
6.6.	Expression des résultats et unités utilisées	83

6.7.	Radionucléides dans l'environnement.....	85
6.7.1.	Radioactivité d'origine naturelle	85
6.7.2.	Radioactivité d'origine artificielle.....	86
6.7.3.	Sources de ³ H	87
6.7.4.	Sources de ¹⁴ C.....	88
6.8.	Laboratoires d'analyses	89

Table des illustrations et des tableaux

Illustrations

Figure 1 – Activités de ^3H dans l'eau de pluie à Thonon-les-Bains, d'après IAEA/WMO 2006.	16
Figure 2 – Évolution de l'activité spécifique du ^{14}C dans l'hémisphère nord depuis 1950 (tirée de [1]).	17
Figure 3 - Activités surfaciques de ^{137}Cs , estimées en 2010, sur le bassin versant de la zone d'étude, issues des retombées atmosphériques des essais aériens et de l'accident de Tchernobyl [18]......	18
Figure 4 – Évolution des activités des principaux radionucléides artificiels mesurés dans l'air en France et en Allemagne au cours des 60 dernières années (tirée de [1])......	19
Figure 5 - Localisation des établissements détenant des radionucléides sur le bassin versant de la zone d'étude du CNPE de Nogent-sur-Seine.	21
Figure 6 - Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine.	25
Figure 7 - Localisation des stations proches du site de Nogent-sur-Seine dans les milieux terrestre* et aquatique** pour le suivi radioécologique 2018.	28
Figure 8 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les compartiments de l'écosystème terrestre de la région de Nogent-sur-Seine.	32
Figure 9 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les sédiments de l'écosystème aquatique de la région de Nogent-sur-Seine.	40
Figure 10- Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les poissons de l'écosystème aquatique de la région de Nogent-sur-Seine.	41
Figure 11- Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les phanérogames de l'écosystème aquatique de la région de Nogent-sur-Seine.	42
Figure 12- Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les mousses de l'écosystème aquatique de la région de Nogent-sur-Seine.	43
Figure 13- Démarche utilisée pour la réalisation du suivi radioécologique annuel de chaque site.	72
Figure 14 - Chronique d'une incinération : montée en température et paliers en fonction du temps....	78
Figure 15 – Teneur en ^{40}K et en radionucléides des familles du ^{232}Th et du ^{238}U dans les sols métropolitains (1er et 3ème quartiles, 1er et 9ème déciles, minimum et maximum).	85
Figure 16 – Teneur en ^{238}U dans les sédiments métropolitains.	86

Tableaux

Tableau 1 - Identification des échantillons prélevés et analysés dans le domaine terrestre lors du suivi radioécologique 2018 de l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine.	29
Tableau 2 - Identification des échantillons prélevés et analysés dans le domaine aquatique continental lors du suivi radioécologique 2018 de l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine.	35
Tableau 3 - Activités massiques en radionucléides émetteurs γ des échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du site de Nogent-sur-Seine lors des études radioécologiques de 2008 à 2018.	46
Tableau 4 - Activités massiques en radionucléides émetteurs γ des échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du site de Nogent-sur-Seine lors des études radioécologiques de 2008 à 2018.	47
Tableau 5 - Activités massiques en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de végétaux (légumes) collectés dans l'environnement terrestre du site de Nogent-sur-Seine lors des études radioécologiques de 2008 à 2018.	48
Tableau 6 - Activités massiques en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de végétaux (herbe) collectés dans l'environnement terrestre du site de Nogent-sur-Seine lors des études radioécologiques de 2008 à 2018.	49
Tableau 7 - Activités volumiques en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du site de Nogent-sur-Seine lors des études radioécologiques de 2008 à 2018.	50
Tableau 8 - Activités volumiques en tritium libre des échantillons d'eau collectés dans l'environnement terrestre du site de Nogent-sur-Seine lors des études radioécologiques de 2008 à 2018.	51
Tableau 9 - Teneur en matière organique et granulométrie de l'échantillon des sols collectés dans la région du CNPE de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique 2018.	52
Tableau 10 - Activités massiques et volumiques en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons collectés dans le domaine terrestre lors du suivi radioécologique 2018 de l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine ($Bq.kg^{-1}.sec$ pour les sols et les végétaux, $Bq.L^{-1}$ pour le lait).	53
Tableau 11 - Activités massiques et volumiques en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons collectés dans le domaine terrestre lors du suivi radioécologique 2018 de l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine ($Bq.kg^{-1}.sec$ pour les sols et les végétaux, $Bq.L^{-1}$ pour le lait).	54
Tableau 12 - Activités massiques et volumiques en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique annuel de 2018.	55
Tableau 13 - Activités massiques et volumiques en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique annuel de 2018.	56

Tableau 14 – Activités en ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l’environnement terrestre du site de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique annuel de 2018 et lors de la surveillance trimestrielle de 2017.....	57
Tableau 15 - Activités massiques en radionucléides émetteurs γ des échantillons de sédiments collectés dans l’environnement aquatique du site de Nogent-sur-Seine lors des études radioécologiques de 2008 à 2018.	58
Tableau 16 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de mousses collectés dans l’environnement aquatique du site de Nogent-sur-Seine lors des études radioécologiques de 2008 à 2018.	59
Tableau 17 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de végétaux (phanérogames immergées) collectés dans l’environnement aquatique du site de Nogent-sur-Seine lors des études radioécologiques de 2008 à 2018.	60
Tableau 18 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de poissons (muscle) collectés dans l’environnement aquatique du site de Nogent-sur-Seine lors des études radioécologiques de 2008 à 2018.	61
Tableau 19- Teneur en matière organique et granulométrie des échantillons de sédiments collectés dans la Seine en amont et en aval de l’émissaire des rejets du CNPE de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique 2018.	62
Tableau 20 - Activités massiques en radionucléides émetteurs γ d’origine naturelle des échantillons collectés dans le domaine aquatique en amont et en aval du site de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique 2018 ($\text{Bq.kg}^{-1}\text{sec}$ pour les sédiments et les végétaux, Bq.kg^{-1} frais pour les poissons).....	63
Tableau 21 - Activités massiques en radionucléides émetteurs γ d’origine artificielle des échantillons collectés dans le domaine aquatique en amont et en aval du site de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique 2018 ($\text{Bq.kg}^{-1}\text{sec}$ pour les sédiments et les végétaux, Bq.kg^{-1} frais pour les poissons).....	64
Tableau 22 - Activités massiques et volumiques en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l’environnement aquatique en amont et en aval du site de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique annuel de 2018.....	65
Tableau 23 - Activités massiques et volumiques en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l’environnement aquatique en amont et en aval du site de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique annuel de 2018.	65
Tableau 24 - Activités en ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l’environnement aquatique en amont et en aval du site de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique annuel de 2018.....	66
Tableau 25 - Activités en ^{63}Ni mesurées dans les échantillons prélevés dans l’environnement aquatique en amont et en aval du site de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique annuel de 2018. 67	67
Tableau 26 - Activités en ^{55}Fe mesurées dans les échantillons prélevés dans l’environnement aquatique en amont et en aval du site de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique annuel de 2018. 67	67

Résumé

L'objectif du suivi radioécologique du CNPE de Nogent-sur-Seine est de caractériser les niveaux de radioactivité dans l'environnement proche de ce site dans les principales matrices des compartiments terrestre et aquatique. Il s'agit d'identifier les sources, passées ou présentes, à l'origine des radionucléides observés dans l'environnement et d'analyser l'évolution temporelle de l'activité des radionucléides artificiels dans l'environnement du site et d'analyser l'évolution temporelle de leurs concentrations dans les matrices.

Dans l'environnement terrestre du CNPE de Nogent-sur-Seine, le ^{137}Cs est détecté dans toutes les matrices, à l'exception de l'échantillon de salade, à des niveaux comparables à ceux des années précédentes. Ce radionucléide artificiel est issu des retombées des essais nucléaires aériens et de l'accident de Tchernobyl, sans pouvoir distinguer un marquage éventuel par les rejets d'effluents atmosphériques en ^{137}Cs du CNPE de Nogent-sur-Seine. En 2018, les activités en ^{131}I dans les mousses terrestres sont inférieures aux seuils de décision. Les activités en tritium et en ^{14}C dans les matrices prélevées se situent dans la gamme des valeurs mesurées ces 10 dernières années et au niveau attendu en dehors d'une influence industrielle locale.

Dans le milieu aquatique, en 2018, les activités en ^{134}Cs et en ^{60}Co mesurées dans les sédiments prélevés à l'aval du site ainsi que les activités mesurées en ^{134}Cs , en ^{60}Co et en ^{58}Co dans les phanérogames prélevés à l'aval immédiat du site mettent en évidence le marquage par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Nogent-sur-Seine. L' ^{131}I est détecté dans les phanérogames immergées, prélevées à l'aval et n'est pas détecté dans celles prélevées à l'amont, avec toutefois un seuil de décision assez élevé, ce qui ne permet pas de conclure quant à un éventuel apport d' ^{131}I par les rejets des effluents liquides du CNPE de Nogent-sur-Seine. L'activité en ^3H libre mesurée dans les phanérogames immergées est plus élevée à l'aval du site en comparaison de l'activité mesurée en amont, comme en 2016. Par ailleurs, comme régulièrement lors des années précédentes, les activités en ^3H et en ^{14}C les plus élevées sont observées en 2018 à l'aval du site dans les poissons et dans les phanérogames. Ces résultats mettent en évidence un marquage de l'environnement aquatique par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Nogent-sur-Seine. Dans les mousses, les activités en ^{63}Ni sont plus élevées à l'aval du site, comparativement à l'amont. Pour ce radionucléide, on ne peut toutefois pas conclure que les activités mesurées sont dues au marquage par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Nogent-sur-Seine, car les niveaux de référence en ^{63}Ni , provenant des retombées atmosphériques des essais d'armes nucléaires, ne sont pas clairement établis à ce jour pour le territoire français.

0. OBJECTIFS

Électricité de France (EDF) a sollicité l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN) pour effectuer un bilan radioécologique annuel de l'environnement proche du Centre Nucléaire de Production d'Électricité (CNPE) de Nogent-sur-Seine.

L'objectif de cette étude est de caractériser, chaque année, les niveaux de radioactivité dans l'environnement proche du CNPE de Nogent-sur-Seine dans un grand nombre de matrices du compartiment terrestre et aquatique et pour un large spectre de radionucléides. Il s'agit d'identifier les différentes sources, passées ou présentes, à l'origine des radionucléides observés dans l'environnement, et d'analyser l'évolution des radionucléides au cours de la dernière décennie.

1. MÉTHODOLOGIE DU SUIVI RADIOÉCOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT PROCHE DES CENTRES NUCLÉAIRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ FRANÇAIS

La stratégie de prélèvement et d'analyse est commune à l'ensemble des sites. Des contraintes supplémentaires peuvent localement modifier la position, le nombre ou les analyses réalisées. Le choix des stations et de la nature des prélèvements permet la comparaison des résultats avec ceux des études antérieures. Les stations de prélèvements ont été définies en fonction du régime éolien local en milieu terrestre, et en fonction de l'hydrodynamisme local en milieu aquatique (Annexe 6.1).

Les matrices échantillonnées sont les plus abondantes localement et/ou caractéristiques de l'économie locale (Annexes 6.2 et 6.3). Elles correspondent également, pour la plupart, aux espèces prélevées lors de l'état de référence. Les matrices prélevées tiennent également compte de la réglementation applicable à chaque CNPE.

L'ensemble des analyses sont réalisées à fréquence annuelle, ainsi qu'à fréquence trimestrielle pour le ^{14}C mesuré dans les végétaux terrestres (Annexe 6.1), voire quinquennale pour quelques techniques plus pointues. Dans la plupart des matrices collectées, une analyse gamma, une analyse de tritium organiquement lié, voire de tritium libre, et une analyse de ^{14}C sont réalisées (Annexes 6.4, 6.5, 6.6 et 6.7). Dans certaines matrices, des analyses supplémentaires peuvent être réalisées (Annexe 6.2). L'analyse des émetteurs gamma d'origine naturelle permet de caractériser les échantillons prélevés, de vérifier la qualité des prélèvements et des analyses. Les méthodes de prélèvement, de préparation et d'analyses des échantillons mises en œuvre aux fins de la présente étude sont détaillées en annexes (Annexes 6.3, 6.4 et 6.5).

2. ORIGINE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'ENVIRONNEMENT DU CNPE DE NOGENT-SUR-SEINE

La présence de radionucléides artificiels dans l'environnement aquatique et terrestre du CNPE de Nogent-sur-Seine résulte des retombées atmosphériques globales liées aux essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère, des rentrées atmosphériques de satellites artificiels, des utilisations médicales de sources radioactives et des rejets d'effluents des installations nucléaires ainsi que des retombées atmosphériques des accidents de Tchernobyl et de Fukushima Daiichi.

2.1. Radionucléides d'origine naturelle

Le bruit de fond radiologique naturel a deux origines : les radionucléides telluriques présents dans l'écorce terrestre et le rayonnement cosmique qui produit de manière permanente des radionucléides dits cosmogéniques.

2.1.1. Origine tellurique

Les radionucléides d'origine tellurique sont principalement le ^{40}K et les produits des chaînes de désintégration de l' ^{238}U , de l' ^{235}U et du ^{232}Th . Présents dans l'écorce terrestre, ces radionucléides sont persistants dans les divers compartiments de l'environnement du fait de leur période radioactive de l'ordre, jusqu'à plusieurs milliards d'années. Leurs niveaux d'activité usuels sont indiqués dans le bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017 [1].

2.1.2. Origine cosmogénique et comportement du tritium et du ^{14}C

Le rayonnement cosmique en provenance du soleil et de l'espace interagit avec la haute atmosphère terrestre et engendre en permanence la production de radionucléides cosmogéniques, comme le tritium (^3H), le ^{14}C , ^7Be et le ^{22}Na . Leurs niveaux d'activité usuels sont indiqués dans le bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017 [1].

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

En tant qu'isotope de l'hydrogène, le ^3H (période radioactive : 12,312 ans [2]) est intimement lié au cycle de cet élément dans l'environnement. Il peut être présent dans toutes les molécules hydrogénées, être associé aussi bien à l'eau tissulaire qu'à la matière organique des végétaux et des animaux. Sous la forme d'eau tritiée (HTO), ce radionucléide est extrêmement mobile dans l'environnement et dans tous les systèmes biologiques et, de ce fait rapidement intégré dans de nombreux cycles de la géosphère et de la biosphère. En situation d'équilibre, il ne s'accumule pas dans tel ou tel composant environnemental ou biologique. Ainsi, les activités en tritium métabolisé dans la matière organique (tritium organiquement lié, TOL) sont généralement à l'équilibre avec les activités en HTO [3-5]. Avant l'ère nucléaire, les valeurs en ^3H atmosphérique étaient de l'ordre de 0,1 à 0,6 Bq.L $^{-1}$.

S'agissant du ^{14}C (période radioactive : 5 700 ans [2]), en milieu terrestre, les observations permettent de montrer que l'activité spécifique, exprimée en becquerels de ^{14}C par kilogramme de carbone total ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}\text{C}$), est en équilibre dans les composantes de l'environnement, notamment avec celle du CO_2 atmosphérique. Contrairement au milieu terrestre, le ^{14}C des écosystèmes d'eau douce n'est pas en équilibre avec le CO_2 atmosphérique du fait de sa dilution notamment par les carbonates des roches sédimentaires anciennes dépourvues de ^{14}C . L'activité spécifique hors influence industrielle locale peut donc être plus faible et variable en fonction de la teneur en carbonates anciens, entre 180 et 220 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}\text{C}$ [6].

2.2. Radionucléides d'origine artificielle

2.2.1. Retombées des essais aériens d'armes nucléaires

Entre 1945 et 1980, les États-Unis d'Amérique, l'Union Soviétique, la France, la Grande-Bretagne et la Chine ont procédé à plus de 500 essais aériens d'armes nucléaires, l'essentiel de la puissance ayant été libéré entre 1954 et 1958, puis en 1961 et 1962 [6]. Les particules radioactives libérées dans la troposphère et la stratosphère au cours de ces essais sont retombées sur l'ensemble du globe, mais en raison de la localisation des sites de tirs, l'hémisphère nord a reçu la majorité des retombées radioactives issues de ces essais. En France métropolitaine, les retombées de ces essais ont été globalement homogènes et constituent la principale source de radioactivité artificielle dans l'environnement.

En termes d'activité, les dépôts les plus importants concernent les radionucléides à vie courte. Ainsi, en France, les dépôts d' ^{131}I , de ^{95}Zr , de $^{144}\text{Ce}/\text{Pr}$ et de $^{106}\text{Ru}/\text{Rh}$ (périodes radioactives respectives de 8,0233, 64,032, 285,0 et 371,5 jours [2]), aujourd'hui disparus, ont été 10 fois plus importants que les dépôts de radionucléides à vie moyenne (^{90}Sr et ^{137}Cs , de 28,80 et 30,05 ans de périodes radioactives respectives [2]). Les dépôts de radionucléides à vie longue (^{241}Am ¹, ^{14}C , ^{240}Pu et ^{239}Pu , de 432,6, 5 700, 6 561 et 24 100 ans de périodes respectives [2]) ont été comparativement très faibles [6]. Le ^{137}Cs , le ^{90}Sr , le ^{238}Pu , le ^{239}Pu et le ^{241}Am sont encore détectés aujourd'hui dans de nombreux compartiments. Leurs faibles décroissances radioactives et, pour certains, leurs faibles mobilités dans les sols entretiennent un marquage ne diminuant que lentement depuis le milieu des années 1960 [6]. Dans une moindre mesure, la désintégration de onze satellites artificiels lors de leur entrée dans l'atmosphère, entre 1964 et 1996, a provoqué la dispersion dans l'atmosphère terrestre de ^{238}Pu , d' ^{235}U et de leurs produits de fission, puis leurs retombées sur l'ensemble de la planète. Pour ces radionucléides, l'activité rémanente des retombées anciennes constitue, dans le cadre de la présente étude, un bruit de fond radiologique dont les valeurs sont présentées dans le bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017 [1] et plus brièvement ci-dessous. En 2018, sur la majeure partie de la France, les activités rémanentes en ^{137}Cs des retombées des essais aériens étaient comprises entre 1 400 et 2 000 $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$ [7], compte tenu de la seule décroissance radioactive du ^{137}Cs . Elles ont été augmentées par les retombées de l'accident de Tchernobyl (voir paragraphe suivant). En comparaison, celles de l'accident de Fukushima-Daïichi sont beaucoup plus faibles (voir paragraphe 2.2.3).

Avant l'ère nucléaire, les valeurs en ^3H atmosphérique étaient de l'ordre de 0,1 à 0,6 $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$. Le ^3H a été massivement émis lors des essais aériens d'armes nucléaires. De plus de 500 $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ dans les eaux de pluie analysées à Thonon-les-Bains ou à Vienne dans les années 1960, l'activité volumique a décliné à moins de 10

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

Bq.L⁻¹ dès la fin des années 1970. Depuis la fin des années 1990, elle est inférieure à 2 Bq.L⁻¹ [8-11] (Figure 1 page 16).

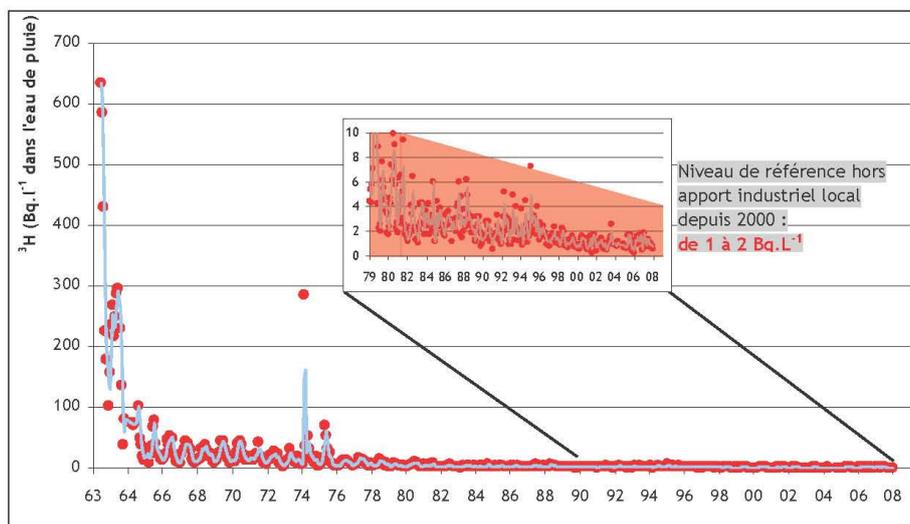


Figure 1 - Activités de ³H dans l'eau de pluie à Thonon-les-Bains, d'après IAEA/WMO 2006.

Les valeurs acquises pour les eaux des cours d'eau français en dehors des zones d'influence des rejets industriels (tête de bassin versant ou hydro-systèmes non nucléarisés) sur la même période ne présentent pas de différence significative par rapport aux niveaux observés dans les eaux de pluie ($1,4 \pm 0,4$ Bq.L⁻¹) [12]. Le tritium produit lors des essais aériens est quantifiable aujourd'hui sous les deux formes, HTO et TOL. En milieu aquatique continental, hors influence industrielle locale, la forme libre (HTO) est à l'équilibre avec les niveaux atmosphériques actuels. Le bruit de fond radiologique du tritium libre et du tritium organiquement lié en milieu terrestre hors influence d'un rejet est de $1,4 \pm 1,2$ Bq.L⁻¹ en France métropolitaine (mesures de 2007 à 2012 [13]) pour les matrices annuelles, proche des activités en tritium libre de la vapeur d'eau atmosphérique.

Les essais aériens d'armes nucléaires ont également conduit à l'époque à doubler les quantités de ¹⁴C présent dans l'atmosphère. L'activité spécifique atmosphérique en ¹⁴C a atteint plus de 400 Bq.kg⁻¹ C avant de décroître suite à l'arrêt des essais atmosphériques ainsi qu'à l'augmentation des proportions de CO₂ dans l'atmosphère liée à l'utilisation grandissante de combustibles fossiles, dépourvus de ¹⁴C [14]. En 1999, l'activité spécifique dans le milieu terrestre s'élevait à 255 ± 7 Bq.kg⁻¹ C [15]. En 2018, elle est proche de 230 Bq.kg⁻¹ C et se rapproche de l'activité spécifique atmosphérique antérieure aux premiers essais aériens ($226,0 \pm 1,1$ Bq.kg⁻¹ C) [1] (Figure 2 page 17).

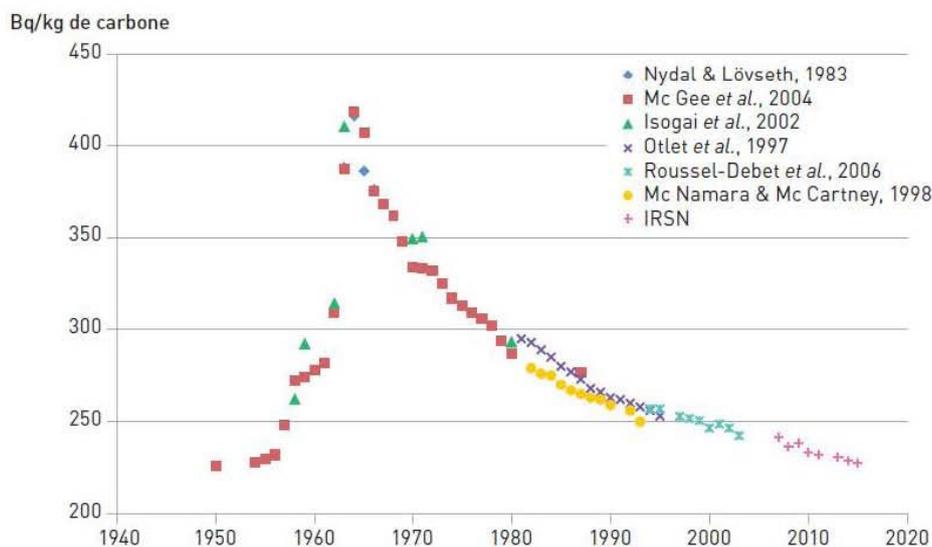


Figure 2 -Évolution de l'activité spécifique du ¹⁴C dans l'hémisphère nord depuis 1950 (tirée de [1]).

Le ¹⁴C des écosystèmes d'eau douce n'est pas en équilibre avec le CO₂ atmosphérique du fait de sa dilution notamment par les carbonates des roches sédimentaires anciennes dépourvues de ¹⁴C. L'activité spécifique hors influence industrielle locale peut donc être plus faible et variable en fonction de la teneur en carbonates anciens, entre 180 et 220 Bq.kg⁻¹ C [16].

