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

Nogent-sur-Seine

2023

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 ____ *4*

de Nogent-sur-Seine en 2023 ____ *4*

I. Contexte ____ 4

II. Le CNPE de Nogent-sur-Seine ____ 4

III. Modifications apportées au voisinage du CNPE Nogent-sur-Seine ____ 4

IV. Évolutions scientifiques susceptibles de modifier l'étude d'impact ____ 5

V. Bilan des incidents de fonctionnement et des évènements significatifs pour l'environnement ____ 5

Partie II - Prélèvements d'eau ____ *7*

I. Prélèvement d'eau destinée au refroidissement ____ 9

II. Prélèvement d'eau destinée à l'usage industriel ____ 10

III. Prélèvement d'eau destinée à l'usage domestique ____ 10

IV. Milieu de prélèvement : comparaison pluriannuelle, prévisionnel, valeurs limites et maintenance ____ 11

Partie III – Restitution et consommation d'eau ____ *12*

I. Restitution d'eau ____ 12

II. Consommation d'eau ____ 13

Partie IV - Rejets d'effluents ____ *14*

I. Rejets d'effluents à l'atmosphère ____ 15

II. Rejets d'effluents liquides ____ 24

III. Rejets thermiques ____ 44

Partie V - Prévention du risque microbiologique ____ *46*

I. Bilan annuel des colonisations en circuit ____ 47

II. Synthèse des traitements biocides et rejets associés ____ 47

Partie VI - Surveillance de l'environnement ____ *48*

I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement ____ 48

II. Physico-chimie des eaux souterraines ____ 54

III. Chimie et physico-chimie des eaux de surface ____ 55
IV. Physico-chimie et Hydrobiologie ____ 66
V. Acoustique environnementale ____ 68

Partie VII - Évaluation de l'impact environnemental et sanitaire des rejets de l'installation 69

Partie VIII - Gestion des déchets ____ 70
I. Les déchets radioactifs ____ 70
II. Les déchets non radioactifs ____ 74

ABREVIATIONS ____ 77

ANNEXE 1 : Suivi microbiologique (Legionella pneumophila) du CNPE de NOGENT-SUR-SEINE Année 2023 ____ 78

ANNEXE 2 : Suivi radio écologique annuel du CNPE de Nogent-sur-Seine Année 2022 ____ 80

Partie I - Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité de Nogent-sur-Seine en 2023

I. Contexte

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

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

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

En application de l'article 4.4.4 de l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base, ce document présente le bilan de l'année 20023 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 14.2 TWh en 2023, soit plus de 4,4 % de la production nucléaire française.

La centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine compte 787 salariés EDF et 380 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 1987. Ce réacteur constitue l'installation nucléaire de base (INB) n° 130.

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

La surveillance de l'environnement industriel est réalisée en application d'une prescription interne d'EDF. Lors de l'année 2023, aucune modification notable au voisinage du CNPE de Nogent sur Seine n'a été identifiée.

Certaines entreprises situées au voisinage du CNPE de Nogent-sur-Seine ont vu leur statut par rapport à la réglementation ICPE évoluer, du fait d'une modification de cette réglementation. Cependant, aucun nouveau risque n'a été induit.

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

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

- les Valeurs Toxicologiques de Référence pour l'impact sanitaire sur l'Homme, valeurs sélectionnées selon les critères définis dans la note d'information n°DGS/EA/DGPR/2014/307 du 31/10/2014,

- les valeurs seuils ou valeurs guides issues des textes réglementaires ou des grilles de qualité d'eau, les données écotoxicologiques, en particulier les PNEC (Predicted No Effet Concentration), et les études testant la toxicité et l'écotoxicité des effluents CRT, pour l'analyse des incidences sur l'environnement. A noter que les PNEC sont validées par la R&D d'EDF après revue bibliographique exhaustive et, si nécessaire, réalisation de tests écotoxicologiques commandités par EDF et réalisés selon les normes OCDE et les Bonnes Pratiques de Laboratoire.