De nos jours, les apports industriels en ³H et ¹⁴C, notamment ceux liés aux CNPE, peuvent être identifiés, dans le milieu terrestre, par des activités mesurées un peu plus élevées dans des feuilles d'arbre et de lierre à proximité du CNPE ou dans l'herbe prélevée à la station AS1 et, dans le milieu aquatique, par des activités mesurées plus élevées dans les végétaux aquatiques et les poissons prélevés à l'aval du CNPE, comparativement à l'amont.

2.2.2. Retombées de l'accident de Tchernobyl

Le 26 avril 1986, le réacteur n°4 de la centrale de Tchernobyl (Ukraine), en service depuis 3 ans, explose accidentellement lors de la réalisation d'un essai technique. L'énergie libérée par l'explosion entraîne l'émission dans l'atmosphère de produits de fission et d'activation jusqu'à plus de 1 200 mètres de hauteur. Pendant dix jours, près de 10⁷ TBq sont libérés dans l'environnement, la majorité des radionucléides émis ayant une période radioactive inférieure à un mois. Jusqu'à la mi-mai 1986, la dispersion du panache radioactif dissémine divers radionucléides sur la plupart des pays d'Europe. La dispersion du panache radioactif s'accompagne d'une dilution de l'activité volumique des radionucléides artificiels au sein de celui-ci. Ainsi,

l'activité mesurée au sein du panache au voisinage du réacteur accidenté, de l'ordre de 10^7 Bq/m³, n'était plus que de quelques dizaines de Bq/m³ lorsque le panache a atteint la France métropolitaine durant la première semaine de mai 1986. Les événements pluvieux concomitants ont favorisé le dépôt des particules. Dix-neuf radionucléides ont été détectés dans les retombées de l'accident de Tchernobyl et sept ont principalement été mis en évidence sur le territoire français (¹⁰³Ru, ¹⁰⁶Ru-Rh, ^{110m}Ag, ¹³¹I, ¹³²Te, ¹³⁴Cs et ¹³⁷Cs). Les retombées atmosphériques de l'accident de Tchernobyl ont affecté l'ensemble du territoire mais, plus particulièrement, la moitié est de la France. La carte de la figure 3 page 18 présente la répartition estimée des activités surfaciques en ¹³⁷Cs sur le bassin versant de la Seine, issues de la rémanence des retombées des essais aériens d'armes nucléaires, ainsi que celles consécutives à l'accident de Tchernobyl. De nos jours, seul le ¹³⁷Cs est encore mesurable [17].

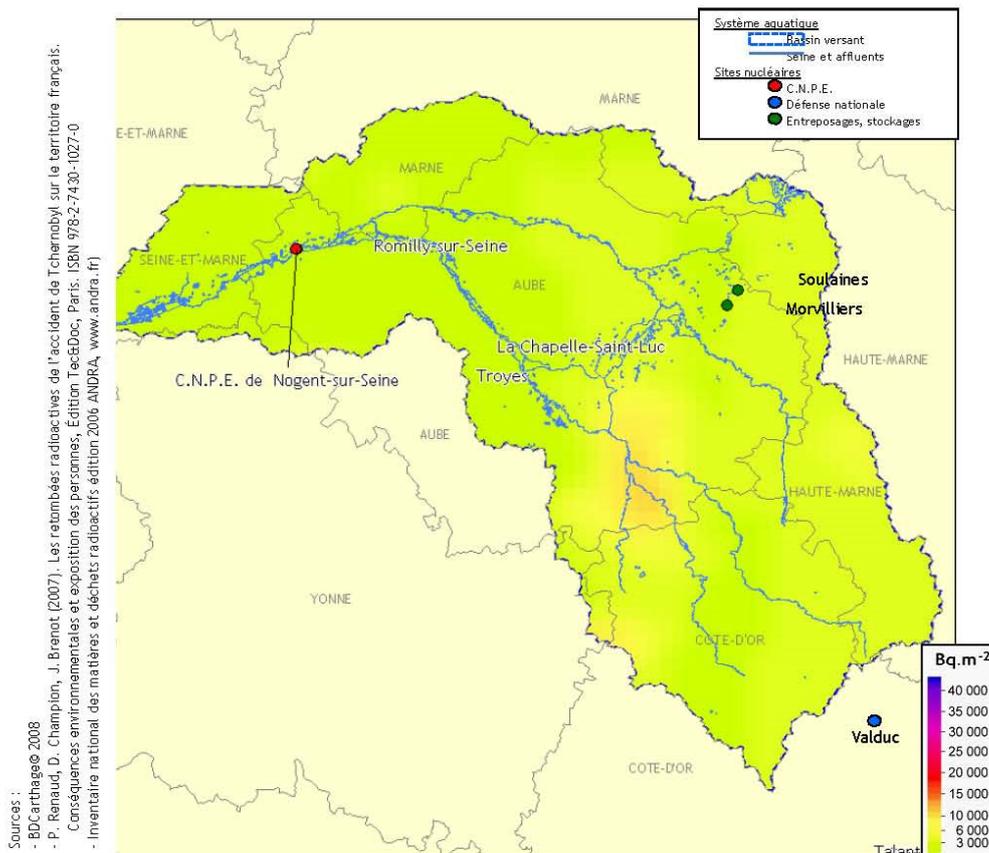


Figure 3 - Activités surfaciques de ¹³⁷Cs, estimées en 2010, sur le bassin versant de la zone d'étude, issues des retombées atmosphériques des essais aériens et de l'accident de Tchernobyl [18].

2.2.3. Retombées de l'accident de Fukushima-Daiichi

Les dépôts issus des retombées atmosphériques de l'accident de Fukushima Daiichi survenus le 11 mars 2011 ont été de 500 à plus de 1 000 fois inférieurs à ceux mesurés début mai 1986 en France après l'accident de Tchernobyl (Figure 4 page 19). Les résultats d'analyse réalisés sur le territoire métropolitain par l'IRSN et par les exploitants nucléaires ont montré la présence de ^{131}I , de ^{137}Cs et de ^{134}Cs [19]. L' ^{131}I , du fait de sa courte période radioactive (8,0233 jours), a rapidement disparu de l'environnement. Le ^{134}Cs , dont le dépôt massif issu des retombées de l'accident de Tchernobyl n'était plus détecté compte tenu de sa courte période radioactive (2,0644 ans [2]), a pu être attribué à cet accident. En revanche, les résultats de ^{137}Cs sont difficilement imputables à ce seul événement compte-tenu de la rémanence de ce radionucléide dans le bassin versant rhodanien.

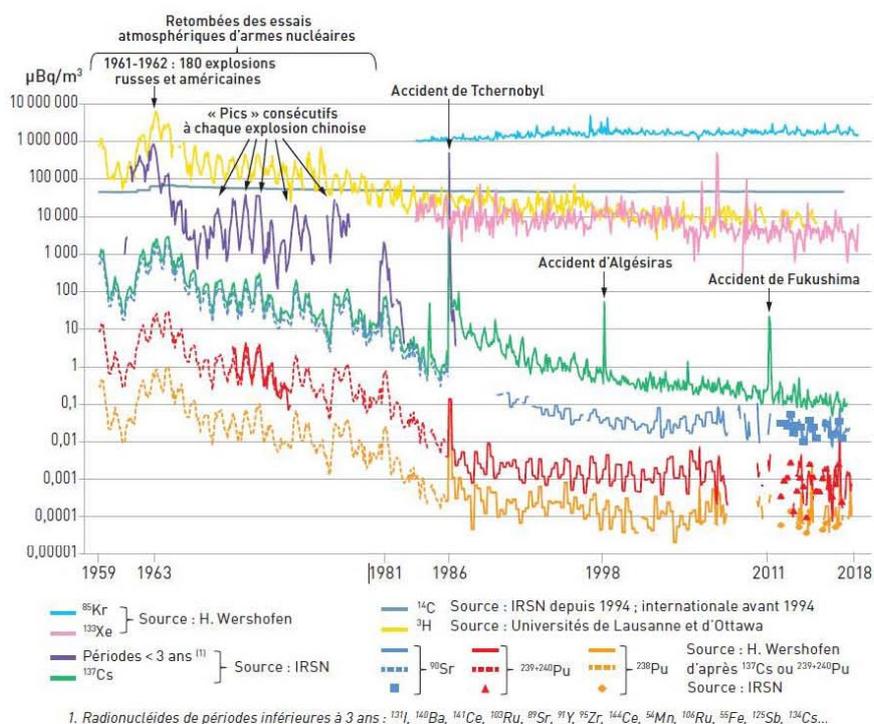


Figure 4 - Évolution des activités des principaux radionucléides artificiels mesurés dans l'air en France et en Allemagne au cours des 60 dernières années (tirée de [1]).

2.2.4. Installations nucléaires exploitées par EDF

L'exploitation d'un réacteur nucléaire implique la génération d'isotopes radioactifs issus de la fission des noyaux du combustible (produits de fission) et de l'activation des différents matériaux, notamment ceux de la structure (produits d'activation) et de certains composés issus du conditionnement circuits (produits d'activation). Dans le cadre des décisions de rejets émises par l'ASN, les CNPE sont autorisés à rejeter, en fonctionnement normal, une partie de ces produits de fission et d'activation dans l'environnement par voie liquide et/ou atmosphérique. Ces rejets sont ainsi susceptibles de marquer l'environnement autour des installations nucléaires.

Les rejets d'effluents radioactifs atmosphériques des CNPE comprennent notamment le tritium, le ^{14}C , l' ^{41}Ar , les xénon métastables 131, 133 et 135, le ^{85}Kr , les ^{131}I et ^{133}I , les ^{58}Co et ^{60}Co et les césiums 134 et 137. Au sein des rejets d'effluents radioactifs liquides, le tritium, le ^{14}C , les cobalts 58 et 60, le ^{63}Ni , les antimoine 142 et 125, les césiums 134 et 137, le ^{54}Mn , l'argent 110 métastable, le $^{123\text{m}}\text{Te}$, et l' ^{131}I sont prépondérants. Le ^{55}Fe et le l'argent 108 métastable sont rejetés dans une moindre mesure.

Les conditions d'exécution et les limites des rejets d'effluents, dans les cours d'eau et dans l'atmosphère, sont définies par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). L'exploitant n'a pas porté à la connaissance de l'IRSN d'événements intéressants l'environnement pour l'année 2018 ayant pu avoir une conséquence mesurable sur les niveaux d'activité des échantillons analysés dans le cadre du suivi.

2.2.5. Autres activités

La Champagne crayeuse est une zone dépourvue de mares et de zones humides à cause de la perméabilité des sols. Autrefois région pauvre et dépeuplée, son économie reposait sur l'activité pastorale. Elle est devenue l'une des grandes régions agricoles de la France grâce à l'utilisation des engrais, en produisant des céréales et de la betterave et en possédant des industries agroalimentaires.

Deux sites de stockage de déchets radioactifs et un CNPE sont localisés sur le bassin versant étudié. Même s'il n'est pas sur le bassin hydrographique de la Seine, le site du CEA Valduc peut contribuer au marquage de l'environnement étudié par les communications hydrogéologiques ou atmosphériques (Figure 5 page 21). Aucun établissement médical n'est déclaré sur le bassin versant étudié. Cependant, des patients résidant sur le bassin versant peuvent venir de centres de soins des agglomérations avoisinantes : Chaumont (52), Dijon (21), Auxerre (89), Lagny-sur-Marne (77), Meaux (77), Melun (77) ou Pontault-Combault (77).

Parmi les principaux radionucléides utilisés en médecine nucléaire, le $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (en diagnostic fonctionnel, période radioactive de 6,01 heures) et l' ^{131}I (en thérapie métabolique, période radioactive de 8,0233 jours [2]) représentent à eux seuls près de 99% de la radioactivité utilisée par les services de médecine nucléaire [20]. L' ^{131}I ainsi introduit dans l'environnement via les urines et les selles des patients traités peut être détecté dans les stations d'épuration et en aval des celles-ci. Difficile à détecter dans l'eau, l' ^{131}I peut être mesuré dans les végétaux aquatiques.

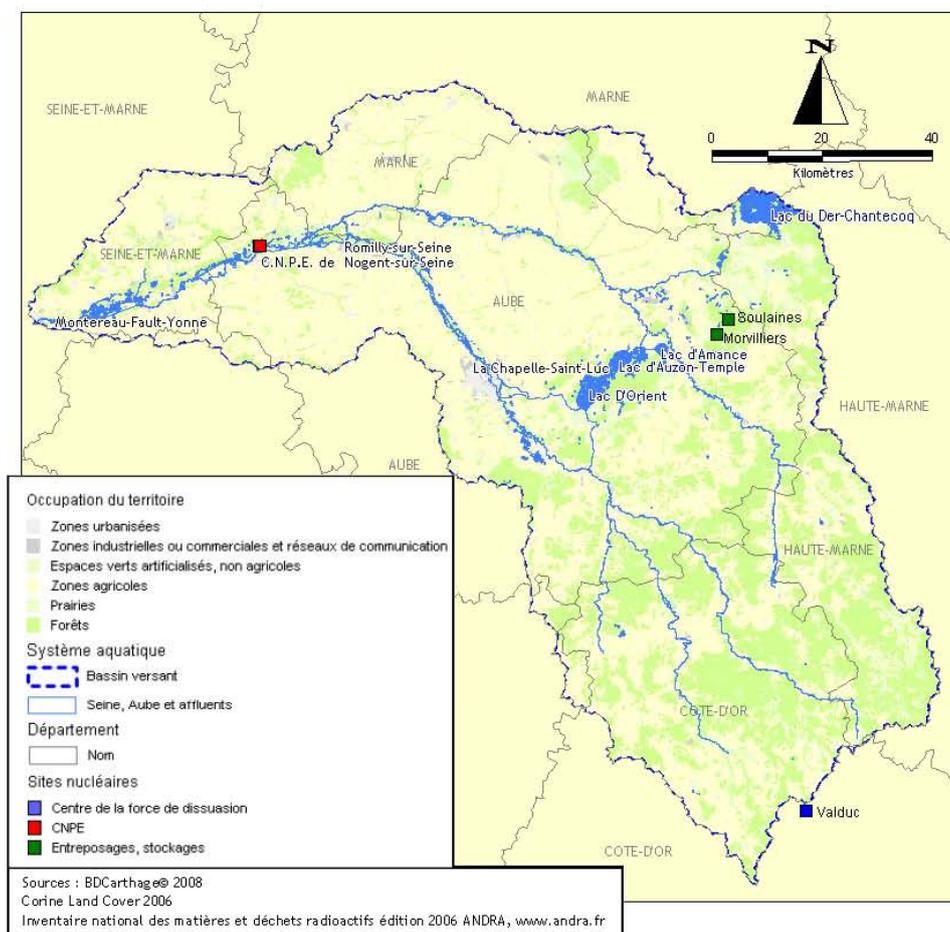


Figure 5 - Localisation des établissements détenant des radionucléides sur le bassin versant de la zone d'étude du CNPE de Nogent-sur-Seine.

3. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET GÉOGRAPHIQUE

La Champagne est l'une des régions les plus déboisées de France et d'Europe (30 % de bois). Les zones cultivées sont majoritaires (61 %), les prairies et les zones urbanisées sont minoritaires (5 et 3 %).

Le CNPE de Nogent-sur-Seine est situé aux bords de la Champagne, dans la petite région agricole de la Vallée du Nogentais. Comme toute vallée alluviale, la vallée de la Seine a toujours favorisé l'agriculture. Les terres limoneuses et suffisamment alimentées en éléments nutritifs (azote, soufre, etc.) permettent de produire toutes les cultures possibles. Dans le Nogentais, l'agriculture est représentée par de grandes exploitations comparables à celles de la Brie proche. Le blé, l'orge de printemps et le colza occupent la majorité des surfaces agricoles. La Seine étant navigable à compter de Nogent-sur-Seine et jusqu'à Paris, Nogent-sur-Seine est devenu également un important port céréalier. Les terres agricoles permettent de produire du blé destiné à la meunerie et de l'orge à la brasserie. Le département de l'Aube est aussi le premier producteur de chanvre français. On y retrouve également des productions de betterave sucrière, de lin oléagineux, de maïs, de luzerne et de vigne. L'élevage, allaitant pour la majorité, y est peu représenté. Cette agriculture riche a permis à de nombreuses activités de se développer, comme le maraîchage (tomates, oignons, pommes de terre, etc.), le conditionnement de pommes de terre, la recherche de semences, jusqu'aux agro-ressources et à la logistique dédiée au maraîchage.

3.1. Climatologie

Le climat, à tendance encore océanique à l'Ouest, devient plus continental, avec de forts contrastes saisonniers vers l'Est. Le nombre moyen annuel de jours de gelées est d'environ 70 et la date de la dernière gelée de printemps se situe entre le 15 avril et le 1^{er} mai. La température maximale dépasse 25°C près de 50 jours par an en moyenne. Les précipitations moyennes annuelles augmentent avec l'altitude, de moins de 700 mm à près de 900 mm, à l'aplomb du seuil de Bourgogne.

3.2. Géologie et hydrogéologie

La Seine prend sa source sur le « seuil de Bourgogne » puis traverse la Champagne crayeuse dite « pouilleuse ».

Les plateaux calcaires fortement fracturés du seuil de Bourgogne appartiennent surtout au Jurassique moyen, avec une structure en horst, dont l'axe correspond à la ligne de partage des eaux entre la Seine et le Rhône. La Champagne crayeuse ou « pouilleuse » est un ensemble géographique dont le substrat est essentiellement constitué de craie.

La région proche du site de Nogent-sur-Seine peut se diviser en deux zones séparées par la vallée de la Seine :

- la partie du sud et sud-est est le domaine de la craie crétacée avec des collines sèches dépendant de la Champagne crayeuse ;
- dans la zone nord et nord-ouest, un large plateau tertiaire, recouvert partiellement de limons, a des assises constituées par des collines crayeuses du Crétacé. La falaise ainsi créée surplombe d'une centaine de mètres la vallée de la Seine.

Les réservoirs aquifères de Bourgogne sont, d'une part les alluvions, notamment ceux des grands cours d'eau, d'autre part les couches calcaires de succession stratigraphique du plateau du Châtillonnais.

Les principaux aquifères correspondent aux ensembles calcaires qui possèdent tous une perméabilité de fissures et de fractures.

La nappe de la craie en Champagne constitue un important réservoir d'eau dont seuls quelques pour cent sont mobilisables. Le respect des débits réservés au cours d'eau, trop plein de la nappe, limite de façon importante l'exploitation des volumes disponibles. Seules les parties de réservoir en liaison avec de grands cours d'eau comme l'Aube et la Seine permettent une exploitation importante de la nappe.

3.3. Hydrographie et hydrologie

Le CNPE de Nogent-sur-Seine est situé sur la première partie de la Seine, appelée la Petite Seine. Elle est navigable en amont de Paris jusqu'à Nogent-sur-Seine. La source de la Seine se situe à 446 mètres d'altitude. Son cours a une orientation générale du sud-est au nord-ouest. Elle se jette dans la Manche. Son bassin versant a une superficie de 21 178 km² à son passage à Montereau-Fault-Yonne (Seine-et-Marne). La Seine a un régime relativement régulier, lié au climat océanique de son bassin hydrographique. Elle est néanmoins sujette à des crues importantes qui ont nécessité d'importants travaux de régulation dans la partie supérieure de son cours et de ses affluents. Quatre lacs-réservoirs ont été créés sur la Seine (lac d'Orient), la Marne (lac du Der-Chantecoq) et l'Aube (lac d'Anance et lac d'Auzon-Temple). Ces lacs, qui constituent une réserve de 800 millions de m³, permettent à la fois d'écrêter les crues et d'assurer un débit minimum d'étiage.

4. ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE NOGENT-SUR-SEINE

4.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures

Le CNPE de Nogent-sur-Seine est situé en rive droite de la Seine, à 4 km en amont de la ville du même nom, à 32 km de Montereau et à 60 km de Melun. Aucun autre CNPE n'est implanté en amont sur la Seine. Le CNPE de Nogent-sur-Seine se compose de deux tranches de la filière des Réacteurs à Eau Pressurisée (R.E.P.) de 1300 MWe, respectivement couplées au réseau en octobre 1987 et décembre 1988.

Les conditions d'exécution et les limites des rejets d'effluents, dans le cours d'eau et dans l'atmosphère, sont définies par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). L'exploitant n'a pas porté à la connaissance de l'IRSN d'événements intéressant l'environnement pour l'année 2018, 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 hydrologiques locales. Les vents dominants sont ici de direction ouest-sud-ouest et est-nord-est. Les vents de nord et sud sont très peu fréquents. La zone de bon mélange des rejets d'effluents liquides se situe à une vingtaine de kilomètres entre la Motte-Tilly et Villiers. En amont de cette zone, dans la mesure du possible, les prélèvements doivent être réalisés sur la rive droite de la Seine, la plus susceptible de fournir des échantillons soumis à l'influence des rejets du CNPE [21].

La chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE est exposée sur la figure 6 page 25.

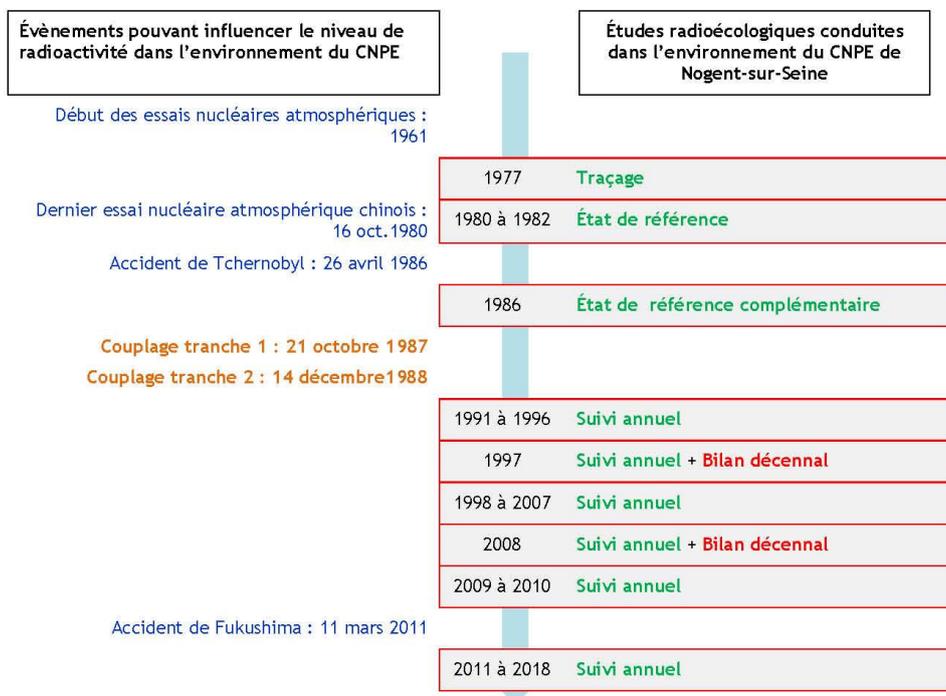


Figure 6 - Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine.

4.2. État radiologique de l'environnement terrestre

4.2.1. Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvement et la nature des échantillons collectés sont reportées sur la figure 7 page 28. Les caractéristiques (dates de prélèvement, stations, natures, espèces, fractions, types de mesure, rapports de poids...) identifiant chaque échantillon analysé sont répertoriées dans la Figure 7 page 29. La granulométrie et la teneur en matière organique des sols sont présentées dans le Tableau 9 page 52.

Pour l'essentiel, la stratégie de prélèvement et d'analyse est commune à l'ensemble des sites (Annexes). Le choix des stations et de la nature des prélèvements permet la comparaison des résultats avec ceux des études antérieures. Les sols échantillonnés sont des sols non cultivés sur lesquels les cultures, pluriannuelles, ne demandent aucun remaniement (pâturages). Ce type de sol est privilégié dans l'objectif de mesurer l'accumulation potentielle des dépôts atmosphériques sur plusieurs années. Les échantillons sont, en dehors des indicateurs végétaux (mousses terricoles, herbe et lierre), des vecteurs directs ou indirects de radioactivité vers l'homme : le lait et des légumes-feuilles comme les salades. Les végétaux cultivés (salade et herbe) sont communs sur l'ensemble du territoire français. Leur cycle végétatif annuel et leur grande surface d'interception en font d'assez bons indicateurs de marquage. De l'eau de boisson et du lait de vache sont collectés, dans la mesure du possible, sur une commune à proximité du site. Dans la stratégie générale, une mousse terricole, une production agricole, un sol de prairie, de l'herbe, un lait et une eau de boisson sont prélevés sous les vents dominants (ZI). Hors vents (ZNI), une mousse, un sol de prairie, de l'herbe et une production agricole sont collectées.

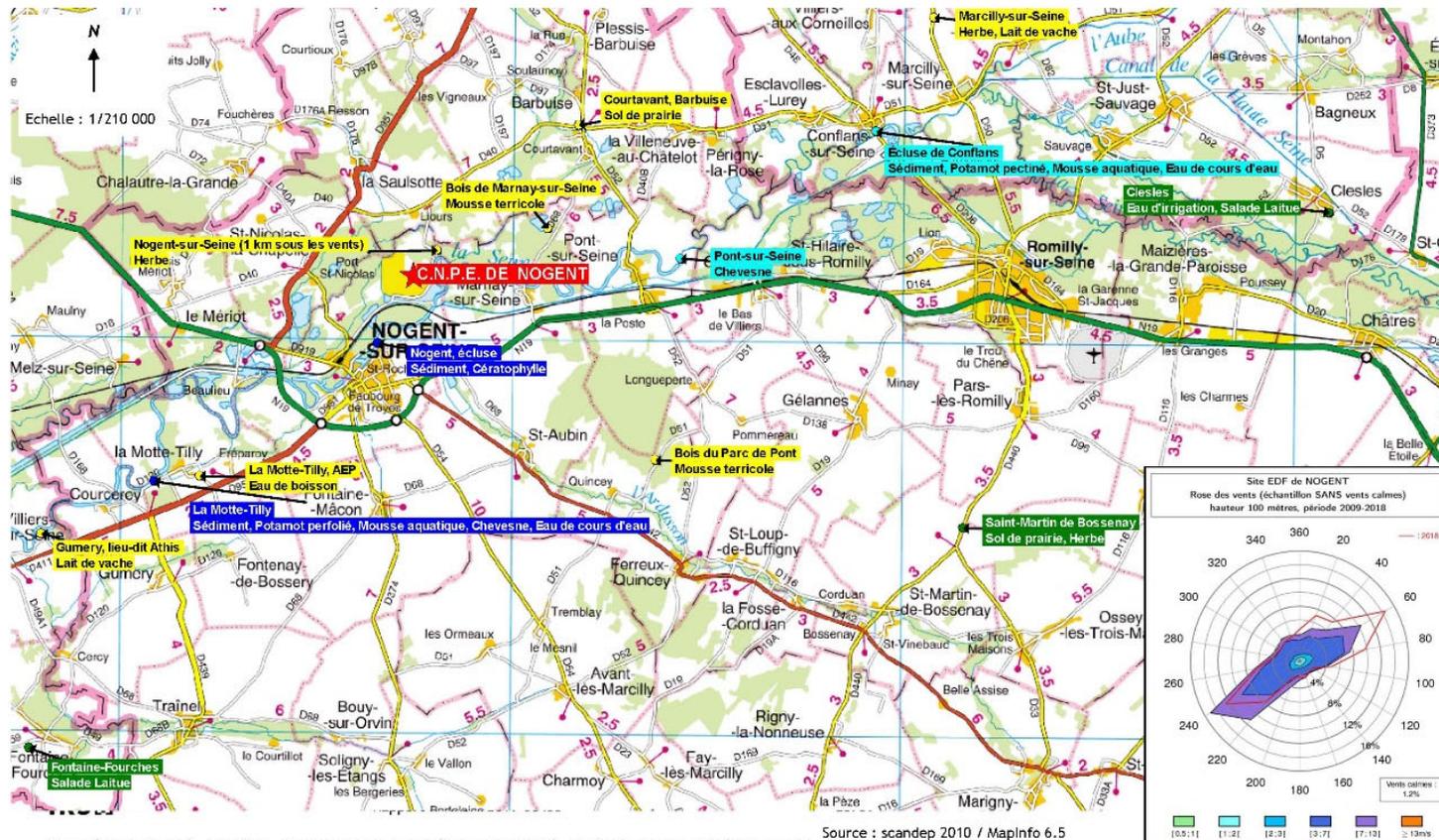
Des contraintes supplémentaires peuvent localement modifier la position, le nombre ou les analyses réalisées.

Un effort particulier a été fait pour s'affranchir de la variabilité inter-spécifique des mousses terricoles. La prospection a permis de récolter deux échantillons de la même espèce (*Rhytidiadelphus triquetrus*). L'eau prélevée provient d'un réseau d'eau potable qui alimente l'agglomération de La Motte-Tilly. Le captage, situé sur la commune, à une profondeur de 18 mètres, est alimenté par l'eau de la Seine (nappe alluviale) en aval du CNPE et est ainsi potentiellement influencé par les rejets du site. Le prélèvement d'eau d'irrigation n'a pas pu être réalisé en aval du CNPE de Nogent-sur-Seine, mais en amont sur le lieu de prélèvement des salades irriguées avec cette eau. En effet, en 2018, le maraîcher de Romilly-sur-Seine a été inondé et il n'a pas pu être trouvé de salades à proximité. Les prélèvements ont été reportés sur Clesles. Cet écart au plan de prélèvement devrait être corrigé l'année prochaine.

La zone sous les vents dominants est située dans la vallée de la Seine et à proximité de Nogent-sur-Seine. La zone hors vents dominants est localisée au sud de la vallée de la Seine et à distance du site.

Depuis cette année et à la demande d'EDF, l'herbe prélevée à proximité du site est archivée, mais ne fait l'objet d'aucune mesure. Les échantillons font l'objet d'une mesure par spectrométrie gamma, à l'exception du lait de vache prélevé à Gumery et des eaux de boisson et d'irrigation. Une recherche de l'¹³¹I a été effectuée sur la mousse prélevée au bois de Marnay-sur-Seine, la plus proche station identifiée. Des mesures de ¹⁴C ont été réalisées sur les salades, l'herbe de prairie prélevée à la ferme de Marcilly, ainsi que sur les deux

prélèvements de lait. Des mesures de tritium organiquement lié ont été réalisées sur la salade et l'herbe de la zone potentiellement influencée. Des mesures de tritium libre ont été réalisées sur la salade et l'herbe de la zone potentiellement influencée, les laits, ainsi que sur les eaux de boisson et d'irrigation.



Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par de autorisation écrite préalable.

Tableau 1 - Identification des échantillons prélevés et analysés dans le domaine terrestre lors du suivi radioécologique 2018 de l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine.

Situation par rapport au CNPE	Station	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
3,5 km ENE	Bois de Marnay-sur-Seine	03,56625	48,52755	Mousses terricoles	Mousse <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	Entier	25/04/2018	Spectrométrie gamma (frats) + I-131	1,38	-
5 km ENE	Courtavant, Barbuise	03,57725	48,55120	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	≤ 2 mm	25/04/2018	Spectrométrie gamma (sec)	1,16	-
5 km ENE	Courtavant, Barbuise	03,57725	48,55120	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	≤ 2 mm	25/04/2018	Granulométrie - MO (sec)	1,16	-
14,6 km ENE	Marcilly-sur-Seine	03,69982	48,56519	Prairies	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	25/07/2018	Spectrométrie gamma (cendres)	1,81	8,12
14,6 km ENE	Marcilly-sur-Seine	03,69982	48,56519	Prairies	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	25/07/2018	Tritium lié	1,97	-
14,6 km ENE	Marcilly-sur-Seine	03,69982	48,56519	Prairies	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	25/07/2018	Tritium libre	1,97	-
14,6 km ENE	Marcilly-sur-Seine	03,69982	48,56519	Prairies	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	25/07/2018	Carbone 14 (sec)	2,00	-
14,6 km ENE	Marcilly-sur-Seine	03,69982	48,56519	Prairies	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	25/07/2018	C-13 sur C-12	2,00	-
14,6 km ENE	Marcilly-sur-Seine	03,69982	48,56519	Prairies	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	25/07/2018	Hydrogène	1,97	-
14,6 km ENE	Marcilly-sur-Seine	03,70227	48,55928	Produits alimentaires liquides non transformés	Lait de vache	Entier	25/07/2018	Spectrométrie gamma (cendres)	8,63	15,82
14,6 km ENE	Marcilly-sur-Seine	03,70227	48,55928	Produits alimentaires liquides non transformés	Lait de vache	Entier	25/07/2018	Tritium lié	7,89	-
14,6 km ENE	Marcilly-sur-Seine	03,70227	48,55928	Produits alimentaires liquides non transformés	Lait de vache	Entier	25/07/2018	Tritium libre	7,90	-
14,6 km ENE	Marcilly-sur-Seine	03,70227	48,55928	Produits alimentaires liquides non transformés	Lait de vache	Entier	25/07/2018	Carbone 14 (sec)	7,90	-
14,6 km ENE	Marcilly-sur-Seine	03,70227	48,55928	Produits alimentaires	Lait de vache	Entier	25/07/2018	C-13 sur C-12	7,90	-

Situation par rapport au CNPE	Station	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
14,6 km ENE	Marcilly-sur-Seine	03,70227	48,55928	liquides non transformés Produits alimentaires liquides non transformés	Lait de vache	Entier	25/07/2018	Hydrogène	7,89	-
11 km SO	Gumery, lieu-dit Athis	03,39046	48,45851	Produits alimentaires liquides non transformés	Lait de vache	Entier	25/07/2018	Tritium libre	7,22	-
11 km SO	Gumery, lieu-dit Athis	03,39046	48,45851	Produits alimentaires liquides non transformés	Lait de vache	Entier	25/07/2018	Carbone 14 (sec)	7,22	-
11 km SO	Gumery, lieu-dit Athis	03,39046	48,45851	Produits alimentaires liquides non transformés	Lait de vache	Entier	25/07/2018	C-13 sur C-12	7,22	-
15 km SO	Fontaine-Fourches	03,38597	48,40976	Légumes	Salade Laitue <i>Lactuca sativa L.</i>	Parties aériennes	23/07/2018	Spectrométrie gamma (cendres)	31,63	3,37
15 km SO	Fontaine-Fourches	03,38597	48,40976	Légumes	Salade Laitue <i>Lactuca sativa L.</i>	Parties aériennes	23/07/2018	Carbone 14 (sec)	18,72	-
15 km SO	Fontaine-Fourches	03,38597	48,40976	Légumes	Salade Laitue <i>Lactuca sativa L.</i>	Parties aériennes	23/07/2018	C-13 sur C-12	18,72	-
23 km amont	Clesles	03,83700	48,52960	Eau douce	Eau d'irrigation	Filtrat à 0,20 µm	25/07/2018	Tritium libre	-	-
15,5 km aval	La Motte-Tilly, AEP	03,44555	48,47142	Eau douce	Eau de boisson	Filtrat à 0,20 µm	24/04/2018	Tritium libre	-	-

- : absence de traitement.

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

Prélèvements hors vents dominants de l'installation
Prélèvements sous les vents dominants de l'installation
Prélèvements en aval du dispositif de rejet des effluents liquides

4.2.2. Résultats et interprétation

4.2.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

Les résultats de spectrométrie γ sont reportés dans le Tableau 10 page 53 pour la radioactivité d'origine naturelle et le Tableau 11 page 54 pour la radioactivité d'origine artificielle. L'évolution de 2008 à 2018 des activités massiques en radionucléides émetteurs γ des sols, des mousses, des légumes, de l'herbe, du lait et de l'eau est présentée dans les Tableaux 3 à Tableau 7, page 46 et suivantes. L'évolution depuis l'état de référence des activités massiques des radionucléides émetteurs γ des sols, des mousses et des végétaux cultivés est représentée graphiquement sur la Figure 8 page 32.

4.2.2.1.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

De manière générale dans le milieu terrestre, la radioactivité d'origine naturelle est principalement due à la présence du ^{40}K et dans une moindre mesure aux éléments de la famille du ^{232}Th et de ^{238}U et les valeurs sont similaires à celles observées en France [1] et du même ordre de grandeur que celle observée depuis 10 ans lors des études précédentes. Dans les mousses, les activités du ^7Be sont plus élevées que celles du ^{40}K , du fait de l'origine cosmogénique du ^7Be . Dans le lait, le ^{40}K est le seul radionucléide émetteur gamma d'origine naturelle détecté significativement autour de 50 Bq.L^{-1} . Ces valeurs sont comparables aux mesures habituelles, quels que soient l'année ou le lieu de prélèvement, car la teneur en ^{40}K du lait est régulée physiologiquement chez l'animal. Enfin, ces résultats attestent de l'absence de biais dans les étapes de prélèvement, de préparation et de mesure de l'échantillon.

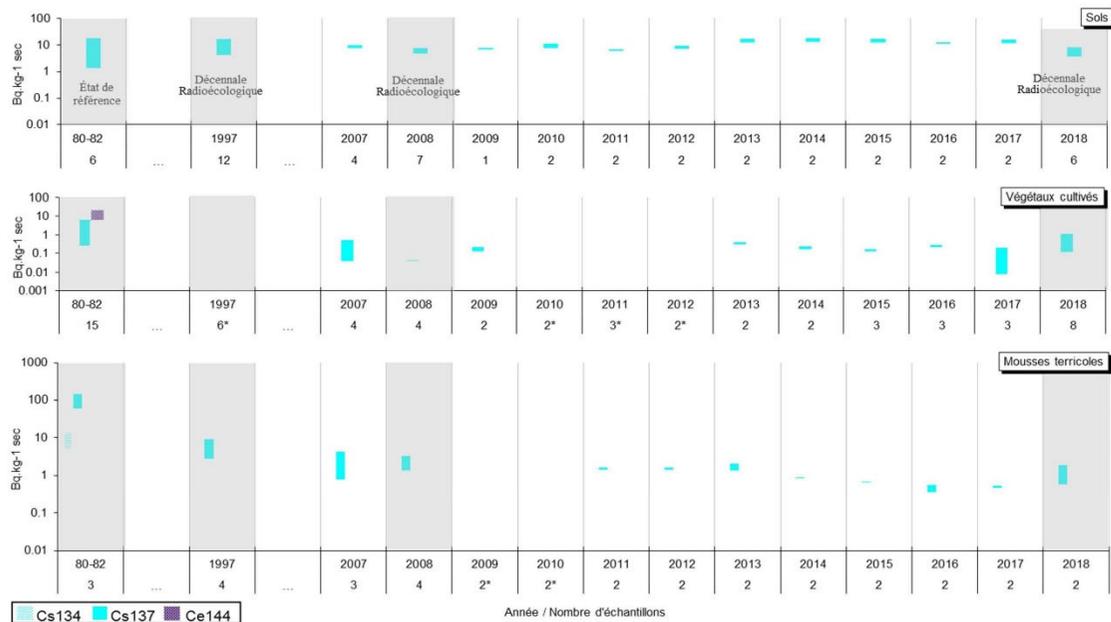
4.2.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Le ^{137}Cs est le seul radionucléide d'origine artificielle mesuré significativement dans l'environnement terrestre du site de Nogent-sur-Seine.

Les activités massiques en ^{137}Cs les plus élevées sont observées dans les sols. Le ^{137}Cs est également détecté dans les mousses terrestres et dans l'herbe prélevée à Marcilly-sur-Seine. Dans les prélèvements de salades, l'activité en ^{137}Cs est inférieure au seuil de décision. Le ^{137}Cs est détecté dans le lait prélevé à Marcilly-sur-Seine, à une valeur très faible et grâce au volume important de lait prélevé.

L'ensemble de ces résultats se situe dans la gamme des valeurs mesurées ces 10 dernières années, sans pouvoir distinguer un marquage éventuel par les rejets d'effluents atmosphériques en ^{137}Cs du CNPE de Nogent-sur-Seine.

L'activité massique en ^{131}I du prélèvement de mousse est inférieure au seuil de décision.



* : activités massiques des radionucléides artificiels inférieures au seuil de décision

Figure 8 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les compartiments de l'écosystème terrestre de la région de Nogent-sur-Seine.

4.2.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

4.2.2.2.1. Tritium

Les résultats de mesure du tritium libre et du tritium organiquement lié sont reportés dans le Tableau 12 page 55 et Tableau 13 page 56. L'évolution de 2008 à 2018 des activités massiques en tritium des végétaux (salade et herbe), du lait et de l'eau est présentée dans les Tableau 5 à Tableau 8, page 48 et suivantes.

Les activités en tritium libre dans l'herbe de prairie prélevée à Marcilly-sur-Seine et dans la salade prélevée à Clesles, sont faibles et correspondent au bruit de fond (1 à 3 Bq.L⁻¹ d'après [1]). Dans les laits, les activités en tritium libre sont inférieures aux seuils de décision. Les activités mesurées en tritium libre pour l'eau de boisson et l'eau d'irrigation, en aval et en amont du site, sont proches quoiqu'un peu plus élevée pour celle prélevée en aval. Ces activités en tritium libre de l'eau sont cohérentes avec celles mesurées précédemment et proches du niveau attendu en dehors de tout apport industriel local (1 à 3 Bq.L⁻¹ d'après [1]).

Les activités en tritium organiquement lié dans l'herbe de prairie, la salade et le lait sont faibles et proches du bruit de fond (1 à 3 Bq.L⁻¹ d'après [1]). Ces résultats se situent dans la gamme des valeurs mesurées ces 10 dernières années.

4.2.2.2.2. Carbone 14

Les résultats de mesure du ¹⁴C sont reportés dans le Tableau 14 page 57. L'évolution de 2008 à 2018 des activités massiques en ¹⁴C des végétaux (salade et herbe) et du lait est présentée dans les Tableau 5 à Tableau 7, page 48 et suivantes.

Les activités en ¹⁴C dans l'herbe de prairie et la salade, prélevées à Marcilly-sur-Seine et Fontaine-Fourches, ainsi que celles mesurées dans les herbes de prairies prélevées en 2017 à Marcilly-sur-Seine se situent dans la gamme des valeurs mesurées ces 10 dernières années et au niveau attendu en dehors d'une influence industrielle locale (230 Bq.kg⁻¹ de C d'après [1]). En 2016 et 2017, l'activité spécifique du ¹⁴C mesurée dans l'herbe collectée à proximité du CNPE (1 km) était plus élevée que le niveau attendu dans l'environnement. Cette année, le ¹⁴C n'étant plus mesuré dans ce prélèvement, il n'est plus possible de démontrer l'occurrence de la contribution au marquage par les rejets d'effluents atmosphériques du CNPE de Nogent-sur-Seine. Les activités de ¹⁴C mesurées dans les laits prélevés à Gumery et Marcilly-sur-Seine se situent dans la gamme des valeurs mesurées ces 10 dernières années et proches du niveau attendu en dehors d'une influence industrielle locale (230 Bq.kg⁻¹ de C d'après [1]).

4.3. État radiologique de l'environnement aquatique

4.3.1. Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvement et la nature des échantillons prélevés sont indiquées sur la Figure 7 page 28. Les caractéristiques (dates de prélèvement, stations, natures...) identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 2 page 35. Le choix des stations de prélèvement tient compte des études de traçage réalisées en 1977 et 1981. La teneur en matière organique et la granulométrie des sédiments sont présentées dans le Tableau 19 page 62. Elles sont suffisamment proches pour permettre la comparaison des résultats (activité en ^{137}Cs) entre les trois stations [22].

Selon les années, les contraintes du terrain (météorologie, hydrologie, etc.) imposent des modifications de localisation ou d'espèces pour les matrices prélevées. De même, les espèces de poissons pêchés peuvent varier d'une année à l'autre et d'un lieu à l'autre. En 2018, les poissons pêchés sont des chevesnes. Il a fallu recourir à la pêche électrique. Elle a été réalisée sur le premier kilomètre en amont de la zone de l'autorisation préfectorale à Pont-sur-Seine et sur le dernier kilomètre aval de cette zone d'autorisation à La Motte-Tilly. Les mesures réalisées sur les poissons ont porté sur les filets (muscles) afin d'étudier la fraction susceptible d'être consommée par l'homme et de s'affranchir du contenu du tractus gastro-intestinal. L'âge des 28 individus collectés (13 à l'amont et 15 à l'aval), d'une taille comprise entre 40 et 50 cm, est estimé à une dizaine d'années (d'après [23]). Le prélèvement de sédiment en aval proche, en amont de la zone de bon mélange, n'ayant pu être réalisé sur la rive préférentielle d'écoulement des rejets d'effluents liquides, il a été reporté sur la rive gauche.

Dans la stratégie du suivi 2018, des mousses et des poissons sont prélevés en amont et en aval du CNPE. Les mousses sont analysées en ^{63}Ni et ^{55}Fe . Les poissons font l'objet d'une mesure par spectrométrie γ , tritium lié et ^{14}C . Des phanérogames aquatiques et des sédiments sont prélevés à l'amont, l'aval et l'aval lointain. Ils sont mesurés en spectrométrie γ . Les phanérogames prélevées à l'amont et l'aval font l'objet d'une mesure en tritium libre, tritium lié, ^{14}C et ^{131}I .

Tableau 2 - Identification des échantillons prélevés et analysés dans le domaine aquatique continental lors du suivi radioécologique 2018 de l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine.

Situation par rapport au CNPE	Station	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Lieu de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
13 km amont	Écluse de Conflans	03,67948	48,54891	Rive droite	Eau douce	Eau de cours eau	Carbonates CITD - AIEA 1981	14/11/2018	Carbone 14 (sec)	4016,06	-
13 km amont	Écluse de Conflans	03,67948	48,54891	Rive droite	Eau douce	Eau de cours eau	Filtrat à 0,50 µm	14/11/2018	C-13 sur C-12	-	-
13 km amont	Écluse de Conflans	03,68034	48,54915	Rive droite	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	24/07/2018	Spectrométrie gamma (sec)	2,49	-
13 km amont	Écluse de Conflans	03,68034	48,54915	Rive droite	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	24/07/2018	Granulométrie - MO (sec)	2,49	-
13 km amont	Écluse de Conflans	03,68034	48,54915	Rive droite	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	24/07/2018	Tritium lié (sec)	2,49	-
13 km amont	Écluse de Conflans	03,68034	48,54915	Rive droite	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	24/07/2018	Hydrogène (sec)	2,49	-
13 km amont	Écluse de Conflans	03,68034	48,54915	Rive droite	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	24/07/2018	Carbone 14 (sec)	2,49	-
13 km amont	Écluse de Conflans	03,68034	48,54915	Rive droite	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	24/07/2018	C-13 sur C-12 (sec)	2,49	-
13 km amont	Écluse de Conflans	03,68034	48,54915	Rive droite	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	24/07/2018	Fer 55 (cendres)	2,49	1,10
13 km amont	Écluse de Conflans	03,68034	48,54915	Rive droite	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	24/07/2018	Nickel 63 (cendres)	2,49	1,10
13 km amont	Écluse de Conflans	03,68034	48,54915	Rive droite	Phanérogames immergées	Potamogeton pectiné <i>Potamogeton pectinatus</i>	Parties aériennes	24/07/2018	Spectrométrie gamma (frais) + I-131	5,05	-
13 km amont	Écluse de Conflans	03,68034	48,54915	Rive droite	Phanérogames immergées	Potamogeton pectiné <i>Potamogeton pectinatus</i>	Parties aériennes	24/07/2018	Spectrométrie gamma (cendres)	10,31	3,76
13 km amont	Écluse de Conflans	03,68034	48,54915	Rive droite	Phanérogames immergées	Potamogeton pectiné <i>Potamogeton pectinatus</i>	Parties aériennes	24/07/2018	Tritium lié	6,39	-