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

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

En 2023, le CNPE de Nogent-sur-Seine a été certifié, pour la première fois, 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 Événements Significatifs pour l'Environnement (ESE) à l'Autorité de Sûreté Nucléaire, de traiter ces évènements et d'en analyser les causes profondes pour les éradiquer.

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

1. Bilan des évènements significatifs pour l'environnement déclarés

Le tableau suivant récapitule les évènements significatifs pour l'environnement déclarés par le CNPE de Nogent-sur-Seine en 2023.

Typologie	Date	Description de l'évènement	Principales actions correctives
ESE9	03/05/2023	Détection tardive de l'indisponibilité d'un portique C3 véhicule de sortie de site. Le 10/05/2023 à la suite d'une intervention de dépannage sur l'un des portiques de détection radiologique de l'entrée véhicule du site, il a été mis en évidence que le portique n'était plus opérationnel depuis le 03/05/2023. L'absence d'action des Responsables d'équipes de la section de protection de site de nuit et du matin, du chef de poste prestataire du matin et l'activation forcée de la barrière du portique ont permis la sortie d'une dizaine de véhicules sans que ceux-ci n'aient été contrôlés. Cela aurait pu conduite à une dissémination de contamination à l'extérieur du site. Les causes profondes de l'évènement ont été un manque de maitrise des règles d'exploitation du portique, une absence de définition des attendus concernant les relèves et l'intégration partielle des exigences liées à la bonne utilisation des matériels de contrôle radiologiques.	Faire un rappel aux responsables 'équipes protection de site et des chefs de postes de l'entreprise en charge de la sécurité privée d'appliquer la conduite à tenir en cas de dysfonctionnement d'un portique C3 véhicule, de cesser les ouvertures manuelles des barrières des portiques C3 et de ne plus intervenir sur l'alarme sonore du superviseur. Tracer obligatoirement dans STREAM tout dysfonctionnement associé au portique C3 des halls d'accès véhicules du site. Organiser une sensibilisation pour les responsables d'équipes de la section protection de site sur les risques de dissémination de contamination dans le domaine publique. Le collectif responsable d'équipe de la section protection de site devra définir le formalisme et les attendus des relèves de ¼ en vue de les rendre plus robustes et efficaces. Définir avec le mainteneur les évolutions techniques possibles afin de permettre à l'exploitant du BCA1 et BCA2 de gérer les flux entrants et sortants de véhicules de manière appropriée.

2. Bilan des incidents de fonctionnement

Le CNPE de Nogent-sur-Seine a eu, durant l'année 2023, des matériels indisponibles tels que : les dispositifs de traitement des effluents. En effet la filière TEU Résiduaire, permettant le traitement d'une partie des effluents radioactifs, a été arrêtée suite à l'inefficacité des résines et ensuite par l'indisponibilité du débitmètre permettant la mise en traitement sur les déminéralisateurs. Cette filière de traitement est responsable de la diminution de l'activité rejetée par voie liquide. Afin de palier à cette perte, l'ensemble des effluents ont été transférés vers une autre filière de traitement TEU Chimique n'entrainant ainsi aucun impact sur l'environnement.
Un groupe de travail a permis de retrouver la fonctionnalité des résines en octobre 2023, mais l'aléa technique sur le débitmètre à rendu la filière inopérante jusqu'au 16 avril 2024.

Partie II - Prélèvements d'eau

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

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

Dans un CNPE, l'eau est nécessaire pour :

- refroidir les installations,

- constituer des réserves pour réaliser des appoints ou disposer de stockage de sécurité dont l'alimentation des circuits de lutte contre les incendies (usage industriel),

- alimenter les installations sanitaires et les équipements de restauration des salariés (usage domestique).

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

- le circuit primaire pour extraire la chaleur : c'est un circuit fermé parcouru par de l'eau sous pression (155 bars) et à une température de 300° C. L'eau passe dans la cuve du réacteur, capte la chaleur produite par la réaction de fission du combustible nucléaire et transporte cette énergie thermique vers le circuit secondaire au travers des générateurs de vapeur.