Situation par rapport au CNPE	Station	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Lieu de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
13 km amont	Écluse de Conflans	03,68034	48,54915	Rive droite	Phanérogames immergées	Potamot pectiné <i>Potamogeton pectinatus</i>	Parties aériennes	24/07/2018	Tritium libre	6,39	-
13 km amont	Écluse de Conflans	03,68034	48,54915	Rive droite	Phanérogames immergées	Potamot pectiné <i>Potamogeton pectinatus</i>	Parties aériennes	24/07/2018	Carbone 14	5,05	-
13 km amont	Écluse de Conflans	03,68034	48,54915	Rive droite	Phanérogames immergées	Potamot pectiné <i>Potamogeton pectinatus</i>	Parties aériennes	24/07/2018	C-13 sur C-12	5,05	-
13 km amont	Écluse de Conflans	03,68034	48,54915	Rive droite	Phanérogames immergées	Potamot pectiné <i>Potamogeton pectinatus</i>	Parties aériennes	24/07/2018	Hydrogène	6,39	-
13 km amont	Écluse de Conflans	03,68904	48,54830	Rive droite	Mousses aquatiques	Mousse <i>Fontinalis antipyretica Hedw.</i>	Parties aériennes	24/07/2018	Fer 55	4,31	1,71
13 km amont	Écluse de Conflans	03,68904	48,54830	Rive droite	Mousses aquatiques	Mousse <i>Fontinalis antipyretica Hedw.</i>	Parties aériennes	24/07/2018	Nickel 63	4,31	1,71
9,5 km amont	Pont-sur-Seine	03,61213	48,52045	Rives droite et gauche	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	24/07/2018	Spectrométrie gamma (cendres)	4,47	17,98
9,5 km amont	Pont-sur-Seine	03,61213	48,52045	Rives droite et gauche	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	24/07/2018	Tritium lié	4,60	-
9,5 km amont	Pont-sur-Seine	03,61213	48,52045	Rives droite et gauche	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	24/07/2018	Carbone 14	4,60	-
9,5 km amont	Pont-sur-Seine	03,61213	48,52045	Rives droite et gauche	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	24/07/2018	C-13 sur C-12	4,60	-
9,5 km amont	Pont-sur-Seine	03,61213	48,52045	Rives droite et gauche	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	24/07/2018	Hydrogène	4,60	-
3 km aval	Nogent, écluse	03,50724	48,50166	Rive gauche	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	24/07/2018	Spectrométrie gamma (sec)	2,27	-
3 km aval	Nogent, écluse	03,50724	48,50166	Rive gauche	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	24/07/2018	Granulométrie - MO (sec)	2,27	-
3 km aval	Nogent, écluse	03,50724	48,50166	Rive gauche	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	24/07/2018	Tritium lié (sec)	2,27	-
3 km aval	Nogent, écluse	03,50724	48,50166	Rive gauche	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	24/07/2018	Hydrogène (sec)	2,27	-
3 km aval	Nogent, écluse	03,50724	48,50166	Rive gauche	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	24/07/2018	Carbone 14 (sec)	2,27	-
3 km aval	Nogent, écluse	03,50724	48,50166	Rive gauche	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	24/07/2018	C-13 sur C-12 (sec)	2,27	-
3 km aval	Nogent, écluse	03,50724	48,50166	Rive gauche	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	24/07/2018	Fer 55 (cendres)	2,27	1,08

Situation par rapport au CNPE	Station	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Lieu de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
3 km aval	Nogent, écluse	03,50724	48,50166	Rive gauche	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	24/07/2018	Nickel 63 (cendres)	2,27	1,08
3 km aval	Nogent, écluse	03,49927	48,49561	Rive gauche	Phanérogames immergées	Cératophylle <i>Ceratophyllum sp</i>	Parties aériennes	24/07/2018	Spectrométrie gamma (frais) + I-131	9,04	-
3 km aval	Nogent, écluse	03,49927	48,49561	Rive gauche	Phanérogames immergées	Cératophylle <i>Ceratophyllum sp</i>	Parties aériennes	24/07/2018	Spectrométrie gamma (cendres)	12,44	2,49
3 km aval	Nogent, écluse	03,49927	48,49561	Rive gauche	Phanérogames immergées	Cératophylle <i>Ceratophyllum sp</i>	Parties aériennes	24/07/2018	Tritium lié	12,22	-
3 km aval	Nogent, écluse	03,49927	48,49561	Rive gauche	Phanérogames immergées	Cératophylle <i>Ceratophyllum sp</i>	Parties aériennes	24/07/2018	Tritium libre	12,22	-
3 km aval	Nogent, écluse	03,49927	48,49561	Rive gauche	Phanérogames immergées	Cératophylle <i>Ceratophyllum sp</i>	Parties aériennes	24/07/2018	Carbone 14	9,04	-
3 km aval	Nogent, écluse	03,49927	48,49561	Rive gauche	Phanérogames immergées	Cératophylle <i>Ceratophyllum sp</i>	Parties aériennes	24/07/2018	C-13 sur C-12	9,04	-
3 km aval	Nogent, écluse	03,49927	48,49561	Rive gauche	Phanérogames immergées	Cératophylle <i>Ceratophyllum sp</i>	Parties aériennes	24/07/2018	Hydrogène	12,22	-
15,5 km aval	La Motte-Tilly	03,42967	48,47042	Rive gauche	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	24/07/2018	Spectrométrie gamma (sec)	2,42	-
15,5 km aval	La Motte-Tilly	03,42967	48,47042	Rive gauche	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	24/07/2018	Granulométrie - MO (sec)	2,42	-
15,5 km aval	La Motte-Tilly	03,42967	48,47042	Rive gauche	Phanérogames immergées	Potamogeton perfolié <i>Potamogeton perfoliatus L.</i>	Parties aériennes	24/07/2018	Spectrométrie gamma (cendres)	9,23	2,51
15,5 km aval	La Motte-Tilly	03,42026	48,47071	Rive gauche	Mousses aquatiques	Mousse <i>Fontinalis antipyretica Hedw.</i>	Parties aériennes	24/07/2018	Fer 55 (cendres)	4,53	1,90
15,5 km aval	La Motte-Tilly	03,42026	48,47071	Rive gauche	Mousses aquatiques	Mousse <i>Fontinalis antipyretica Hedw.</i>	Parties aériennes	24/07/2018	Nickel 63 (cendres)	4,53	1,90
15,5 km aval	La Motte-Tilly	03,42062	48,47186	Rives droite et gauche	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	23/07/2018	Spectrométrie gamma (cendres)	4,77	16,16
15,5 km aval	La Motte-Tilly	03,42062	48,47186	Rives droite et gauche	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	23/07/2018	Tritium lié	4,85	-
15,5 km aval	La Motte-Tilly	03,42062	48,47186	Rives droite et gauche	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	23/07/2018	Carbone 14	4,85	-

Situation par rapport au CNPE	Station	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Lieu de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
15,5 km aval	La Motte-Tilly	03,42062	48,47186	Rives droite et gauche	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	23/07/2018	C-13 sur C-12	4,85	-
15,5 km aval	La Motte-Tilly	03,42062	48,47186	Rives droite et gauche	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	23/07/2018	Hydrogène	4,85	-
15,5 km aval	La Motte-Tilly	03,42935	48,47050	Rive gauche	Eau douce	Eau de cours eau	Filtrat à 0,50 µm	14/11/2018	C-13 sur C-12 (liquide)	-	-
15,5 km aval	La Motte-Tilly	03,42935	48,47050	Rive gauche	Eau douce	Eau de cours eau	Carbonates CITD - AIEA 1981	14/11/2018	Carbone 14 (sec)	3673,09	-

- : absence de traitement.

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

Prélèvements en amont du dispositif de rejet des effluents liquides

Prélèvements en aval du dispositif de rejet des effluents liquides

4.3.2. Résultats et interprétation

4.3.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

Les résultats de spectrométrie γ sont reportés dans le Tableau 20 page 63 pour la radioactivité d'origine naturelle et le Tableau 21 page 64 pour la radioactivité d'origine artificielle. L'évolution de 2008 à 2018 des activités massiques en radionucléides émetteurs γ des sédiments, des poissons, des phanérogames et des mousses est présentée dans les Tableaux 15 à Tableau 18, page 58 et suivantes. L'évolution depuis l'état de référence des activités massiques des radionucléides émetteurs γ des sédiments, des poissons, des phanérogames et des mousses est représentée graphiquement sur les Figures 9 à Figure 12, page 40 et suivantes.

4.3.2.1.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

D'une manière générale en 2018, la radioactivité d'origine naturelle mise en évidence dans les sédiments et les phanérogames immergées est due principalement au ^{40}K et dans une moindre mesure, aux éléments de la famille du ^{232}Th , de ^{238}U et du ^{7}Be , de manière similaire à celle observée lors des suivis radioécologiques annuels précédents et comparable aux valeurs observées en France métropolitaine [1]. La radioactivité d'origine naturelle quantifiable dans les poissons est uniquement due au ^{40}K , du même ordre de grandeur que les valeurs attendues pour ces animaux dont la teneur en potassium est physiologiquement régulée (environ $100 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ frais). Enfin, ces résultats attestent de l'absence de biais dans les étapes de prélèvement, de préparation et de mesure de l'échantillon.

4.3.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Le ^{137}Cs est détecté dans pratiquement tous les compartiments avec des activités massiques proches entre l'amont et l'aval. Comme régulièrement lors des études précédentes, ces activités sont du même ordre de grandeur que celles mesurées ces dix dernières années.

Du ^{134}Cs est retrouvé cette année dans le sédiment et les phanérogames prélevés à Nogent-écluse. Compte tenu de sa période radioactive courte (2,06 ans), il ne peut être issu des retombées de l'accident de Fukushima, survenu en 2011. Il est par conséquent imputable aux rejets d'effluents liquides du CNPE de Nogent-sur-Seine. Du ^{60}Co et du ^{58}Co sont détectés dans l'échantillon de phanérogames immergées, prélevé à l'aval (Nogent, écluse). Seul le ^{60}Co est détecté dans les deux sédiments prélevés à l'aval. Les activités sont du même ordre de grandeur que celles mesurées régulièrement les années précédentes et montrent le marquage du milieu aquatique par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Nogent-sur-Seine.

L' ^{131}I est détecté dans les phanérogames immergées, prélevées à l'aval et n'est pas détecté dans celles prélevées à l'amont, avec toutefois un seuil de décision assez élevé, ce qui ne permet pas de conclure quant à un éventuel apport d' ^{131}I par les rejets des effluents liquides du CNPE de Nogent-sur-Seine.

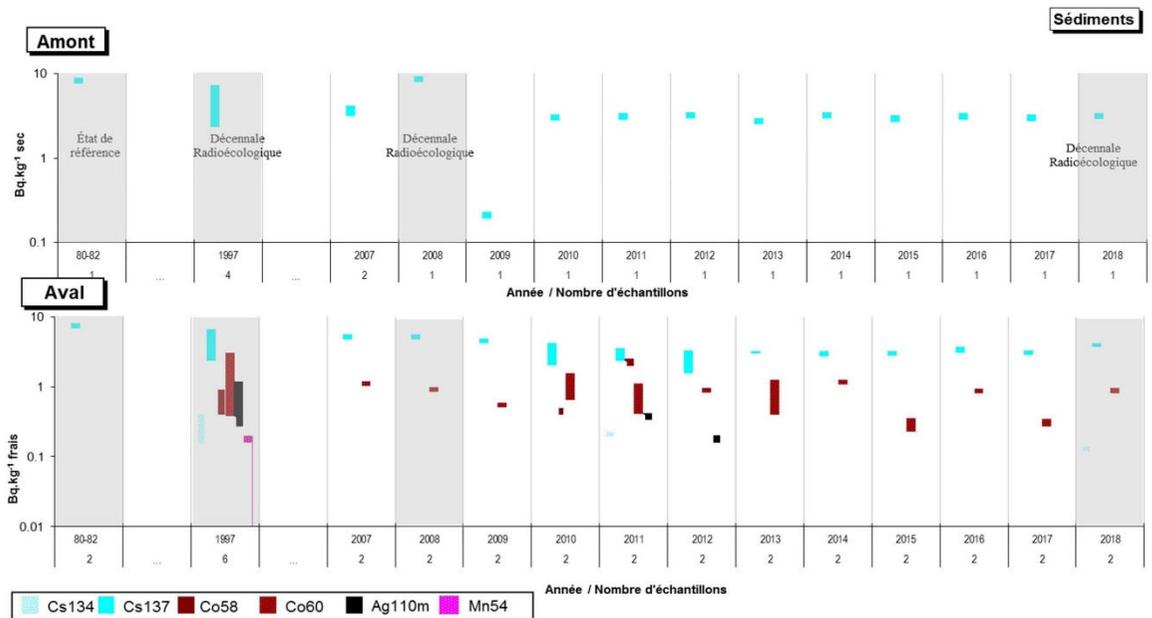
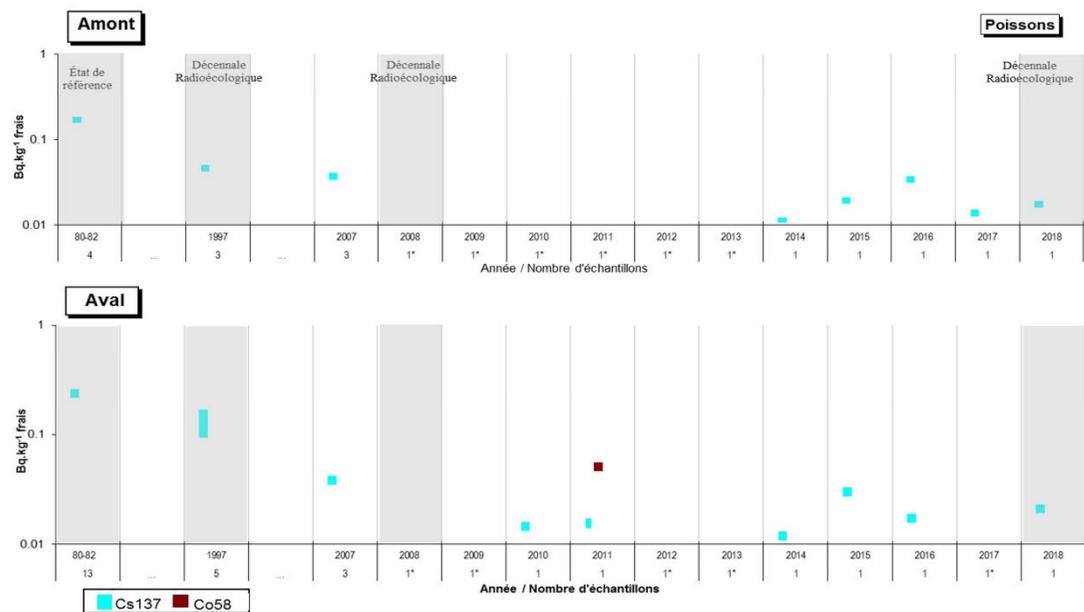
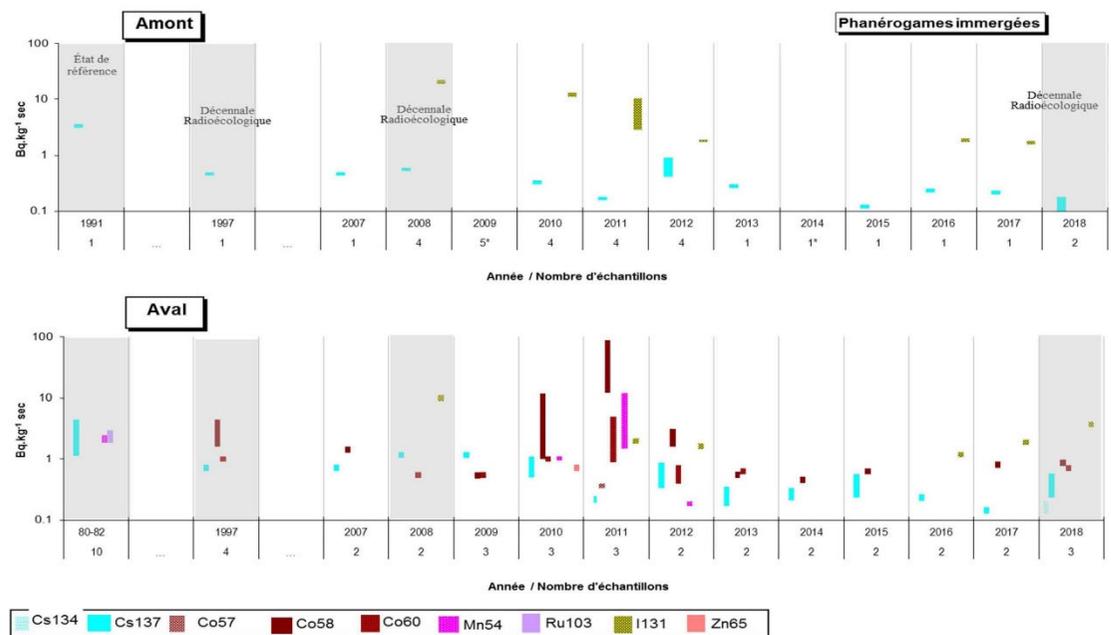


Figure 9 - Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les sédiments de l'écosystème aquatique de la région de Nogent-sur-Seine.



* : activités massiques des radionucléides artificiels inférieures au seuil de décision.

Figure 10- Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les poissons de l'écosystème aquatique de la région de Nogent-sur-Seine.



* : activités massiques des radionucléides artificiels inférieures au seuil de décision.

Figure 11- Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les phanérogames de l'écosystème aquatique de la région de Nogent-sur-Seine.

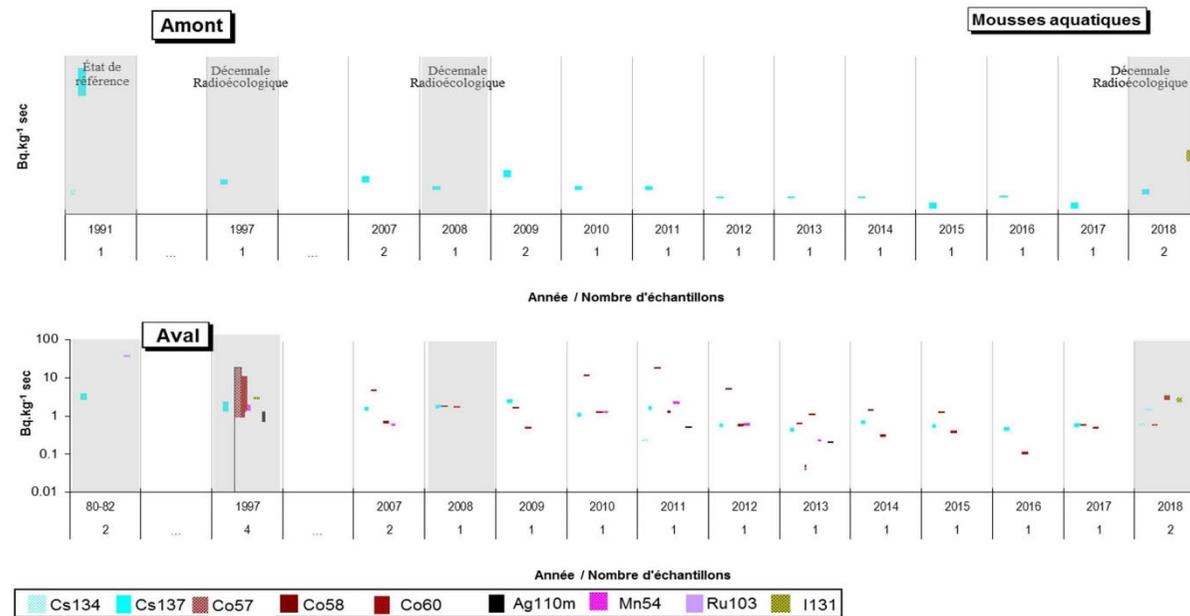


Figure 12- Variation temporelle des activités (valeurs minimales à maximales) des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les mousses de l'écosystème aquatique de la région de Nogent-sur-Seine.

4.3.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

4.3.2.2.1. Tritium

Les résultats de mesure du tritium libre et du tritium organiquement lié sont reportés dans le Tableau 22 et Tableau 23, page 65.

En 2018, l'activité en ^3H libre mesurée dans les phanérogames immergées est de $1,4 \pm 0,6 \text{ Bq.L}^{-1}$ ED en amont et de $61,0 \pm 2,8 \text{ Bq.L}^{-1}$ ED en aval. Cette activité nettement supérieure à l'aval n'est retrouvée qu'en 2016 et met en évidence pour ces deux années (2016 et 2018) le marquage par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Nogent-sur-Seine.

Dans les phanérogames immergées et les poissons, les activités en tritium organiquement lié, observées en aval (respectivement $30,3 \pm 1,9$ et $30,2 \pm 1,6 \text{ Bq.L}^{-1}$ EC) sont supérieures à celles de l'amont et aux activités attendues hors influence (1 à 3 Bq.L^{-1} d'après [1]). Du fait d'une activité en tritium organiquement lié légèrement supérieure au bruit de fond ($4,1 \pm 0,7 \text{ Bq.L}^{-1}$ EC), il est probable que les poissons collectés en amont du CNPE aient passé une petite partie de leur vie en aval du point de rejet d'effluents liquides. Ces résultats sont en accord avec ceux collectés depuis une décennie autour du CNPE de Nogent-sur-Seine.

4.3.2.2.2. Carbone 14

Les résultats de mesure du ^{14}C sont reportés dans le Tableau 24 page 66.

Dans les phanérogames immergées et les poissons, les activités en ^{14}C observées en aval sont supérieures respectivement $844,5 \pm 3,7$ et $968 \pm 47 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de C) à celles de l'amont et aux activités attendues hors influence (inférieure à 220 Bq.kg^{-1} de C d'après [24, 16, 1]). Les poissons collectés en amont du CNPE ont probablement passé une partie de leur vie en aval du point de rejet d'effluents liquides, comme le montre leur activité spécifique en ^{14}C supérieure au bruit de fond ($346 \pm 17 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de C). Ces résultats sont en accord avec ceux collectés depuis une décennie autour du CNPE de Nogent-sur-Seine.

4.3.2.2.3. Nickel 63 et Fer 55

Les résultats de mesure du ^{63}Ni et du ^{55}Fe sont reportés dans le Tableau 25 et le Tableau 26, page 67.

Dans les mousses, les activités en ^{63}Ni sont plus élevées à l'aval, comparativement à l'amont. Toutefois, pour ce radionucléide, il n'est pas possible de conclure sur le marquage par les rejets du CNPE car les niveaux de référence du bruit de fond en ^{63}Ni provenant des retombées atmosphériques d'armes nucléaires ne sont pas établis à ce jour.

L'activité en ^{55}Fe est inférieure au seuil de décision dans les mousses prélevées à l'amont comme à l'aval.

4.4. Conclusion sur l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine

Les niveaux d'activités des radionucléides naturels détectés en 2018 dans l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine 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.

Dans l'environnement terrestre, les activités mesurées ne mettent pas en évidence de marquage par les rejets d'effluents atmosphériques du CNPE de Nogent-sur-Seine. En effet, les activités en tritium libre, en tritium organiquement lié, en ^{14}C (dans le lait) et en ^{137}Cs sont dans la gamme des activités attendues hors influence d'apports industriels locaux. Concernant le ^{14}C , les résultats sont conformes avec les conclusions du bilan radiologique 2015-2017 de l'IRSN [1]. Ce bilan a en effet montré que la contribution des rejets atmosphériques ne pouvait être mise en évidence qu'à courte distance d'un site (1 km).

Dans l'environnement aquatique, les activités mesurées en émetteurs gamma d'origine artificielle (^{134}Cs , ^{60}Co et ^{58}Co) en ^3H et en ^{14}C à l'aval du site mettent en évidence un marquage par les rejets d'effluents liquides. En revanche, les activités mesurées en ^{131}I et en ^{63}Ni ne permettent pas de conclure quant à une éventuelle contribution pour ces radionucléides des rejets des effluents liquides du CNPE de Nogent-sur-Seine aux niveaux d'activités issus des apports hospitaliers et des retombées des essais nucléaires.

4.5. Tableaux de résultats

Tableau 3 - Activités massiques en radionucléides émetteurs γ des échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du site de Nogent-sur-Seine lors des études radioécologiques de 2008 à 2018.

Date	juin et octobre 2008	mars 2009	mai 2010	juillet 2011	juillet 2012	mai 2013	juin 2014	juin 2015	mai 2016	juin 2017	avril et juillet 2018
Distance par rapport au site	8,6 à 15 km	14,6 km	11,5 à 14,6 km	11,5 à 14,6 km	11,5 à 14,6 km	5 à 11,5 km	5 à 11,5 km	5 à 11,5 km	5 à 11,5 km	5 à 11,5 km	5 à 23 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹.sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	3,9-7,5 (7/7)	7,6 (1/1)	6,8-11 (2/2)	6,0-6,7 (2/2)	5,7-8,8 (2/2)	10,2-16 (2/2)	11-17,4 (2/2)	10-16,3 (2/2)	9,4-12 (2/2)	9,2-15 (2/2)	2,93-7,7 (6/6)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

Tableau 4 - Activités massiques en radionucléides émetteurs γ des échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du site de Nogent-sur-Seine lors des études radioécologiques de 2008 à 2018.

Date	juin 2008	mars 2009	mai 2010	juillet 2011	avril 2012	mai et sept. 2013	juin 2014	juin 2015	avril 2016	avril 2017	avril 2018
Distance par rapport au site	3,5 à 10 km	3,5 à 7,5 km	3,5 à 7,5 km	3,5 à 7,5 km	3,5 à 7,5 km	3,5 à 7,5 km	3,5 à 7,5 km	3,5 à 7,5 km	3,5 à 7,5 km	3,5 à 7,5 km	3,5 à 7,5 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹.sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	1,2-3,2 (4/4)	-	-	1,5-1,6 (2/2)	1,5-1,6 (2/2)	1,2-2 (2/2)	0,75-0,89 (2/2)	0,57-0,68 (2/2)	0,32-0,56 (2/2)	0,47-0,54 (2/2)	0,50-1,86 (2/2)
⁵⁹ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

Tableau 5 - Activités massiques en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de végétaux (légumes) collectés dans l'environnement terrestre du site de Nogent-sur-Seine lors des études radioécologiques de 2008 à 2018.