- le circuit secondaire pour produire la vapeur : au contact des milliers de tubes en « U » des générateurs de vapeur, l'eau du circuit primaire transmet sa chaleur à l'eau circulant dans le circuit secondaire, lui-aussi fermé. L'eau de ce circuit est ainsi transformée en vapeur qui fait tourner la turbine. Celle-ci entraîne l'alternateur qui produit l'électricité. Après son passage dans la turbine, la vapeur repasse à l'état

liquide dans le condenseur ; cette eau est ensuite renvoyée vers les générateurs de vapeur pour un nouveau cycle.

- un troisième circuit, appelé « circuit de refroidissement » : pour condenser la vapeur et évacuer la chaleur, le circuit de refroidissement comprend un condenseur, appareil composé de milliers de tubes dans lesquels circule de l'eau froide prélevée dans la rivière ou la mer. Au contact de ces tubes, la vapeur se condense. Ce circuit de refroidissement est différent selon la situation géographique du CNPE :

    - En bord de mer ou d'un fleuve à grand débit, les CNPE fonctionnent avec un circuit de refroidissement totalement ouvert.

    - De l'eau (environ 50 m^3 par seconde) est prélevée pour assurer le refroidissement des équipements via le condenseur. Une fois l'opération de refroidissement effectuée, l'eau qui n'est jamais entrée en contact avec la radioactivité, est intégralement restituée dans la mer ou le fleuve, à une température légèrement plus élevée.

    - Sur les fleuves ou les rivières dont le débit est plus faible, les CNPE fonctionnent avec un circuit en partie fermé.

  Le refroidissement de l'eau chaude issue du condenseur se fait par échange thermique avec de l'air ambiant dans une grande tour réfrigérante atmosphérique appelée « aéroréfrigérant ». Une partie de l'eau chaude se vaporise sous forme d'un panache visible, au sommet de la tour. Cette vapeur d'eau n'est pas une fumée, elle ne contient pas de CO2. Le reste de l'eau refroidie retourne dans le condenseur. Ce système avec aéroréfrigérants permet donc de réduire considérablement les prélèvements d'eau qui sont de l'ordre de 2 m3 par seconde.

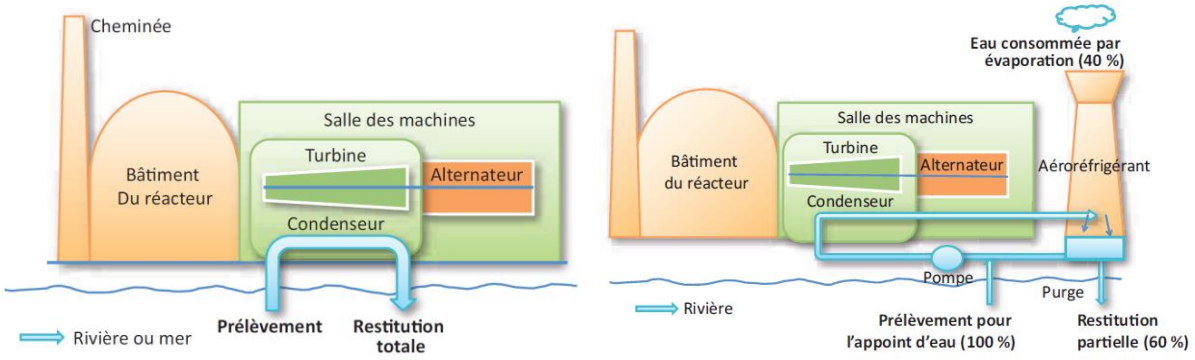


Figure 1 : Schéma d'un CNPE avec un circuit de refroidissement ouvert (à gauche) et fermé (à droite) (Source : EDF)

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

Que les CNPE soient en fonctionnement ou à l'arrêt, la grande majorité de l'eau prélevée est restituée à sa source, c'est-à-dire au milieu naturel à proximité du point de prélèvement. Plus précisément, quasiment 60% de l'eau prélevée est restituée au fleuve ou à la mer pour les installations en circuit fermé, les 40% restant étant très majoritairement attribuable à l'évaporation d'eau au niveau des tours aéroréfrigérantes.