Date	juin et octobre 2008	août 2009	mai 2010	juillet 2011	juillet 2012	mai 2013	juin 2014	juin 2015	mai 2016	juin 2017	juillet 2018
Distance par rapport au site	8,6 à 15 km	14,6 à 15 km	11,5 à 15 km	11,5 à 15 km	11,5 à 15 km	11,5 à 15 km	11,5 à 15 km	11,5 à 15 km	11,5 à 15 km	11,5 à 15 km	15 à 23 km
Nature	légumes	salade	salade	salade	salade	salade	salade	salade	salade	salade	salade
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹.sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,04 (2/4)	0,22 (1/2)	-	-	-	0,23-0,4 (2/2)	0,13-0,23 (2/2)	0,16 (1/2)	0,27 (1/2)	0,16 (1/2)	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, TOL : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ de C)											
³ H libre	0,8 (1/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	1,3 (1/1)	0,9 (1/1)	1,3 (1/2)
TOL	1-1,4 (4/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,1 (1/1)	1,3 (1/1)	1,7 (1/1)	2,1-2,4 (2/2)
¹⁴ C	233-243 (4/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	223-227 (2/2)	223-225 (2/2)	230-232 (2/2)	232-236 (2/2)

n.a. : non analysé ; - : inférieur au seuil de décision. En 2008, les prélèvements de légumes sont composés de salade, d'épinard et de betterave sucrière.

Tableau 6 - Activités massiques en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de végétaux (herbe) collectés dans l'environnement terrestre du site de Nogent-sur-Seine lors des études radioécologiques de 2008 à 2018.

Date	juin 2008	mars 2009	mai 2010	juillet 2011	juillet 2012	mai 2013	juin 2014	juin 2015	avril et mai 2016	avril et juin 2017	avril et juillet 2018
Distance par rapport au site	11 à 15 km	14,6 km	14,6 km	14,6 km	14,6 km	5 km	5 km	1 à 5 km	1 à 5 km	1 à 5 km	5,25 à 15 km
Nature	herbe	herbe	herbe	herbe	herbe	herbe	herbe	herbe	herbe	herbe	herbe
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,1-0,3 (2/2)	0,4 (1/1)	-	-	-	0,15 (1/1)	0,063 (1/1)	-	-	0,188 (1/1)	0,093-1,09 (2/6)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵¹ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	0,14 (1/1)	-	-	-	-	-
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, TOL : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ de C)											
³ H libre	0,8-1,3 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,4 (1/1)	1,2 (1/1)	2,3 (1/1)	0,6-1,3 (2/2)
TOL	1-1,4 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,2 (1/1)	1,0-2,2 (2/2)
¹⁴ C	234-235 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	233,5 (1/1)	230,5 (1/1)	233 (1/1)	239,6 (1/1)	236,8 (1/1)	248,5 (1/1)	234 (1/1)

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

Tableau 7 - Activités volumiques en radionucléides émetteurs γ et B des échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du site de Nogent-sur-Seine lors des études radioécologiques de 2008 à 2018.

Date	juin 2008	mars 2009	mai 2010	juillet 2011	juillet 2012	mai 2013	juin 2014	juin 2015	mai 2016	juin 2017	juillet 2018
Distance par rapport au site	11 à 15 km	14,6 km	14,6 km	14,6 km	14,6 km	14,6 km	14,6 km	14,6 km	11 à 14,6 km	11 à 14,6 km	11 à 14,6 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.L⁻¹)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	-	-	-	-	-	0,0045 (1/1)	0,0095 (1/1)	0,0076 (1/1)	-	0,0044 (1/1)	0,0030 (1/4)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, TOL : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ de C)											
³ H libre	-	-	-	0,9 (1/1)	0,9 (1/1)	0,8 (1/1)	0,7 (1/1)	-	0,6-0,8 (2/2)	-	-
TOL	-	n.a.	n.a.	n.a.	1,2 (1/1)	1 (1/1)	0,9 (1/1)	1,1 (1/1)	0,8 (1/1)	1,2 (1/1)	0,9-1,2 (2/2)
¹⁴ C	236-240 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	225 (1/1)	228-233 (2/2)	232-242 (2/2)

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

Tableau 8- Activités volumiques en tritium libre des échantillons d'eau collectés dans l'environnement terrestre du site de Nogent-sur-Seine lors des études radioécologiques de 2008 à 2018.

Date	juin et octobre 2008	mars 2009	mai 2010	juillet 2011	avril 2012	mai 2013	juin 2014	juin 2015	avril 2016	avril 2017	avril et juillet 2018
Distance par rapport au site	7,5 à 11,5 km	7,5 km	7,5 km	7,5 km	7,5 km	7,5 km	7,5 km	7,5 km	7,5 km	15,5 km	15,5 à 23 km
Émetteurs β (Bq.L⁻¹)											
³ H libre	1,9 (1/5)	2,6 (1/1)	2,2 (1/1)	2,4 (1/1)	2,4 (1/1)	3,8 (1/1)	2,1 (1/1)	2,1 (1/1)	2,6 (1/1)	2,2 (1/1)	1,0-2,7 (2/2)

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

Tableau 9 - Teneur en matière organique et granulométrie de l'échantillon des sols collectés dans la région du CNPE de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique 2018.

Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Frais/Sec	Fractions	%
Courtavant, Barbuise	25/04/2018	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie <i>0 - 5 cm</i>	≤ 2 mm	01/10/2018	sec	1,16	Matière organique	5,86
								Argiles (<2µm)	18,90
								Limons Fins	16,90
								Limons Grossiers	15,90
								Sables Fins	12,40
								Sables Grossiers	35,70

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

Prélèvements hors vents dominants de l'installation
Prélèvements sous les vents dominants de l'installation
Prélèvements en aval du dispositif de rejet des effluents liquides

Tableau 10 - Activités massiques et volumiques en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons collectés dans le domaine terrestre lors du suivi radioécologique 2018 de l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine ($Bq.kg^{-1}sec$ pour les sols et les végétaux, $Bq.L^{-1}$ pour le lait).

Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Fraib/Sec	^{40}K	Famille du ^{232}Th	Famille de ^{238}U			^{210}Pb	Unité
									^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Po		
Courtavant, Barbuise	25/04/2018	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	≤ 2 mm	12/09/2018	sec	1,16	174±16	19,2±2,4	n.a.	18±10	n.a.	≤ 5	$Bq.kg^{-1}sec$
Clestes	25/07/2018	Légumes	Salade Laitue <i>Lactuca sativa L.</i>	Parties aériennes	20/09/2018	condres	30,38	2220±220	≤ 0,9	≤ 1,6	≤ 29	4,5±1,1	46,1±4,7	$Bq.kg^{-1}sec$
Fontaine-Fourches	23/07/2018	Légumes	Salade Laitue <i>Lactuca sativa L.</i>	Parties aériennes	12/09/2018	condres	31,63	3210±320	2,03±0,49	2,4±1,0	≤ 24	4,0±1,1	25,9±2,8	$Bq.kg^{-1}sec$
Marcilly-sur-Seine	25/07/2018	Prairies	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	17/10/2018	condres	1,81	800±80	1,96±0,35	1,15±0,46	≤ 11	12,0±1,3	137±13	$Bq.kg^{-1}sec$
Marcilly-sur-Seine	25/07/2018	Prairies	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	01/08/2018	frais	2,00	770±70	≤ 1,7	n.a.	≤ 70	n.a.	123±12	$Bq.kg^{-1}sec$
Bois de Marnay-sur-Seine	25/04/2018	Mousses terricoles	Mousse <i>Rhytidadelphus triquetrus</i>	Entier	04/05/2018	frais	1,38	154±14	4,2±0,8	n.a.	≤ 20	n.a.	880±70	$Bq.kg^{-1}sec$
Marcilly-sur-Seine	25/07/2018	Produits alimentaires liquides non transformés	Lait de vache	Entier	16/11/2018	condres	8,63	45,3±4,4	≤ 0,012	≤ 0,031	≤ 0,39	≤ 0,035	≤ 0,07	$Bq.L^{-1}$

n.a. : non analysé.

Tableau 11 - Activités massiques et volumiques en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons collectés dans le domaine terrestre lors du suivi radioécologique 2018 de l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine ($Bq.kg^{-1}sec$ pour les sols et les végétaux, $Bq.L^{-1}$ pour le lait).

Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{134}Cs	^{137}Cs	^{60}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{131}I	Unité
Courtavant, Barbuise	25/04/2018	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	≤ 2 mm	sec	1,16	12/09/2018	≤ 0,13	7,7±0,6	≤ 0,40	≤ 0,12	≤ 0,20	≤ 0,17	n.a.	$Bq.kg^{-1}sec$
Courtavant, Barbuise	25/04/2018	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 5 - 15 cm	≤ 2 mm	sec	1,12	06/09/2018	≤ 0,11	6,4±0,5	≤ 0,32	≤ 0,10	≤ 0,16	≤ 0,14	n.a.	$Bq.kg^{-1}sec$
Courtavant, Barbuise	25/04/2018	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 15 - 30 cm	≤ 2 mm	sec	1,12	06/09/2018	≤ 0,12	3,57±0,32	≤ 0,36	≤ 0,12	≤ 0,18	≤ 0,16	n.a.	$Bq.kg^{-1}sec$
Clestes	25/07/2018	Légumes	Salade Laituc <i>Lactuca sativa L.</i>	Parties aériennes	cendres	30,38	20/09/2018	≤ 0,17	≤ 0,17	≤ 0,34	≤ 0,29	≤ 0,25	≤ 0,20	n.a.	$Bq.kg^{-1}sec$
Fontaine-Fourches	23/07/2018	Légumes	Salade Laituc <i>Lactuca sativa L.</i>	Parties aériennes	cendres	31,63	12/09/2018	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,27	≤ 0,24	≤ 0,22	≤ 0,18	n.a.	$Bq.kg^{-1}sec$
Marcilly-sur-Seine	25/07/2018	Prairies	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	cendres	1,81	17/10/2018	≤ 0,07	0,093±0,041	≤ 0,17	≤ 0,11	≤ 0,11	≤ 0,09	n.a.	$Bq.kg^{-1}sec$
Bois de Marnay-sur-Seine	25/04/2018	Mousses terricoles	Mousse <i>Rhizidiadelphus triquetrus</i>	Entier	frais	1,38	04/05/2018	≤ 0,15	1,86±0,23	≤ 0,16	≤ 0,21	≤ 0,18	≤ 0,16	≤ 0,32	$Bq.kg^{-1}sec$
Marcilly-sur-Seine	25/07/2018	Produits alimentaires liquides non transformés	Lait de vache	Entier	cendres	8,63	16/11/2018	≤ 0,0027	0,0030±0,0014	≤ 0,009	≤ 0,0040	≤ 0,0042	≤ 0,0035	n.a.	$Bq.L^{-1}$

n.a. : non analysé. Du fait de sa volatilité et de sa courte période physique, ^{131}I n'est mesuré que dans certains échantillons.

Tableau 12 - Activités massiques et volumiques en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique annuel de 2018.

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 sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité ³ H libre
Clestes	25/07/2018	Légumes	Salade Laitue Lactuca sativa L.	Feuilles	14,43	15/10/2018	1,3±0,6	1,2±0,6	Bq.kg ⁻¹ frais
Marilly-sur-Seine	25/07/2018	Prairies	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	1,97	24/09/2018	1,3±0,6	0,63±0,27	Bq.kg ⁻¹ frais
Gumery, lieu-dit Athis	25/07/2018	Produits alimentaires liquides non transformés	Lait de vache	Entier	7,22	26/08/2018	≤ 0,5	≤ 0,44	Bq.L ⁻¹ d'ECH.
Marilly-sur-Seine	25/07/2018	Produits alimentaires liquides non transformés	Lait de vache	Entier	7,90	26/08/2018	≤ 0,5	≤ 0,45	Bq.L ⁻¹ d'ECH.
Clestes	25/07/2018	Eau douce	Eau d'irrigation	Filtrat à 0,20 µm	-	15/10/2018	1,0±0,6	1,0±0,6	Bq.L ⁻¹ d'ECH.
La Motte-Tilly, AEP	24/04/2018	Eau douce	Eau de boisson	Filtrat à 0,20 µm	-	01/06/2018	2,7±0,6	2,7±0,6	Bq.L ⁻¹ d'ECH.

Tableau 13 - Activités massiques et volumiques en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique annuel de 2018.

Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ M.O.)	TOL (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité TOL
Clesles	25/07/2018	Légumes	Salade Laitue Lactuca sativa L.	Feuilles	14,43	01/11/2018	2,1±0,6	n.a.	0,078±0,023	Bq.kg ⁻¹ frais
Marcilly-sur-Seine	25/07/2018	Prairies	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	1,97	24/10/2018	2,2±0,7	n.a.	0,60±0,18	Bq.kg ⁻¹ frais
Marcilly-sur-Seine	25/07/2018	Produits alimentaires liquides non transformés	Lait de vache	Entier	7,89	01/11/2018	0,9±0,6	n.a.	0,077±0,049	Bq.L ⁻¹ d'ECH.

n.a. : non analysé.

Tableau 14 - Activités en ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique annuel de 2018 et lors de la surveillance trimestrielle de 2017.

Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure ^{14}C	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ de C)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	pMC (%)	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	CTOT. (g.kg ⁻¹ sec ou frais ou g.L ⁻¹)	Unité
Marcilly-sur-Seine	04/01/2017	Prairies	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	4,71	12/09/2017	229±11	-28,5	102,0±4,9	19,9±1,0	87	Frais
Marcilly-sur-Seine	06/04/2017	Prairies	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	4,42	15/12/2015	229±11	-30,76	102,5±4,9	22,0±1,1	96	Frais
Marcilly-sur-Seine	10/07/2017	Prairies	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	4,04	09/06/2018	237±12	-27,03	105±5	25,7±1,3	110	Frais
Marcilly-sur-Seine	10/10/2017	Prairies	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	5,54	16/07/2018	224±11	-31,29	100,4±4,9	18,0±0,9	81	Frais
Clestes	25/07/2018	Légumes	Salade Laitue <i>Lactuca sativa</i> L.	Parties aériennes	14,43	30/05/2019	236±12	-28,84	105±5	6,37±0,32	27	Frais
Fontaine-Fourches	23/07/2018	Légumes	Salade Laitue <i>Lactuca sativa</i> L.	Parties aériennes	18,72	30/05/2019	232±11	-29,27	103,5±4,9	4,59±0,22	20	Frais
Marcilly-sur-Seine	25/07/2018	Prairies	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	2,00	30/05/2019	234±12	-27,18	104±5	51,3±2,6	220	Frais
Gumery, lieu-dit Athis	25/07/2018	Produits alimentaires liquides non transformés	Lait de vache	Entier	7,22	09/02/2019	232±11	-22,71	102,2±4,8	16,7±0,8	72	Liquide
Marcilly-sur-Seine	25/07/2018	Produits alimentaires liquides non transformés	Lait de vache	Entier	7,90	08/02/2019	242±12	-21,2	106±5	14,9±0,7	62	Liquide

Tableau 15 - Activités massiques en radionucléides émetteurs γ des échantillons de sédiments collectés dans l'environnement aquatique du site de Nogent-sur-Seine lors des études radioécologiques de 2008 à 2018.

Date	mai 2008		mars 2009		mai 2010		juillet 2011		avril et juillet 2012		septembre 2013		juin 2014		juin 2015		juin 2016		avril 2017		juillet 2018		
	Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ .sec)																							
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	0,23 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14 (1/2)
¹³⁷ Cs	9,4 (1/1)	3,3-5,6 (2/2)	0,23 (1/1)	4,5-4,9 (2/2)	3,3 (1/1)	1,9-4,2 (2/2)	3,4 (1/1)	2,2-3,5 (2/2)	3,5 (1/1)	1,45-3,3 (2/2)	2,97 (1/1)	2,8-3,2 (2/2)	3,5 (1/1)	3,2 (1/2)	3,2 (1/1)	2,56-3,6 (2/2)	3,4 (1/1)	2,83-3,7 (2/2)	3,26 (1/1)	3,32 (2/2)	3,42 (1/1)	3,42-4,15 (2/2)	
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	0,5 (1/2)	-	2,5 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
⁶⁰ Co	-	0,5-1,0 (2/2)	-	0,3-0,6 (2/2)	-	0,6-1,6 (2/2)	-	0,38-1,13 (2/2)	-	0,97 (1/2)	-	0,37-1,27 (2/2)	-	1,27 (1/2)	-	0,21-0,36 (2/2)	-	0,95 (1/2)	-	0,25-0,35 (2/2)	-	0,74-0,97 (2/2)	
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	0,42 (1/2)	-	0,2 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

- : inférieur au seuil de décision.

Tableau 16 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de mousses collectés dans l'environnement aquatique du site de Nogent-sur-Seine lors des études radioécologiques de 2008 à 2018.

Date	mai 2008		août 2009		mai 2010		juillet 2011		juillet 2012		septembre 2013		juin 2014		juin 2015		août 2016		juin 2017		juillet 2018	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹.sec)																						
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	0,24 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,9 (1/1)	2,0 (1/1)	1,1 (1/1)	2,7 (1/1)	0,9 (1/1)	1,2 (1/1)	0,89 (1/1)	1,83 (1/1)	0,56 (1/1)	0,65 (1/1)	0,56 (1/1)	0,49 (1/1)	0,55 (1/1)	0,75 (1/1)	0,36 (1/1)	0,61 (1/1)	0,58 (1/1)	0,51 (1/1)	0,36 (1/1)	0,63 (1/1)	-	-
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,049 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	1,9 (1/1)	-	1,7 (1/1)	-	12 (1/1)	-	19,2 (1/1)	-	5,3 (1/1)	-	0,66 (1/1)	-	1,5 (1/1)	-	1,3 (1/1)	-	-	-	0,62 (1/1)	-	-
⁶⁰ Co	-	1,8 (1/1)	-	0,5 (1/1)	-	1,3 (1/1)	-	1,33 (1/1)	-	0,59 (1/1)	-	1,13 (1/1)	-	0,31 (1/1)	-	0,39 (1/1)	-	0,11 (1/1)	-	0,50 (1/1)	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	0,54 (1/1)	-	-	-	0,21 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	1,3 (1/1)	-	2,3 (1/1)	-	0,62 (1/1)	-	0,23 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-
Émetteurs β (Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation)																						
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.						

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

Tableau 17 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de végétaux (phanérogames immergées) collectés dans l'environnement aquatique du site de Nogent-sur-Seine lors des études radioécologiques de 2008 à 2018.

Date	mai 2008		août 2009		mai 2010		juillet 2011		juillet 2012		septembre 2013		juin 2014		juin 2015		août 2016		juin 2017		juillet 2018		
	Situation par rapport au site		amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)																							
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20 (1/3)	
¹³⁷ Cs	0,6 (1/1)	0,3-1,3 (2/2)	-	0,7-1,3 (2/2)	0,35 (1/4)	0,5-1,1 (2/2)	0,18 (1/4)	0,24 (1/3)	0,38-0,9 (2/4)	0,33-0,86 (2/2)	0,3 (1/1)	0,17-0,35 (2/2)	-	0,21-0,33 (2/2)	0,13 (1/1)	0,23-0,56 (2/2)	0,25 (1/1)	0,26 (1/2)	0,23 (1/1)	0,16 (1/1)	0,18 (1/2)	0,23-0,58 (2/3)	
⁵⁹ Co	-	-	-	-	-	-	-	0,39 (1/3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
⁵⁸ Co	-	-	-	0,4-0,6 (2/2)	-	1-12 (2/2)	-	12,3-89 (3/3)	-	1,6-3,1 (2/2)	-	0,61 (1/2)	-	0,51 (1/2)	-	0,7 (1/2)	-	-	-	0,90 (1/1)	-	0,96 (1/3)	
⁶⁰ Co	-	0,6 (1/2)	-	0,6 (1/2)	-	1,1 (1/2)	-	0,87-4,9 (2/3)	-	0,38-0,78 (2/2)	-	0,69 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,78 (1/3)	
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	1,1 (1/2)	-	1,4-11,9 (3/3)	-	0,2 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
⁶⁵ Zn	-	-	-	-	-	0,8 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
¹³¹ I	22 (1/4)	11 (1/1)	-	-	13 (1/4)	-	2,6-10,2 (3/4)	2,2 (1/1)	1,6-1,9 (2/4)	1,8 (1/1)	-	-	-	-	-	-	2 (1/1)	1,3 (1/1)	1,8 (1/1)	2,1 (1/1)	-	4,1 (1/1)	
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, TOL : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ de C)																							
³ H libre	1,5 (1/1)	1,6 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1 (1/1)	1,7 (1/1)	1,2 (1/1)	41,9 (1/1)	n.a.	n.a.	1,4 (1/1)	61,0 (1/1)	
TOL	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	30,3 (1/1)	
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	200,4 (1/1)	844,5 (1/1)

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision. Du fait de sa volatilité et de sa courte période physique, l'¹³¹I n'est mesuré que dans certains échantillons.

Tableau 18 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de poissons (muscle) collectés dans l'environnement aquatique du site de Nogent-sur-Seine lors des études radioécologiques de 2008 à 2018.

Date	août et octobre 2008		août 2009		juin 2010		juin 2011		avril 2012		septembre 2013		juin 2014		juin 2015		septembre 2016		août 2017		juillet 2018	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ frais)																						
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	-	-	-	-	-	0,016 (1/1)	-	0,017 (1/1)	-	-	-	-	0,012 (1/1)	0,013 (1/1)	0,021 (1/1)	0,033 (1/1)	0,037 (1/1)	0,019 (1/1)	0,015 (1/1)	-	0,0190 (1/1)	0,023 (1/1)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	0,056 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, TOL : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ de C)																						
³ H libre	-	8,7-49 (2/2)	1,9 (1/1)	2,5 (1/1)	2,1 (1/1)	69,4 (1/1)	2,1 (1/1)	72 (1/1)	1,5 (1/1)	43,6 (1/1)	1,7 (1/1)	1 (1/1)	0,7 (1/1)	69 (1/1)	27,7 (1/1)	26,7 (1/1)	1,4 (1/1)	36 (1/1)	1,6 (1/1)	57,2 (1/1)	n.a.	n.a.
TOL	7,6 (1/1)	23 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	22,1 (1/1)	52,7 (1/1)	2,7 (1/1)	17,9 (1/1)	1,9 (1/1)	37,6 (1/1)	21,6 (1/1)	21,4 (1/1)	4,4 (1/1)	24,1 (1/1)	2,3 (1/1)	34,5 (1/1)	4,1 (1/1)	30,2 (1/1)
¹⁴ C	559 ⁽¹⁾ (1/1)	1262 ⁽¹⁾ (1/1)	1200 (1/1)	2000 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1200 (1/1)	2800 (1/1)	223,5 (1/1)	898 (1/1)	225 (1/1)	2300 (1/1)	750 (1/1)	730 (1/1)	460 (1/1)	840 (1/1)	385 (1/1)	1040 (1/1)	346 (1/1)	968 (1/1)

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision. ⁽¹⁾La mesure est réalisée par spectrométrie de masse.

Tableau 19- Teneur en matière organique et granulométrie des échantillons de sédiments collectés dans la Seine en amont et en aval de l'émissaire des rejets du CNPE de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique 2018.

Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Frais/Sec	Fractions	%
Écluse de Conflans	24/07/2018	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	07/12/2018	sec	2,49	Matière organique	5,92
								Argiles (<2µm)	27,20
								Limons Fins	32,90
								Limons Grossiers	21,30
								Sables Fins	15,40
								Sables Grossiers	3,20
Nogent, écluse	24/07/2018	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	07/12/2018	sec	2,27	Matière organique	4,64
								Argiles (<2µm)	22,40
								Limons Fins	26,80
								Limons Grossiers	18,40
								Sables Fins	22,50
								Sables Grossiers	9,90
La Motte-Tilly	24/07/2018	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	07/12/2018	sec	2,42	Matière organique	5,54
								Argiles (<2µm)	26,80
								Limons Fins	31,00
								Limons Grossiers	23,10
								Sables Fins	17,00
								Sables Grossiers	2,10

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

Prélèvements en amont du dispositif de rejet des effluents liquides
Prélèvements en aval du dispositif de rejet des effluents liquides

Tableau 20 - Activités massiques en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons collectés dans le domaine aquatique en amont et en aval du site de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique 2018 ($Bq.kg^{-1}.sec$ pour les sédiments et les végétaux, $Bq.kg^{-1}$ frais pour les poissons).

Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{40}K	Familles de ^{238}U				^{238}Pu	Unité
									^{228}Ac	^{232}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb		
Écluse de Conflans	24/07/2018	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	sec	2,49	04/10/2018	198±18	18,3±2,3	n.a.	≤ 15	n.a.	24,6±2,8	$Bq.kg^{-1}.sec$
Nogent, écluse	24/07/2018	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	sec	2,27	04/10/2018	174±16	17,6±2,2	n.a.	≤ 16	n.a.	43,9±4,3	$Bq.kg^{-1}.sec$
La Motte-Tilly	24/07/2018	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	sec	2,42	13/11/2018	182±16	18,2±2,3	n.a.	≤ 22	n.a.	50±6	$Bq.kg^{-1}.sec$
Nogent, écluse	24/07/2018	Phanérogames immergées	Cératophylle <i>Ceratophyllum sp</i>	Parties aériennes	cendres	12,44	19/09/2018	880±90	3,5±0,8	3,0±1,2	≤ 31	12,8±1,7	35,6±4,1	$Bq.kg^{-1}.sec$
Nogent, écluse	24/07/2018	Phanérogames immergées	Cératophylle <i>Ceratophyllum sp</i>	Parties aériennes	frais	9,04	01/08/2018	900±90	5,3±3,6	n.a.	≤ 170	n.a.	38±7	$Bq.kg^{-1}.sec$
Écluse de Conflans	24/07/2018	Phanérogames immergées	Potamocton pectiné <i>Potamogeton pectinatus</i>	Parties aériennes	cendres	10,31	19/09/2018	670±70	2,09±0,45	2,6±0,7	≤ 16	5,2±1,0	17,9±2,2	$Bq.kg^{-1}.sec$
Écluse de Conflans	24/07/2018	Phanérogames immergées	Potamocton pectiné <i>Potamogeton pectinatus</i>	Parties aériennes	frais	5,05	01/08/2018	377±38	≤ 2,4	n.a.	≤ 70	n.a.	13,4±3,3	$Bq.kg^{-1}.sec$
La Motte-Tilly	24/07/2018	Phanérogames immergées	Potamocton perfolié <i>Potamogeton perfoliatus L.</i>	Parties aériennes	cendres	9,23	16/10/2018	540±50	2,3±0,6	3,7±1,0	≤ 26	5,8±1,1	15,3±2,6	$Bq.kg^{-1}.sec$
Pont-sur-Seine	24/07/2018	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	cendres	4,47	02/10/2018	110±11	≤ 0,037	≤ 0,09	≤ 1,3	≤ 0,11	≤ 0,12	$Bq.kg^{-1}$ frais
La Motte-Tilly	23/07/2018	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	cendres	4,77	02/10/2018	112±11	≤ 0,044	≤ 0,10	≤ 1,6	≤ 0,11	≤ 0,14	$Bq.kg^{-1}$ frais

n.a. : non analysé.

Tableau 21 - Activités massiques en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons collectés dans le domaine aquatique en amont et en aval du site de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique 2018 ($Bq.kg^{-1}sec$ pour les sédiments et les végétaux, $Bq.kg^{-1}$ frais pour les poissons).

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	^{131}I	Unité
Écluse de Conflans	24/07/2018	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	sec	2,49 04/10/2018	± 0,12	3,42±0,32	± 0,22	± 0,14	± 0,17	± 0,16	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Nogent, écluse	24/07/2018	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	sec	2,27 04/10/2018	0,14±0,07	4,15±0,37	± 0,25	0,97±0,17	± 0,18	± 0,16	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
La Motte-Tilly	24/07/2018	Sédiment	Sédiment	≤ 2 mm	sec	2,42 13/11/2018	± 0,14	3,42±0,32	± 0,36	0,74±0,16	± 0,21	± 0,20	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Écluse de Conflans	24/07/2018	Phanérogames immergées	Potamogeton pectiné <i>Potamogeton pectinatus</i>	Parties aériennes	cenbres	10,31 19/09/2018	± 0,10	0,18±0,06	± 0,19	± 0,15	± 0,14	± 0,13	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Écluse de Conflans	24/07/2018	Phanérogames immergées	Potamogeton pectiné <i>Potamogeton pectinatus</i>	Parties aériennes	frais	5,05 01/08/2018	± 0,6	± 0,8	± 0,6	± 0,6	± 0,6	± 0,5	± 1,5	Bq.kg ⁻¹ frais
Nogent, écluse	24/07/2018	Phanérogames immergées	Cératophylle <i>Ceratophyllum sp</i>	Parties aériennes	cenbres	12,44 19/09/2018	0,20±0,10	0,58±0,13	0,96±0,25	0,78±0,21	± 0,24	± 0,28	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Nogent, écluse	24/07/2018	Phanérogames immergées	Cératophylle <i>Ceratophyllum sp</i>	Parties aériennes	frais	9,04 01/08/2018	± 1,0	± 0,9	± 1,2	± 1,2	± 1,1	± 1,0	4,1±1,2	Bq.kg ⁻¹ frais
La Motte-Tilly	24/07/2018	Phanérogames immergées	Potamogeton perfolié <i>Potamogeton perfoliatus L.</i>	Parties aériennes	cenbres	9,23 16/10/2018	± 0,15	0,23±0,09	± 0,32	± 0,22	± 0,22	± 0,17	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Pont-sur-Seine	24/07/2018	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	cenbres	4,47 02/10/2018	± 0,008	0,0190±0,0049	± 0,017	± 0,013	± 0,012	± 0,010	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
La Motte-Tilly	23/07/2018	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	cenbres	4,77 02/10/2018	± 0,010	0,023±0,006	± 0,021	± 0,015	± 0,014	± 0,012	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais

n.a. : non analysé. Du fait de sa volatilité et de sa courte période physique, ^{131}I n'est mesuré que dans certains échantillons.

Tableau 22 - Activités massiques et volumiques en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique en amont et en aval du site de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique annuel de 2018.

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 sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité ³ H libre
Écluse de Conflans	24/07/2018	Phanérogames immergées	Potamot pectiné <i>Potamogeton pectinatus</i>	Parties aériennes	6,39	23/09/2018	1,4±0,6	1,2±0,5	Bq.kg ⁻¹ frais
Nogent, écluse	24/07/2018	Phanérogames immergées	Cératophylle <i>Ceratophyllum sp</i>	Parties aériennes	12,22	23/09/2018	61,0±2,8	56,0±2,5	Bq.kg ⁻¹ frais

Tableau 23 - Activités massiques et volumiques en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique en amont et en aval du site de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique annuel de 2018.

Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ M.O.)	TOL (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité TOL
Écluse de Conflans	24/07/2018	Phanérogames immergées	Potamot pectiné <i>Potamogeton pectinatus</i>	Parties aériennes	6,39	24/10/2018	≤ 1,0	n.a.	≤ 0,0040	Bq.kg ⁻¹ frais
Nogent, écluse	24/07/2018	Phanérogames immergées	Cératophylle <i>Ceratophyllum sp</i>	Parties aériennes	12,22	24/10/2018	30,3±1,9	n.a.	0,86±0,09	Bq.kg ⁻¹ frais
Pont-sur-Seine	24/07/2018	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	4,60	01/11/2018	4,1±0,7	n.a.	0,60±0,10	Bq.kg ⁻¹ frais
La Motte-Tilly	23/07/2018	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	4,85	24/10/2018	30,2±1,6	n.a.	4,11±0,27	Bq.kg ⁻¹ frais

n.a. : non analysé

Tableau 24 - Activités en ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique en amont et en aval du site de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique annuel de 2018.

Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure ^{14}C	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ de C)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	pMC (%)	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais)	C TOT. (g.kg ⁻¹ sec ou frais)	Unité
Écluse de Conflans	24/07/2018	Phanérogames immergées	Potamogeton pectinatus	Parties aériennes	5,05	07/12/2018	200,4±1,2	-17,82	87,4±0,5	43,65±0,26	220	Sec
Nogent, écluse	24/07/2018	Phanérogames immergées	Ceratophyllum sp	Parties aériennes	9,04	07/12/2018	844,5±3,7	-28,3	376,1±1,6	223,1±1,0	260	Sec
Pont-sur-Seine	24/07/2018	Poissons	Chevesne <i>Lenciscus cephalus</i>	Muscle	4,60	19/01/2019	346±17	-27,21	154±8	36,2±1,8	100	Frais
La Motte-Tilly	23/07/2018	Poissons	Chevesne <i>Lenciscus cephalus</i>	Muscle	4,85	19/01/2019	968±47	-27,14	430±21	95,1±4,6	98	Frais

Tableau 25 - Activités en ⁶³Ni mesurées dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique en amont et en aval du site de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique annuel de 2018.

Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Qualité	Date de mesure ⁶³ Ni	⁶³ Ni (Bq.kg ⁻¹ sec)	Ni (g.kg ⁻¹ sec ou frais ou g.L ⁻¹)	Unité
Écluse de Conflans	24/07/2018	Mousses aquatiques	Mousse <i>Fontinalis antipyretica Hedw.</i>	Parties aériennes	4,31	cendres	14/12/2018	0,18±0,15	0,0077±0,0009	Sec
La Motte-Tilly	24/07/2018	Mousses aquatiques	Mousse <i>Fontinalis antipyretica Hedw.</i>	Parties aériennes	4,53	cendres	14/12/2018	2,07±0,29	0,0101±0,0012	Sec

Tableau 26 - Activités en ⁵⁵Fe mesurées dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique en amont et en aval du site de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique annuel de 2018.

Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	⁵⁵ Fe	Unité
Écluse de Conflans	24/07/2018	Mousses aquatiques	Mousse <i>Fontinalis antipyretica Hedw.</i>	Parties aériennes	cendres	4,31	12/12/2018	± 7	Bq.kg ⁻¹ sec
La Motte-Tilly	24/07/2018	Mousses aquatiques	Mousse <i>Fontinalis antipyretica Hedw.</i>	Parties aériennes	cendres	4,53	26/04/2019	± 6	Bq.kg ⁻¹ sec

5. BIBLIOGRAPHIE

1. IRSN, *Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017*. 2018, IRSN. 353 p. p.
2. Bé, M., Chisté, V., Dulieu, C., Kellet, M.A., Mougeot, X., Arinc, A., Chechev, V.P., Kuzmenko, N.K., Kibédi, A., et Nichols, A.L. *Table of radionuclides*. Monographie BIPM-5 2016; Accessible à l'adresse: <https://www.bipm.org/en/publications/scientific-output/monographie-ri-5.html>.
3. IRSN, *Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement*. 2017, IRSN. PRP-ENV/SERIS/2017-00004, 76 p.
4. ASN. *Livre blanc du tritium*. 2010; Accessible à l'adresse: <http://livre-blanc-tritium.asn.fr/>.
5. IPSN, *Le tritium dans l'environnement proche du site de l'usine de retraitement de la Hague*. 1998, IPSN. p.
6. IRSN, *Les essais atmosphériques d'armes nucléaires : des retombées radioactives à l'échelle planétaire. Fiche Information de l'Institut de radioprotection et de Sécurité Nucléaire*. 2008, IRSN. p.
7. Renaud, P., Champion, D., et Brenot, J., *Les retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl sur le territoire français: Conséquences environnementales et exposition des personnes*. Sciences et techniques 2008. p. 190.
8. IAEA/WMO, *Global network of isotopes in precipitation. The GNIP database*, 2013 p.
9. Olive, P., Hubert, P., et Ravailleau, S., *Estimation pratique de "l'âge" des eaux souterraines en Europe par le tritium*. Revue des sciences de l'eau, 1996. 4: 10 p.
10. IRSN, *Niveau d'activité du tritium dans l'environnement. Contribution à la synthèse de la DEI sur le tritium*. 2008, IRSN. Rapport DEI/SESURE n°2008-34, 57 p.
11. IRSN, *Le tritium dans l'environnement. Point de vue de l'IRSN sur les questions clés et les pistes de recherches et développement*. 2010, IRSN. Rapport DEI 2010-01, 23 p.
12. Eyrolle-Boyer, F., Claval, D., Antonelli, C., Tournieux, D., et Cossonnet, C., *1963-2013: 1963-2013 : Fifty years of anthropogenic tritium in our environment - Focus on the Rhône valley (South east France)*. 10th International Conference on Tritium Science and Technology, "TRITIUM 2013", Nice, 2013 p.
13. Roussel-Debet, S., *Bruit de fond du tritium en milieu terrestre*. Radioprotection, 2014. 49(2): 139-142 p.
14. Levin, I. et Heshaimer, V., *A unique tracer of global carbon cycle dynamics*. Radiocarbon, 2000. 42(1): 69-80 p.
15. Roussel-Debet, S., Gontier, G., Siclet, F., et Fournier, M., *Distribution of Carbon 14 in the terrestrial environment close to French nuclear power plants*. Journal of Environmental Radioactivity, 2006. 87(3): 246-259 p.
16. IRSN, *Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de juin 2011 à décembre 2014*. 2015, IRSN. 252 p.
17. Livret de la collection Thématique de l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire, *Tchernobyl, 25 ans après*. 2011, Livret de la collection Thématique de l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire. 43 p.
18. Renaud, P., Champion, D., et Brenot, J., *Les retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl sur le territoire français. Conséquences environnementales et exposition des personnes*. 2007, Paris: Éditions Tec & Doc. Collection Sciences et techniques. Lavoisier.
19. IRSN, *Analyse de l'impact de l'accident de Fukushima en France (métropole et DROM-COM) à partir des résultats de la surveillance renforcée de la radioactivité de l'environnement*. 2011, IRSN. Rapport DEI/2011-01, 90 p.
20. IRSN. *Expertise de l'IRSN en matière de rejets hospitaliers de médecine nucléaire*. [cited 2018; Accessible à l'adresse: http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Communiqués_et_dossiers_de_presse/Pages/expertise_IRSN_en_matière_de_rejets_hospitaliers_médecine_nucléaire.
21. CEA, *Traçage du site de Nogent-sur-Seine*. 1977, CEA. DP/SERE, 20 p.
22. Vray, F., Debayle, C., et Louvat, D., *Long-term flux of Chernobyl-derived 137Cs from soil to French rivers : a study on sediment and biological indicators*. Journal of Environmental Radioactivity. 2003. 68: 93-114. p.
23. Bruslé, J. et Quignard, J.P., *Biologie des poissons d'eau douce européens*. Tec & Doc ed. Aquaculture - Pisciculture, ed. J. Arrignon 2001. 625.
24. IRSN, *Synthèse du suivi radiologique 2013 des 19 centres nucléaires de production d'électricité en exploitation*. 2014, IRSN. 132 p p.
25. Blandin, P., *Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques*. Bulletin d'écologie, 1986. 17(4) p.
26. IAEA, *Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment* 2004, IAEA. p.
27. Stuiver, M. et Polach, A., *Discussion reporting og 14C data*. Radiocarbon, 1977. 19(3): 355-363 p.
28. Laboratoire national Henri Becquerel, *Arrondissement des résultats de mesure - Nombre de chiffres significatifs*. 2004, Laboratoire national Henri Becquerel. Note technique LNHB/04-13, 8 p.
29. IRSN, *Radionucléides naturels en France*. 2007, IRSN. Rapport DEI/SESURE n°2007-21, 45 p.
30. Renaud, P. et Louvat, D., *Magnitude of fission product depositions from atmospheric nuclear weapon test fallout in France*. Health Physics, 2004. 86(4): 6 p.

31. IAEA, *Monitoring isotopes in rivers : creation of the global network of isotopes in rivers (GNIR)*. 2012, IAEA. IAEA-TECDOC-1673, 258 p.
32. Rank, D., Papesch, W., Heiss, G., et Tesch, R., *Isotopic composition of river water in the danube basin -results from the joint danube survey 2 (2007)*. Austrian Journal of Earth Sciences, 2009. 102(2): 170-180 p.
33. Bailly du Bois, P. et Dumas, F., *Fast hydrodynamic model for medium- and long-term dispersion in seawater in the English Channel and southern North Sea, qualitative and quantitative validation by radionuclide tracers*. Ocean Modelling, 2005. 9(2): 169-210 p.
34. IRSN, *Synthèse du suivi radioécologique 2013 des 19 centres nucléaires de production d'électricité en exploitation*. 2014, IRSN. 132 p.
35. Douville, E., Fiévet, B., Germain, P., et Fournier, M., *Radiocarbon behaviour in seawater and the brown algae *Fucus serratus* in the vicinity of the COGEMA La Hague spent fuel reprocessing plant (Goury) - France*. Journal of Environmental Radioactivity, 2004. 77(3): 355-368 p.
36. Fiévet, B., Voiseux, C., Rozet, M., Masson, M., et Bailly du Bois, P., *Transfer of radiocarbon liquid releases from the AREVA La Hague spent fuel reprocessing plant in the English Channel*. Journal of Environmental Radioactivity, 2006. 90(3): 173-196 p.

6. ANNEXES

Comme pour toute expertise radioécologique de site reposant sur des résultats de mesures, le choix et la mise en place de la stratégie d'échantillonnage sont primordiaux. Il est nécessaire de choisir des lieux de prélèvement et des matrices capables de rendre compte d'un éventuel marquage de l'environnement par les radionucléides émis lors des rejets d'effluents liquides ou atmosphériques des installations étudiées.

Les bryophytes, les phanérogames aquatiques ou les algues sont utilisés comme indicateur des activités présentes dans les vecteurs de diffusion des rejets (air et eau). Les sols et sédiments sont des matrices d'accumulation des radionucléides. Pour répondre à des besoins de radioprotection, des produits végétaux (légumes-feuilles essentiellement) ou animaux consommables localement (poissons, mollusques, crustacés, lait de vache ou de chèvre) font l'objet d'une surveillance. Les eaux destinées à l'irrigation ou à la consommation sont également intégrées aux plans d'échantillonnage. Afin de rendre les études autour des CNPE français homogènes et d'établir si besoin des comparaisons, les plans d'échantillonnage sont établis de manière standardisée et, autant que possible, reproduits d'un site à l'autre. La Figure 13 page 72 présente de manière schématique le plan d'échantillonnage avec notamment le type de matrices prélevées. Des prélèvements supplémentaires ou des prélèvements de matrices différentes peuvent être réalisés, en particulier dans le cadre des prescriptions techniques formulées par l'A.S.N., en matière de surveillance de l'environnement. La stratégie d'échantillonnages et d'analyses, fournie par EDF, est mise à jour annuellement par EDF en fonction du retour d'expérience et de l'évolution de la réglementation.

La localisation des prélèvements est définie en fonction du contexte géographique et environnemental de chaque site. Les prélèvements dans l'environnement terrestre sont répartis en fonction de la direction des vents, en distinguant notamment les zones potentiellement influencées par les rejets d'effluents atmosphériques des zones hors vents dominants. Dans l'environnement aquatique continental, on distingue les prélèvements effectués en amont ou en aval des points de rejets des effluents liquides des CNPE, en tenant compte de la présence possible d'une autre installation en amont sur le fleuve. Bien que souvent complexes à définir, les conditions hydrodynamiques locales sont également des facteurs importants à prendre en considération lors des choix des lieux de prélèvements en milieu marin.

La mesure gamma permet de quantifier les activités d'un large spectre de radionucléides naturels et artificiels. C'est la raison pour laquelle elle a été retenue lors des premiers suivis radioécologiques annuels. Une recherche spécifique de l'¹³¹I par spectrométrie gamma a été entreprise depuis 1997 sur quelques végétaux terrestres et aquatiques. Outre les mesures des niveaux d'activités des radionucléides émetteurs gamma, les activités en tritium libre (HTO) ont été quantifiées annuellement depuis l'année 2000. L'amélioration des limites de détection et des capacités métrologiques font que, depuis 2009, la quantification des activités en tritium organiquement lié (TOL) et carbone-14 (¹⁴C) est introduite dans la stratégie d'étude.

Toutes les informations concernant l'identification, la localisation, puis les traitements et les mesures effectués sur les échantillons prélevés, sont enregistrées dans la base de données exploitée par l'IRSN. La traçabilité et la qualité des différentes opérations sont ainsi garanties et vérifiables. De plus, cela permet l'archivage et l'exploitation de séries chronologiques ou spatiales de données. Leur exhaustivité et leur homogénéité depuis 1991 permet leur utilisation à tout moment pour une expertise ou une étude particulière. Les étapes détaillées suivies par un échantillon depuis le prélèvement jusqu'à la mesure sont décrites dans « l'appendice méthodologique ».

L'exploitation des résultats repose sur la connaissance nécessaire des différentes sources de radioactivité gamma, tritium et ^{14}C dans l'environnement.

Sur le territoire français métropolitain, des radionucléides d'origine naturelle tellurique (^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th et leurs descendants) ou cosmogénique (^3H , ^7Be et ^{14}C) ainsi que des radionucléides d'origine artificielle (^{137}Cs) sont présents dans l'environnement terrestre. Les activités en radionucléides naturellement présents (^3H , ^{14}C) peuvent être augmentées par les rejets d'effluents de l'industrie nucléaire ou les activités militaires. Les dépôts globaux de ces radionucléides (^3H , ^{14}C et ^{137}Cs) sont liés aux retombées atmosphériques des essais aériens d'armes nucléaires pratiqués entre 1945 et 1980, et, pour le ^{137}Cs , au passage en mai 1986 du panache radioactif consécutif à l'accident de Tchernobyl. Les retombées de l'accident de Fukushima Daiichi ont été décelées ponctuellement et à l'état de trace, en France, essentiellement en 2011 et jusqu'en 2013.

Localement, les rejets d'effluents effectués par les installations peuvent conduire à un marquage de certains compartiments de l'environnement en radionucléides artificiels. Les radionucléides émetteurs gamma présents dans les effluents radioactifs peuvent être des produits d'activation neutronique ou des produits de fission. Dans les CNPE, ^{14}C , ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et ^{124}Sb sont par exemple générés par l'activation des matériaux de structure des installations ; ^{134}Cs , ^{137}Cs , et ^{131}I , sont des produits de fission. Le ^3H provient principalement de l'activation neutronique du bore contenu dans le circuit primaire. Il est cependant important de tenir compte des possibles influences liées aux rejets de ces mêmes radionucléides par d'autres installations. Cela concerne par exemple les rejets d'effluents liquides des centres hospitaliers (rejets de ^{131}I). L'industrie horlogère en France et en Suisse a utilisé du tritium jusque dans les années 1990. Les résidus sont encore présents dans le Rhône et le Rhin aujourd'hui. Des centres d'études ou de recherche (C.E.A., instituts, CERN, etc.) contribuent au marquage des écosystèmes aquatiques. Par exemple, les eaux du Rhin, au niveau du CNPE de Fessenheim, peuvent apporter des radionucléides rejetés par les sites nucléaires suisses situés en amont. Les rejets des installations d'ORANO La Hague en Manche sont en partie responsables d'un marquage de l'environnement marin à proximité des CNPE de Flamanville, Paluel, Penly et Gravelines. Les rejets atmosphériques des installations d'ORANO à Marcoule contribuent au marquage de la partie sud de la zone d'étude autour du Tricastin.

L'identification de radionucléides « traceurs » des rejets des différentes installations permet de rechercher les contributions des différentes sources de rejet au marquage de l'environnement. Les produits d'activation hormis les ^3H et ^{14}C (^{54}Mn , ^{57}Co , ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$) sont caractéristiques de rejets issus d'activité nucléaire. Leur présence dans les matrices de l'environnement traduit donc un marquage par des rejets d'effluents locaux. Pour déterminer les marquages éventuels en ^3H et ^{14}C , il est indispensable d'avoir une référence hors influence.

L'ensemble des techniques utilisées est décrit dans les documents de l'Assurance de la Qualité de l'IRSN. Les principales d'entre elles sont résumées ci-après. Elles s'appuient sur les normes en vigueur, en particulier les documents des séries NF M60-780-XX « Mesure de la radioactivité dans l'environnement - Bioindicateurs » et NF V03-009-XX « Produits alimentaires - Mesure de la radioactivité dans les denrées alimentaires ».

En début de ce chapitre, il paraît nécessaire de donner la définition du terme de bio-indicateur. Blandin [25] donnait du bio-indicateur la définition suivante : « Un indicateur biologique (ou bio-indicateur) est un organisme ou un ensemble d'organismes qui - par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques - permet, de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un écosystème et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées ».

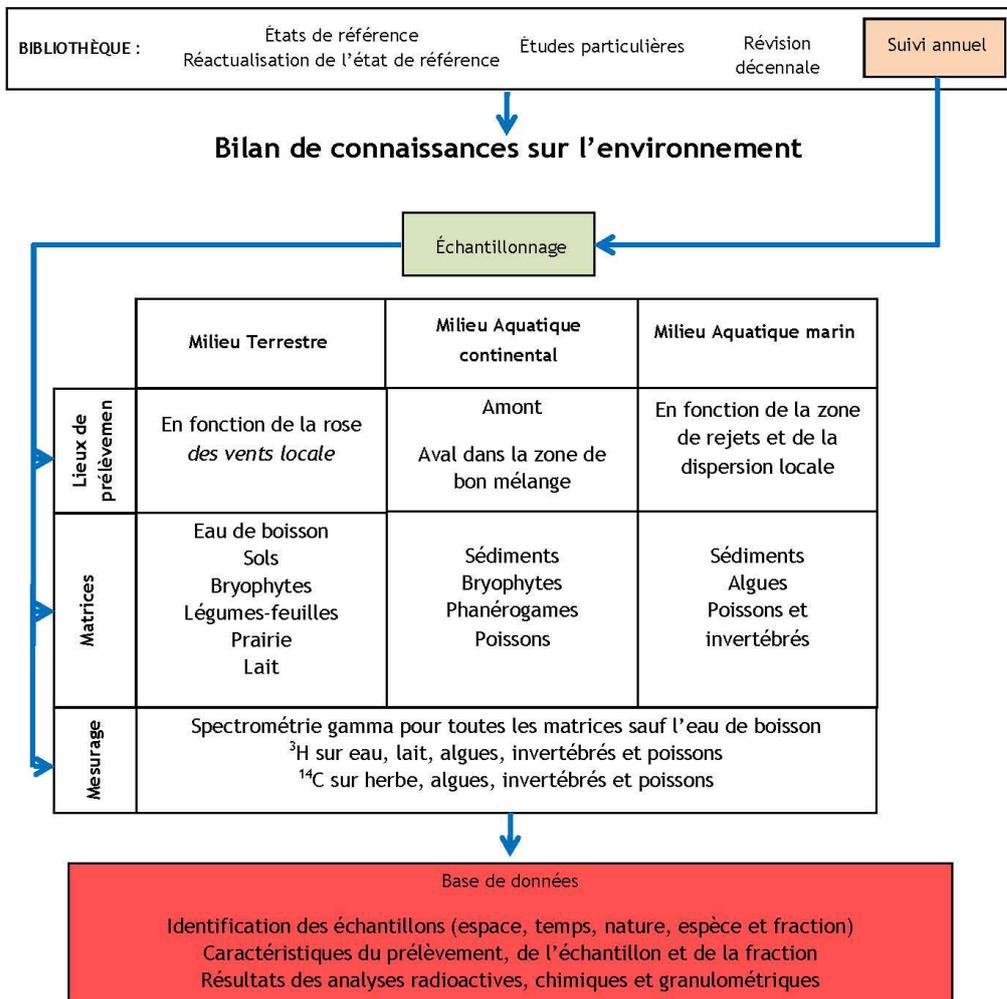


Figure 13- Démarche utilisée pour la réalisation du suivi radioécologique annuel de chaque site.

6.1. Choix des stations de prélèvements

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

6.2. Choix des matrices prélevées

Comme indiqué dans le cahier des charges, « EDF a défini une stratégie de surveillance basée sur la complémentarité des mesures réglementaires et des études radioécologiques d'expertise. Cette stratégie se traduit par un plan de prélèvements et d'analyses tenant compte de nombreux paramètres de façon à obtenir des résultats aussi représentatifs que possible du milieu étudié. Cette représentativité porte sur :

- les échantillons prélevés, dont la représentativité dépend notamment du radionucléide recherché, de la disponibilité dans l'environnement de la matrice échantillonnée, de la fréquence de prélèvement, de la zone de prélèvement, des méthodes de prélèvement et de conservation de l'échantillon...
- les mesures réalisées, dont la représentativité dépend des traitements subis par l'échantillon, du protocole et des contraintes analytiques, de l'appareillage utilisé...

Le choix du type de matrices échantillonnées (bioindicateurs, compartiments d'accumulation, produits de consommation, vecteurs de la radioactivité...) et de la fréquence d'échantillonnage impose des zones de prélèvements dans lesquelles une matrice de ce type est présente et disponible en quantités suffisantes pour supporter la périodicité des prélèvements. Ce critère de disponibilité conditionne le choix d'une espèce en particulier, à laquelle des critères spécifiques en termes d'échantillonnage peuvent être associés, notamment des critères relatifs à la zone de prélèvement (ex. zone dégagée de tout obstacle).

Qu'il s'agisse du milieu terrestre ou des milieux aquatiques (dulçaquicoles ou marins), le choix des points de prélèvement est basé sur une prise d'échantillon double permettant de collecter une matrice, sous et hors influence potentielle des rejets d'effluents atmosphériques ou liquides de chaque installation, et ainsi disposer de valeurs permettant de mettre en évidence et de quantifier une éventuelle influence des rejets des installations. Les études de dispersion et de dilution dans le milieu des rejets d'effluents atmosphériques et liquides permettent d'identifier les zones sous influence potentielle et hors influence des rejets des sites.

Le choix d'une zone de prélèvement pour chaque matrice correspond donc au meilleur compromis possible permettant de répondre au mieux à l'ensemble de ces critères génériques et spécifiques. Une fois la zone de prélèvement déterminée, le choix des points de prélèvement doit tenir compte des aspects liés à la sécurité : les points retenus doivent être aisément accessibles et permettre les prélèvements en toute sécurité.

De plus, le choix des stations de prélèvements est effectué sur la base du retour d'expérience acquis dans le cadre de la surveillance radioécologique des sites et dans l'objectif de pouvoir comparer les résultats obtenus sur le long terme. Ainsi, dans la mesure du possible, les prélèvements seront réalisés aux mêmes points de prélèvements et aux mêmes périodes d'une année sur l'autre de manière à assurer une continuité géographique et temporelle. »

6.2.1. Domaine terrestre

6.2.1.1. *Eaux*

Les prélèvements sont réalisés préférentiellement dans les réseaux de distribution d'eau potable, sinon dans le réseau de distribution d'eau d'irrigation. Les radionucléides sont recherchés dans la phase dissoute.

6.2.1.2. *Les bryophytes*

Les bryophytes terrestres constituent d'excellents indicateurs des apports atmosphériques. En effet, ne disposant pas de racines, leur principale voie d'absorption est aérienne. Des processus actifs de conduction d'eau par capillarité et d'échanges d'ions par voie extracellulaire permettent aux mousses de piéger les éléments nécessaires à leur croissance. En plus de ce mode d'intégration actif, les phénomènes passifs d'accumulation des poussières atmosphériques par piégeage mécanique contribuent à concentrer la radioactivité du fait d'un important rapport surface/volume. Leur cycle de vie pluriannuel en fait un indicateur pertinent pour l'observation des apports atmosphériques à long terme.

6.2.1.3. *Les sols*

Les sols non cultivés sont des intégrateurs pluriannuels des retombées atmosphériques. N'ayant pas subi de labourage récent, les radionucléides déposés à leur surface ne sont pas dilués dans la couche de labour.

6.2.1.4. *L'herbe*

Les prairies naturelles, non cultivées, sont privilégiées afin de rendre compte des transferts de radionucléides à partir d'un sol non remanié depuis plusieurs décennies. La mesure dans l'herbe permet d'évaluer l'activité des radionucléides déposés par voie atmosphérique au cours du cycle végétatif de la prairie échantillonnée (quelques mois) et ceux incorporés par voie racinaire.

6.2.1.5. *Les végétaux cultivés*

Les prairies naturelles, non cultivées, sont privilégiées afin de rendre compte des transferts de radionucléides à partir d'un sol non remanié depuis plusieurs décennies. La mesure dans l'herbe permet d'évaluer l'activité des radionucléides déposés par voie atmosphérique au cours du cycle végétatif de la prairie échantillonnée (quelques mois) et ceux incorporés par voie racinaire.

6.2.1.6. *Le lait*

Les mesures dans le lait permettent de disposer d'échantillons intéressants en matière de radioprotection. La mesure du lait est pertinente pour rendre compte d'un éventuel marquage par les retombées atmosphériques, même très faibles, du fait des grandes surfaces d'herbe consommées pour produire ce lait. En effet la surface d'herbe consommée par une vache pour produire 1 litre de lait est nettement supérieure à la surface d'un prélèvement d'herbe.

6.2.2. Domaine aquatique continental

6.2.2.1. *Les sédiments*

Les sédiments de surface intègrent les dernières phases de dépôt du système aquatique et les résultats de mesures sont donc représentatifs des activités rejetées au cours des derniers mois. D'une manière générale, plus les particules sont fines plus elles développent, à masse identique, une surface d'échange importante susceptible de retenir des

radionucléides tels que les produits de fission ou d'activation. Les zones de sédimentation des particules fines sont privilégiées, dans la mesure du possible, afin d'optimiser la détection des radionucléides. Les analyses portent sur la fraction inférieure à 2 mm.

6.2.2.2. Mousses

A l'instar des mousses du milieu terrestre, les mousses du milieu aquatique sont particulièrement pertinentes pour rendre compte d'un marquage du fait de leur grande surface d'échange avec leur compartiment ambiant. Les activités mesurées dans ces végétaux résultent des radionucléides essentiellement présents dans la phase particulaire, car leur morphologie favorise le piégeage des particules en suspension dans l'eau. Ces plantes n'ayant pas de racines sensu stricto, elles sont prélevées et analysées entières.

6.2.2.3. Phanérogames

Les phanérogames sont bien représentées sur l'ensemble du territoire français métropolitain. Les espèces immergées sont préférées aux espèces semi-aquatiques pour rendre compte des activités en radionucléides présents sous forme dissoute. Les résultats de mesure dans ces matrices sont représentatifs des niveaux d'activité dans l'eau au cours des quelques semaines précédant le prélèvement. Pour diminuer l'apport de radionucléides par le substrat, les tiges sont coupées au-dessus des racines. Un lavage soigneux permet de diminuer la quantité de matière en suspension retenue à la surface des végétaux.

6.2.2.4. Les poissons, mollusques et crustacés

Seule la partie consommée est analysée dans la majeure partie des cas. Cette fraction est en outre représentative des radionucléides assimilés.

6.1. Choix des fréquences d'analyses

La fréquence des analyses suit les demandes EDF exprimées dans le cahier des charges du marché. Dans le rapport du suivi radioécologique annuel sont exploités les résultats d'analyses sur les prélèvements collectés annuellement et spécifiquement pour le suivi radioécologique annuel. En complément, sont intégrés des résultats d'analyses acquis par l'IRSN pour EDF dans le cadre de la réglementation. Il s'agit en particulier des analyses de ^{14}C sur les végétaux collectés trimestriellement sous les vents des CNPE.

6.2. Choix des analyses

Les analyses réalisées suivent les demandes EDF exprimées dans le cahier des charges du marché. Elles portent sur les radionucléides les plus rejetés par les CNPE (tritium et ^{14}C), sur des produits d'activation ou de fission dont la présence peut être caractéristique des rejets d'effluents liquides ou atmosphériques (émetteurs gamma comme les ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{131}I , ^{134}Cs ou ^{137}Cs) et sur des radionucléides, rejetés par les installations, mais dont les niveaux et ou le comportement dans l'environnement sont mal connus (^{63}Ni et ^{59}Fe).

6.3. Méthode de prélèvements sur le terrain

6.3.1. Domaine terrestre

6.3.1.1. *Eaux (eau de boisson, eau de nappe)*

La réalisation d'une spectrométrie gamma nécessite la collecte de 90 litres d'eau, stockés en bidons plastiques référencés, et acidifiés à l'acide nitrique molaire à raison de 1 mL par litre. Cette acidification est destinée à éviter le développement des micro-algues et à limiter la fixation de radionucléides sur les parois des récipients. La mesure du tritium nécessite la collecte de 80 mL d'eau filtrée à 0,22 µm puis répartie dans deux flacons en verre fermés hermétiquement. Tous les prélèvements d'eau de boisson sont réalisés après avoir fait couler de l'eau durant plusieurs minutes afin de purger la canalisation. Les eaux de nappe sont prélevées à l'aide de pompes pour piézomètres. Ces échantillons sont conservés au frais jusqu'à leur envoi au service de métrologie.

6.3.1.2. *Sols*

Les sols non caillouteux sont prélevés avec une tarière racinaire de 8 cm de diamètre.

Pour les sols cultivés, le prélèvement est effectué sur une profondeur de 20 cm. Dans le cas des sols non cultivés, le prélèvement est réalisé dans l'horizon superficiel entre 0 et 5 cm ; dans le cas des bilans radioécologiques décennaux, trois prélèvements sont effectués entre 0-5 cm, 5-15 cm et 15-30 cm.

Plusieurs points de prélèvement proches les uns des autres sont réalisés afin d'obtenir un échantillon de 2 à 3 kg qui est placé dans un sachet plastique, préalablement référencé.

6.3.1.3. *Végétaux*

La quantité de végétal (ou de fraction de végétal) à prélever est déterminée en fonction du rapport de poids frais / poids sec de l'échantillon (estimé a priori) et de la quantité nécessaire pour faire la mesure. L'échantillon est récolté à la main ou à l'aide d'outils tranchants, puis placé dans un sac plastique préalablement référencé et immédiatement fermé. Si l'échantillon doit être soumis à un mesurage du ¹⁴C, il est immédiatement mis au frais.

6.3.1.4. *Lait*

Le lait est prélevé directement à la ferme, chez le producteur. Les 6 à 18 litres nécessaires pour la réalisation d'une spectrométrie gamma, sont stockés dans des flacons référencés. Pour le mesurage du ³H libre, lié et ¹⁴C 1 à 2 litre est conservé au frais.

6.3.2. Domaine aquatique continental

6.3.2.1. *Sédiments*

Le sédiment est prélevé de préférence à la pelle, sinon au cône de Berthois, puis déposé dans un récipient plastique à usage unique, fermeture hermétique et référencé. De retour au laboratoire, ces boîtes sont conservées en chambre froide à 4°C en attente du traitement.

6.3.2.2. Végétaux

Les végétaux aquatiques sont prélevés, à raison d'environ 1 kg frais par espèce, à partir de la berge, à la main ou à l'aide de gaffes ou de grappins. Lavés dans le cours d'eau, ils sont ensuite disposés par espèce dans des bacs aérés afin d'éviter tout pourrissement, et traités dès leur arrivée au laboratoire.

6.3.2.3. Poissons

Les pêches sont réalisées au moyen de filets de type monofilament en nylon, de mailles de 10 à 70 mm. Ils sont installés au-dessus de zones profondes. Fixés en un point, ils sont disposés passivement dans le courant. Cette technique est efficace pour assurer la capture d'individus effectuant des migrations transversales et pour s'assurer de l'obtention d'un lot de poissons de taille homogène. Ces pêches sont réalisées de façon diurne avec une pose n'excédant pas 3 heures.

Une quantité d'environ 12 kg frais par espèce est nécessaire. Les individus capturés sont identifiés, pesés et mesurés sur le terrain. Après éviscération, ces échantillons sont conditionnés en sacs plastiques référencés et conservés à basse température (<4°C) jusqu'à leur arrivée au laboratoire où une dissection permet de séparer les filets du reste du corps (environ 6 kg de chair).

6.4. Préparation et conditionnement des échantillons

6.4.1. Domaine terrestre

6.4.1.1. Eau de boisson

6.4.1.1.1. Mesurage des émetteurs gamma

Pour le mesurage des émetteurs gamma, chaque échantillon de 90 litres environ est ramené à un volume de 500 mL par évaporation à 70 °C. L'échantillon concentré est transvasé dans un conteneur pour échantillons liquides (SG500), équivalent de la géométrie 380 mL. Il est alors expédié au laboratoire de métrologie de l'IRSN.

6.4.1.1.2. Mesurage du tritium

La préparation pour le mesurage du ³H se fait sur le terrain par filtration sur filtre plan de porosité 0,22 µm de deux échantillons de 40 ml, puis expédiés au laboratoire de métrologie dans des sachets aluminés sous vide.

6.4.1.2. Sols

Après émiettement et quartage, 300 g environ sont séchés à l'étuve à une température inférieure à 40 °C, placés dans un sachet, référencés et expédiés, pour l'analyse granulométrique et la détermination de la teneur en matière organique, à la Société du Canal de Provence ou à l'INRA d'Arras. En ce qui concerne les analyses par spectrométrie gamma, 1,5 kg d'échantillon est séchée et tamisée à 2 mm. 350 à 500 g de la fraction de terre fine (< 2 mm) ainsi séparés sont broyés puis conditionnés dans une boîte cylindrique en matière plastique (géométrie solide 380 mL), dont les dimensions sont spécifiques aux comptages en spectrométrie γ. Référencée, cette boîte est expédiée au laboratoire de métrologie de l'IRSN.

6.4.1.3. Végétaux

6.4.1.3.1. Mesurage des émetteurs gamma

De retour au laboratoire, les échantillons sont immédiatement nettoyés et pesés frais. Ils sont ensuite placés en étuve à moins de 105 °C jusqu'à dessiccation complète (24 à 48 h). Le poids sec de l'échantillon est noté, puis le résidu sec est mis au four. La montée en température s'effectue par paliers successifs afin d'éviter l'inflammation des échantillons (Figure 14 page 78). À la sortie du four, les cendres sont pesées puis broyées jusqu'à obtention d'une poudre, afin de concentrer le maximum de matière dans le minimum de volume. Le conditionnement est réalisé dans des boîtes en matière plastique (géométries) de 17 mL ou de 60 mL, référencées. Le poids du contenu est noté puis la géométrie est expédiée au service de métrologie de l'IRSN afin d'effectuer une spectrométrie γ . Le rapport poids frais / poids sec est déterminé sur chaque aliquote de façon à exprimer l'ensemble des résultats dans la même unité (Bq.kg⁻¹ sec).

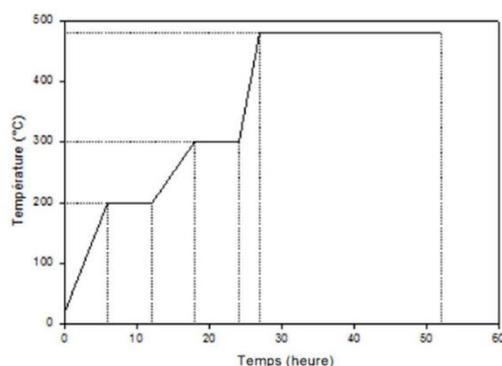


Figure 14 - Chronique d'une incinération : montée en température et paliers en fonction du temps.

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

6.4.1.3.2. Mesurage du tritium et du ¹⁴C

L'aliquote mise au frais sur le terrain est immédiatement lyophilisée ou à défaut entreposée au congélateur. Le rapport de poids est calculé et noté, pour s'assurer de la qualité du traitement. Le conditionnement de la matière sèche est réalisé dans des sachets aluminisés sous vide. Le poids du contenu est noté puis la boîte référencée est expédiée au service de métrologie. L'eau de lyophilisation est filtrée sur filtre plan à 0,22 µm puis 40 mL sont conditionnés dans un flacon en verre brun et expédiés au service de métrologie dans des sachets aluminés sous vide.

6.4.1.4. Lait

6.4.1.4.1. Mesurage des émetteurs gamma

De retour au laboratoire, 6 à 18 litres de lait sont évaporés dans une étuve à moins de 105 °C. Le résidu sec est ensuite incinéré selon le protocole cité précédemment. À la sortie du four, les cendres sont pesées puis broyées jusqu'à obtention d'une poudre. Le conditionnement est réalisé dans des boîtes en plastique (géométries) de 17 mL ou de 60 mL. Le poids du contenu est noté puis la boîte référencée est expédiée au service de métrologie afin d'effectuer une spectrométrie γ .

6.4.1.4.2. Mesurage du tritium et du ¹⁴C

Un litre de lait est lyophilisé de manière à extraire l'eau contenue dans l'échantillon. L'extrait sec est destiné à mesurer le tritium organiquement lié et du ¹⁴C. Le conditionnement de la matière sèche est réalisé dans des sachets aluminisés sous vide. Le poids du contenu est noté puis la boîte référencée est expédiée au service de métrologie. L'eau de lyophilisation est filtrée sur filtre plan à 0,22 µm puis 40 mL sont conditionnés dans un flacon en verre brun et expédiés au service de métrologie dans des sachets aluminisés sous vide.

6.4.2. Domaine aquatique continental

6.4.2.1. Sédiments

Les sédiments sont séchés à moins de 105 °C, émottés à la main et tamisés à 2 mm. La fraction supérieure à 2 mm est écartée. Une fraction de 200 g, séchée à moins de 40 °C, est réservée pour la granulométrie et la détermination de la teneur en matière organique. Une géométrie de comptage de 380 mL est remplie pour effectuer une spectrométrie γ.

6.4.2.2. Végétaux

6.4.2.2.1. Mesurage des émetteurs gamma

Après égouttage, le poids frais des végétaux (ou de leur fraction) est noté à titre indicatif. Ces échantillons sont ensuite séchés à 105 °C jusqu'à poids constant. Les produits secs sont pesés, puis incinérés selon un cycle de 52 h jusqu'à 480 °C (Figure 14 page 78). Les cendres sont pesées et broyées. En fonction du volume de matières préparé, un conteneur 380 mL (sec) ou 17 mL (cendres) est utilisé pour un comptage en spectrométrie γ. Référencée, cette boîte est expédiée au laboratoire de métrologie de l'IRSN.

Le protocole de préparation et de mesurage de l'¹³¹I pour les végétaux terrestres est appliqué, ce type d'analyse étant effectué de préférence sur 2 bryophytes aquatiques ou par défaut, sur 2 phanérogames immergées (un échantillon amont et un aval).

6.4.2.2.2. Mesurage du tritium et du ¹⁴C

L'aliquote mise au frais sur le terrain est immédiatement lyophilisée ou à défaut entreposée au congélateur. Le rapport de poids est calculé et noté, pour s'assurer de la qualité du traitement. Le conditionnement de la matière sèche est réalisé dans des sachets aluminisés sous vide. Le poids du contenu est noté puis la boîte référencée est expédiée au service de métrologie.

6.4.2.3. Poissons

6.4.2.3.1. Mesurage des émetteurs gamma

La biométrie ayant été réalisée sur le terrain, sur des individus entiers, non éviscérés, les lots de poissons constitués sont disséqués de manière à isoler les filets, susceptibles d'être consommés par l'homme. Comme pour les végétaux, ils sont séchés à poids constant, pesés secs et incinérés. Leurs cendres sont broyées et disposées dans des boîtes de 17 ou 60 mL pour la spectrométrie γ. Référencée, cette boîte est expédiée au service de métrologie de l'IRSN.

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

Une aliquote est lyophilisée de manière à extraire l'eau contenue dans l'échantillon. L'extrait sec est destiné à mesurer le tritium organiquement lié et/ou le ^{14}C . Le conditionnement de la matière sèche est réalisé dans des sachets aluminisés sous vide. Le poids du contenu est noté puis la boîte référencée est expédiée au laboratoire de métrologie. L'eau de lyophilisation est filtrée sur filtre plan à 0,22 μm puis 40 mL sont conditionnés dans un flacon en verre brun et expédiés au service de métrologie dans des sachets aluminisés sous vide.

6.5. Techniques d'analyses

6.5.1. Détermination de la teneur en matière organique et de la granulométrie des sols et des sédiments

Ces analyses sont réalisées par le Laboratoire d'Analyses des Eaux de la Société du Canal de Provence ou par le laboratoire d'analyse des sols de l'INRA d'Arras.

6.5.1.1. Teneur en matière organique

La matière organique des sédiments et des sols est dosée par calcination. Les échantillons, préalablement séchés à 105 ± 2 °C jusqu'à poids constant, sont calcinés dans un four à moufle porté progressivement jusqu'à une température de 480 °C. La perte de masse permet de connaître directement le pourcentage de matière organique.

6.5.1.2. Granulométrie

La technique d'analyse granulométrique consiste tout d'abord en une attaque de la matière organique par l'eau oxygénée à 20 volumes, qui permet d'éliminer ce liant des particules. Une agitation mécanique dans l'hexamétaphosphate de sodium va disperser les particules dans un flacon à sédimentation.

La séparation des argiles, limons fins et grossiers est réalisée au moyen de prélèvements de 20 ml de cette suspension, en se basant sur la loi de Stokes qui régit la sédimentation des particules dans un liquide à température constante. Des abaques permettent en effet de connaître la profondeur de sédimentation de chacune de ces fractions en un temps donné. Les aliquotes prélevées sont déposées dans des capsules et desséchées à 103 ± 2 °C jusqu'à poids constant.

Le fractionnement des sables se fait par la superposition de tamis de 200 μm et de 50 μm . Le sédiment est tamisé sous un jet d'eau pour éliminer les particules de diamètre inférieur à 50 μm .

6.5.2. Identification des espèces vivantes

Une fraction des échantillons de mousses prélevées est mise à sécher à l'air libre. Leur identification est réalisée selon le besoin. Notamment, les mousses aquatiques qui peuvent être identifiées par le Laboratoire AgroCampus Ouest de Rennes.

Les phanérogames terrestres, aquatiques et semi-aquatiques sont identifiées par nos soins.

La détermination des espèces de poissons est effectuée après capture, lors des mesures de biométrie, par un pêcheur professionnel.

6.5.3. Mesure du tritium libre

La mesure du tritium libre est réalisée par le service de métrologie de l'IRSN Orsay (Essonne).

Il est entendu par « tritium libre » le tritium de la molécule d'eau ou pouvant être recouvré sous forme d'eau par déshydratation d'un échantillon solide (eau interstitielle, eau tissulaire).

Les échantillons d'eau, excepté les eaux de lyophilisation, sont distillés à sec. Les échantillons solides frais sont lyophilisés à froid sous vide, permettant de séparer la fraction eau et la fraction sèche. Dans le cas des produits alcoolisés, une distillation partielle est effectuée sur la fraction liquide recueillie pour isoler l'eau de l'alcool.

6.5.4. Mesure du tritium organiquement lié

Deux méthodes sont utilisées, par scintillation ou par spectrométrie de masse. La mesure par spectrométrie de masse est privilégiée pour les échantillons à faible teneur en matière organique, notamment les sols et sédiments.

Par scintillation, l'échantillon déshydraté subit une combustion en flux d'oxygène et d'argon. Le système de combustion est constitué d'un tube de quartz glissé dans deux fours annulaires. Le premier four est réglable en température, de la température ambiante à 1000°C. Le second four est réglé à une température de 1000 °C. Les vapeurs d'eau de combustion sont récupérées en sortie de four par un piège froid. L'eau de combustion recueillie est distillée à sec.

Le tritium organiquement lié peut être également déterminé en mesurant par spectrométrie de masse, la quantité d'hélium 3 (^3He), descendant du tritium. L'échantillon est lyophilisé, puis conditionné dans un conteneur, garantissant une étanchéité totale. L'isolement est maintenu le temps nécessaire à la formation de la quantité d' ^3He nécessaire. Ce délai varie généralement entre 3 et 6 mois et dépend de la masse d'échantillon introduite, des performances du spectromètre de masse, de la quantité de tritium attendue et de l'incertitude souhaitée. A l'issue de la période de stockage, le conteneur est monté sur la ligne d'introduction du spectromètre de masse pour la mesure de l'hélium. L'activité en tritium est déterminée par calcul de décroissance.

Les mesures sont effectuées sur un spectromètre VG-3000 de chez Micromass.

6.5.5. Mesure du ^{14}C

Deux méthodes sont utilisées, par scintillation ou par spectrométrie de masse. La mesure par accélérateur est privilégiée sur les échantillons présentant un faible taux de matière organique, les sols et les sédiments notamment.

Avant la mesure par scintillation, le carbone des échantillons est oxydé en dioxyde de carbone dans une bombe à combustion. Le dioxyde de carbone est ensuite transformé en carbure de lithium, qui, par hydrolyse, donne de l'acétylène. Ce dernier est trimérisé en benzène. La multiplication par le rapport 78/72 de l'activité mesurée en benzène par scintillation permet d'exprimer l'activité en Bq.kg^{-1} de carbone.

Avant la mesure par spectrométrie, les sédiments et les sols à traiter sont totalement décarbonatés durant plusieurs jours dans de l'acide dilué, puis rincés à l'eau ultrapure jusqu'à un pH neutre. Les échantillons sont brûlés pendant 4 heures à 900 °C. La quantité de carbone contenu dans le gaz est mesurée. Le CO_2 obtenu est ensuite réduit par H_2 en présence de poudre de fer à 575°C. Le carbone se dépose sur la poudre de fer et le mélange est pressé dans une cible afin d'être mesuré.

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

La mesure des rapports isotopiques $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ et du carbone total s'effectuent sur un couplage d'un analyseur élémentaire relié à un spectromètre de masse isotopique par combustion totale du prélèvement analytique à 1050°C sous courant d'un mélange d'oxygène et d'hélium. Le carbone des échantillons est transformé en CO_2 et quantifié par des détecteurs spécifiques infrarouge CO_2 . Ces analyses sont réalisées par l'Institut des Science Analytique (CNRS) de Villeurbanne.

6.5.6. Spectrométrie γ

L'essentiel des mesures par spectrométrie γ est réalisé par le service de métrologie de l'IRSN accrédité COFRAC pour les matrices exploitées dans cette étude. La mesure de ^{131}I des échantillons collectés en Manche et mer du Nord sont mesurés au laboratoire d'Octeville de l'IRSN.

L'IRSN dispose d'installations de mesure spécifiques lui permettant de détecter et de quantifier les radionucléides naturels ou artificiels émetteurs γ dans des échantillons de très faibles niveaux de radioactivité comme c'est le cas des échantillons issus de l'environnement.

L'un des objectifs du service de métrologie est de détecter les niveaux de radioactivité les plus bas en jouant sur l'efficacité de la détection, le mouvement propre et le bruit de fond radioactif de l'installation. Un autre objectif est d'assurer que la qualité des résultats reste constante au cours du temps à l'aide d'un programme d'assurance qualité.

Afin de protéger les détecteurs du rayonnement cosmique secondaire, la salle de mesure blindée est en sous-sol, à 6 m de profondeur. Pour augmenter la protection contre ce type de rayonnement, sous-sol et rez-de-chaussée sont séparés par une dalle de béton de 3 m d'épaisseur. Le blindage de la salle est constitué d'un mur de 10 cm de plomb (115 tonnes de plomb) de faible radioactivité. Cependant, les rayonnements cosmiques induisent une fluorescence X du plomb qui fait apparaître des raies parasites jusqu'à 90 keV. Le mur de la salle blindée a donc été doublé d'une couche interne de 10 mm de cuivre électrolytique qui neutralise cette fluorescence X. De plus, les matériaux utilisés dans la chambre blindée, en particulier les aciers entrant dans les supports des détecteurs, ont été sélectionnés pour leurs faibles niveaux radioactifs. Ces précautions réduisent les sources de radioactivité liées à l'introduction du matériel de mesure. De même, des précautions sont prises pour limiter les effets des sources potentielles de radioactivité naturelle, tels les radionucléides appartenant aux familles radioactives de l'uranium et du thorium comme le ^{40}K , ou artificielles, comme les radionucléides issus des essais nucléaires aériens ou d'accidents nucléaires.

Les détecteurs sont de type Gamma-X Ge System, d'efficacité comprise entre 10 et 23 %, et d'une résolution de 850 eV à 100 keV. Les spectrométries sont réalisées dans la bande d'énergie allant de 20 keV à 3 MeV. La méthode de mesure (acquisition et traitement des spectres) est celle développée par la société Silena et utilisée dans les logiciels Emca Plus et Silgamma.

6.6. Expression des résultats et unités utilisées

Les résultats d'analyse de radioactivité sont rapportés à la date de prélèvement.

Les activités en émetteurs gamma sont reportées en Bq.kg⁻¹ de matière sèche pour les résultats dans la plupart des matrices, en Bq.kg⁻¹ frais pour les poissons, mollusques et crustacés et en Bq.L⁻¹ dans le lait et l'eau. Le ¹³⁷Cs, émetteur B⁻, donne naissance avec un rendement de 94,6 % au ^{137m}Ba de période 2,55 minutes et avec un rendement de 5,4 % au ¹³⁷Ba, stable. Le ^{137m}Ba conduit au ¹³⁷Ba, avec émission gamma (rendement de 85 %). Dans le rapport, l'activité gamma mesurée du ^{137m}Ba, sera reportée sous l'intitulé ¹³⁷Cs usuellement utilisé.

Les activités en tritium sont reportées en Bq.L⁻¹ d'eau de cryodessiccation pour le tritium libre mesuré dans le lait et les poissons, en Bq.L⁻¹ d'eau filtrée pour les résultats dans les prélèvements d'eau de boisson ou d'irrigation. Les activités en tritium organiquement lié sont reportées en Bq.L⁻¹ d'eau de combustion et en Bq.kg⁻¹ de matière sèche.

Les activités en ¹⁴C sont reportées en Bq.kg⁻¹ de carbone ainsi qu'en pMC (pourcentage de carbone moderne). Le pMC est calculé à partir du résultat en Bq.kg⁻¹ de carbone (A ci-dessous) et du résultat de la mesure du rapport ¹³C/¹²C (δ¹³C ci-dessous) :

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

d'après [27]

Chacun des résultats de mesure du ¹⁴C en Bq.kg⁻¹ de carbone (BqC ci-dessous) est assorti du résultat de la mesure du carbone total en g.kg⁻¹ sec (C ci-dessous) pour permettre l'expression du résultat en Bq.kg⁻¹ de matière sèche (BqS ci-dessous) :

$$BqS = BqC (C / 1000)$$

Dans les tableaux récapitulatifs concernant les données antérieures relatives à un site, une vision synthétique de l'ensemble des résultats disponibles est donnée par l'utilisation de leur gamme de variation. Ces tableaux comprennent les valeurs minimales et maximales mesurées pour chaque radionucléide décelé, ainsi que leur fréquence de détection (égale au nombre d'échantillons où le radionucléide est détecté de manière significative divisé par le nombre d'échantillons analysés). Lorsqu'aucune valeur significative n'a été obtenue, les données chiffrées sont remplacées par un tiret (-).

Dans les tableaux des résultats de l'année ainsi que dans le texte, les résultats sont accompagnés de l'incertitude statistique, calculée pour un intervalle de confiance de 95 %, et sont présentés dans les tableaux par : « valeur ± incertitude » (± 2 σ). De 1996 à 2010, ces tableaux indiquaient, en outre, la Limite de Détection (LD) associée à la mesure des radionucléides non détectés. Depuis 2011, cette LD fait place au Seuil de Décision (SD = LD/2). En outre, le couple « valeur ± incertitude » ainsi que les SD sont arrondis depuis 2011 selon les règles du Laboratoire National Henri Becquerel [28].

Dans le milieu aquatique continental, les résultats de mesure du ¹³⁷Cs peuvent être normalisés par la granulométrie pour baisser la variabilité naturelle [22]. Ainsi les résultats de chacun des deux prélèvements en aval sont normalisés selon leur granulométrie pour être ramenés à la granulométrie du prélèvement en amont selon la formule :

$${}^{137}CS_{ref} = {}^{137}CS_{meas} \frac{(1.15 \pm 0.20) \cdot CC_{ref} + (0.43 \pm 0.16) \cdot FSC_{ref}}{(1.15 \pm 0.20) \cdot CC_{meas} + (0.43 \pm 0.16) \cdot FSC_{meas}}$$

IRSN

Rapport n° IRSN/2019-00435

Page :
83/89

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable.

Où

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

$^{137}\text{Cs}_{\text{meas}}$ = activité massique en ^{137}Cs mesurée (une station aval dans ce document) ;

CC_{ref} = teneur en argile du sédiment de référence (station amont dans ce document) ;

CC_{meas} = teneur en argile du sédiment mesuré ;

FSC_{ref} = teneur en limon fin du sédiment de référence (station amont dans ce document) ;

FSC_{meas} = teneur en limon fin du sédiment mesuré.

Cette équation ne doit être utilisée que si la teneur en matière organique est supérieure à 1 %.

6.7. Radionucléides dans l'environnement

6.7.1. Radioactivité d'origine naturelle

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

Dans le cas des deux familles du ^{232}Th et de l' ^{238}U , le mesurage est le plus souvent réalisé à l'aide de raies d'émission de plusieurs éléments fils de chacune de ces deux chaînes naturelles :

- pour la famille du ^{232}Th : ^{228}Ac , ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{208}Tl
- pour la famille de l' ^{238}U : ^{234}Pa , ^{234}Th , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{210}Pb

En fonction de l'énergie d'émission, de l'activité dans l'échantillon et de l'éventuel déséquilibre au sein de la chaîne, le dosage ne s'effectue pas toujours sur les raies d'énergie du même élément fils.

Si les éléments fils du thorium et de l'uranium sont à l'équilibre avec l'élément père, et uniquement dans ce cas précis, alors la radioactivité naturelle peut être calculée selon la formule : $^{40}\text{K} + (14 \times ^{238}\text{U}) + (10 \times ^{232}\text{Th}) + ^7\text{Be}$. L'équilibre dans une chaîne de filiation peut ne pas être respecté en raison d'un apport supplémentaire d'origine naturelle (apport atmosphérique, métabolisme favorisant la concentration d'un élément donné chez les organismes vivants...) et/ou anthropique de l'un des éléments de la chaîne.

Les activités en radionucléides naturels dans les sols et sédiments métropolitains ont fait l'objet de publications dont un rapport IRSN [29].

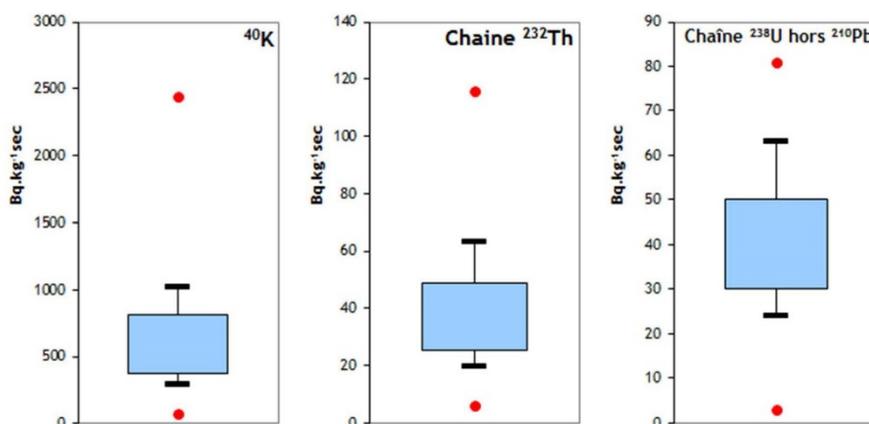


Figure 15 - Teneur en ^{40}K et en radionucléides des familles du ^{232}Th et du ^{238}U dans les sols métropolitains (1er et 3ème quartiles, 1er et 9ème déciles, minimum et maximum).

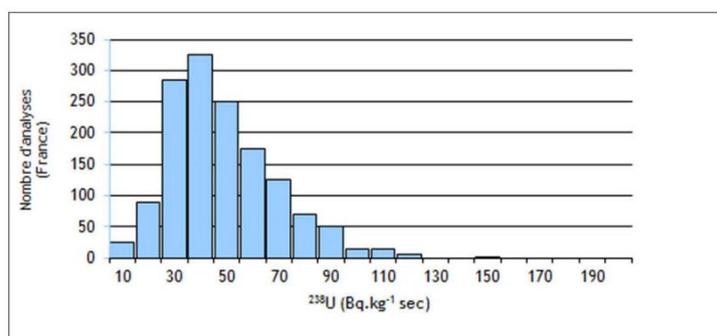


Figure 16 - Teneur en ^{238}U dans les sédiments métropolitains.

6.7.2. Radioactivité d'origine artificielle

La présence dans la biosphère de radio-isotopes artificiels résulte des apports anthropiques liés à l'utilisation militaire du combustible nucléaire, à son utilisation civile dans les installations nucléaires en fonctionnement normal et aux accidents qui se sont produits.

6.7.2.1. Retombées atmosphériques des essais militaires

Les essais nucléaires atmosphériques, qui se sont déroulés essentiellement de 1945 à 1962, ont libéré en majorité des produits de fission, tels que le ^{134}Cs , le ^{90}Sr et les radio-isotopes 238, 239 et 240 du plutonium. Les retombées ont conduit à un marquage chronique de l'environnement qui perdure depuis l'arrêt des essais américains et soviétiques en août 1963.

Jusqu'au 16 octobre 1980, la Chine a continué à effectuer des essais atmosphériques d'armes nucléaires à Lop Nor (40° N, 90° O). Les mesures réalisées consécutivement à ces tirs dans des échantillons d'air ou $_{0,1}$ échantillons biologiques ont montré la présence de ^{144}Ce , ^{141}Ce , ^{137}Cs , ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{95}Zr , ^{95}Nb et ^{125}Sb [30].

6.7.2.2. Retombées dues aux accidents d'installations nucléaires

L'accident ayant entraîné l'émission radioactive quantitativement la plus importante est celui de Tchernobyl, survenu le 26 avril 1986. Cet accident a libéré dans l'atmosphère des radionucléides divers représentatifs du cœur du réacteur, dont les plus abondants sont les $^{134+137}\text{Cs}$, l' ^{131}I , le ^{132}Te , le ^{140}Ba et les $^{103+106}\text{Ru}$. La progression du nuage a conduit, surtout dans l'est et le sud-est de la France, à partir du 29 avril, à une montée nette de la radioactivité des aérosols. Les dépôts, essentiellement sous forme humide, ont affecté directement et par lessivage des sols, les bassins versants français, tout comme les écosystèmes aquatiques de l'est et du nord de l'Europe.

Les retombées de l'accident de Fukushima Daiichi survenu au Japon au cours de la seconde moitié du mois de mars 2011 ont occasionné en France des détections faibles et fugaces dans les matrices terrestres de ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{131}I et ^{132}Te . Le rapport $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ est proche de 1 [19]. Il semblerait que les retombées en France aient été assez homogènes, sans fluctuations spatiales ou temporelles.

6.7.2.3. Effluents liquides et atmosphériques des CNPE en fonctionnement normal

L'exploitation d'un réacteur électronucléaire implique la génération d'isotopes stables et radioactifs issus de la fission des noyaux du combustible (produits de fission), et de l'activation des différents matériaux de structure (produits d'activation). Après traitement, contrôle et dilution, les effluents liquides faiblement radioactifs sont rejetés dans les cours d'eau ou la mer conformément à la législation en vigueur.

Globalement, les principaux radionucléides émetteurs γ émis par les réacteurs à eau pressurisée en fonctionnement normal sont : ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, $^{123\text{m}}\text{Te}$, ^{124}Sb , ^{125}Sb , ^{131}I , ^{54}Mn , ^{134}Cs et ^{137}Cs . Dans l'ensemble, parmi ces dix radionucléides, les réacteurs à eau pressurisée rejettent principalement les ^{58}Co , ^{60}Co et $^{110\text{m}}\text{Ag}$. Les quantités rejetées au cours des années 90 ont diminué d'environ un facteur dix. Cependant, la composition des effluents liquides est variable d'un CNPE à l'autre, en fonction de sa conception, de son mode d'exploitation, de son âge et de l'historique d'exploitation de la tranche.

Les effluents atmosphériques radioactifs sont rejetés dans l'environnement, après traitement des effluents atmosphériques hydrogénés et stockage durant trente jours au minimum.

6.7.2.4. Effluents liquides et atmosphériques d'autres installations

Des centres d'études, des centres militaires ainsi que des centres de traitements ou de stockage du combustible usé peuvent occasionner des marquages avec des signatures plus ou moins proches de celui des CNPE

Les services de médecine nucléaire rejettent du ^{131}I dans les cours d'eau, au travers des stations d'épuration des agglomérations sur lesquelles ils sont implantés.

6.7.3. Sources de ^3H

En dehors des rejets de ^3H liquides et dans l'atmosphère par les CNPE, le ^3H est déjà présent dans l'environnement. Sur l'ensemble du globe, la plus grande part provient très majoritairement des essais atmosphériques d'armes nucléaires. Localement, les sites CEA de Marcoule, ORANO La-Hague, Saclay, Bruyères-le-Châtel et Valduc sont aussi à l'origine d'un net marquage de l'environnement. Les résidus de l'industrie horlogère peuvent augmenter sensiblement les niveaux de radioactivité des systèmes aquatiques.

Avant l'ère nucléaire, les valeurs en ^3H de l'eau de pluie étaient inférieures à 2 Bq.L^{-1} . Le ^3H a été massivement produit lors des essais atmosphériques d'armes nucléaires. De plus de 500 Bq.L^{-1} dans l'eau de pluie dans les années soixante, l'activité volumique à proximité de la zone d'étude est descendue à 10 Bq.L^{-1} en 1980 après le dernier essai aérien. Aujourd'hui, l'activité volumique de l'eau de pluie est proche de 1 Bq.L^{-1} .

Hors influence industrielle locale, les activités en tritium libre sont à l'équilibre entre l'eau atmosphérique et l'eau libre des matrices du milieu terrestre [4]. L'activité en tritium organiquement lié mesurée dans les échantillons biologiques rend compte de l'activité atmosphérique du tritium au cours de la période de croissance de l'échantillon.

En milieu aquatique continental, hors influence industrielle locale, les activités en tritium libre des échantillons sont à l'équilibre avec les activités atmosphériques actuelles [4, 31, 32]. Les activités en tritium organiquement lié dans les sédiments sont plus élevées que celles mesurées dans les végétaux et poissons, elles-mêmes supérieures au tritium libre des eaux de surface. Hors influence de toute activité industrielle actuelle, les niveaux observés résultent de l'exposition des organismes aquatiques à deux sources de tritium différenciées par leur forme (libre et organiquement lié) et par leur

âge : le tritium libre atmosphérique actuel et le tritium organiquement lié, drainé sur le bassin versant et rémanent d'une époque où les niveaux de tritium libre atmosphérique étaient plus élevés.

En milieu aquatique marin, l'activité du tritium libre est de l'ordre de 0,1 Bq.L⁻¹ dans les eaux marines de surface [33]. Elle est de 5 Bq.L⁻¹ le long des côtes de la Manche et de la mer du Nord, principalement du fait des rejets d'effluents liquides effectués par l'usine de traitement du combustible usé ORANO de la Hague.

6.7.4. Sources de ¹⁴C

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

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

En milieu aquatique, l'activité spécifique du ¹⁴C varie avec sa dilution dans les substances carbonées, en particulier les carbonates anciens issus des roches sédimentaires appauvries en carbone 14. Contrairement au milieu terrestre, le ¹⁴C des écosystèmes d'eau douce n'est pas en équilibre avec le CO₂ atmosphérique ; les activités spécifiques dans l'eau et les végétaux, hors influence industrielle locale y sont plus faibles : de l'ordre de 200 Bq.kg⁻¹ de carbone [1, 34].

En milieu marin, le ¹⁴C rejeté est en grande majorité sous forme minérale dissoute [35] et peut donc être incorporé ensuite à la matière organique. A proximité des points de rejets, lorsque les variations des quantités rejetées sont rapides et amples, l'état d'équilibre entre les activités spécifiques de la matière organique et de l'eau de mer n'est pas toujours atteint [36]. Les activités mesurées en Manche au Cap de la Hague, site proche du point de rejet de l'usine ORANO, sont par exemple comprises entre 300 et 800 Bq.kg⁻¹ de carbone.

6.8. Laboratoires d'analyses

ANALYSES	LABORATOIRE
Radionucléides émetteurs alpha Radionucléides émetteurs gamma (+ Iode-129) Strontium-90 Carbone-14 (méthode benzène) Tritium libre et lié Technétium-99 Nickel-63	IRSN/PSE-ENV/SAME Laboratoire de Métrologie de la Radioactivité dans l'Environnement (LMRE) Le bois des Rames - Bâtiment 501 91400 Orsay
Carbone-14 (méthode benzène) Fer-55	IRSN/PSE-ENV/SAME Laboratoire de Mesures Nucléaires (LMN) 31 rue de l'écluse 78116 Le Vésinet
Iode-131	IRSN/PSE-ENV/SRTE Laboratoire de radioécologie de Cherbourg-Octeville (LRC) Rue Max-Pol Fouchet - BP 10 - Cherbourg-Octeville 50130 Cherbourg-en-Cotentin
Iode-127 Calcium Carbone et rapport ¹³ C/ ¹² C Hydrogène	Centre National de la Recherche Scientifique Service central d'analyses 5 rue de la Doua 69100 Villeurbanne
Carbone-14 (méthode AMS)	Laboratoire de mesure du carbone-14 Bâtiment 450 porte 4E CEA Saclay 91191 Gif-sur-Yvette Cedex Isotopech Zrt. P.O. Box 390 Debrecen, H-4001 Hongrie
Granulométrie 5 fractions Teneurs en matière organique, calcium et aluminium Capacité d'échange cationique	Institut national de la recherche agronomique Laboratoire d'analyse des sols d'Arras (LAS) 273 rue de Cambrai 62000 Arras Société du canal de Provence Le Tholonet - CS70064 13182 Aix-en-Provence Cedex 5



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

CNPE de Nogent-sur-Seine
BP62 – 10400 NOGENT-SUR-SEINE
Contact : mission communication
Tél. : 03 25 25 60 60

Les données de ce rapport ne sont utilisables qu'après l'accord d'EDF