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

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

I. Prélèvement d'eau destinée au refroidissement

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel du prélèvement d'eau destinée au refroidissement de l'année 2023.

	Prélèvement d'eau (en millions de m^3)
Janvier	9.8
Février	10.5
Mars	10.2
Avril	13.3
Mai	7.8
Juin	11.7
Juillet	12.4
Août	12.5
Septembre	13.5
Octobre	8.1
Novembre	9.1
Décembre	14.3
TOTAL	133.2

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

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel du prélèvement d'eau destinée à l'usage industriel de l'année 2023.

	Prélèvement d'eau (en millions de m^3)
Janvier	0.0587
Février	0.0507
Mars	0.0588
Avril	0.0448
Mai	0.0594
Juin	0.0371
Juillet	0.0451
Août	0.0287
Septembre	0.0403
Octobre	0.0334
Novembre	0.0351
Décembre	0.0627
TOTAL	0.5551

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

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel du prélèvement d'eau destiné à l'usage domestique de l'année 2023.

	Prélèvement d'eau (en milliers de m^3)
Janvier	2,968
Février	2,461
Mars	2,012
Avril	2,479
Mai	2,215
Juin	2,107
Juillet	2,051
Août	1,391
Septembre	1,995
Octobre	4,139
Novembre	2,575
Décembre	3,175
TOTAL	29,568

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

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

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

Année	Milieu	Volume (milliers de m^3)
2021	Eau douce superficielle	139085
2022		135976
2023		133555
Prévisionnel 2023		135000
2021	Eau douce souterraine	219
2022		207
2023		232
Prévisionnel 2023		225

Commentaires : Les volumes annuels d'eau prélevé en eau douce superficielle et souterraine sont cohérents aux prévisionnels qui ont été définit pour l'année 2023, compte tenu du temps effectif de fonctionnement des tranches.

2. Comparaison aux valeurs limites

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

Milieu	Limites de prélèvement		Prélèvement		Unité
	Prescriptions	Valeur	Valeur maximale	Valeur moyenne	
Eau douce superficielle	Débit instantané	7	5.76	/	m^3/ s
	Volume journalier	/	/	/	m^3
	Volume annuel	149000000	133555000	S.O.	m^3
Eau douce souterraine	Débit instantané	0.1	0.04	/	m^3/ s
	Volume journalier	6130	3345	/	m^3
	Volume annuel	562000	231608	S.O.	m^3

Commentaires : Les valeurs maximales observées sont inférieures aux limites autorisées.

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

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

4. Opérations exceptionnelles de prélèvements

Le CNPE de Nogent-sur-Seine n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de prélèvement d'eau dans le milieu en 2023.

Partie III – Restitution et consommation d'eau

I. Restitution d'eau

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

		Restitution d'eau			
		Eau de refroidissement	Rejets radioactifs	Rejets industriels	Unités
Restitution mensuelle	Janvier	6226	3.6	5.4	milliers de m^3
	Février	7129	1.3	4.8	
	Mars	6620	0.8	5.4	
	Avril	11028	4.6	9.2	
	Mai	5745	2.3	4.7	
	Juin	9516	1.3	6.8	
	Juillet	9163	1.8	9.0	
	Août	9283	2.2	7.1	
	Septembre	10774	1.5	15.0	
	Octobre	6376	2.2	6.7	
	Novembre	8476	2.9	10.6	
	Décembre	13344	1.4	16.8	
TOTAL	Restitution au milieu aquatique	103807			milliers de m^3
	Pourcentage de restitution d'eau au milieu aquatique par rapport au prélèvement	78			%

II. Consommation d'eau

1. Cumul mensuel

La consommation d'eau correspond à la différence entre la quantité d'eau prélevée et la quantité d'eau restituée au milieu aquatique. Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel de consommation d'eau de l'année 2023.

	Consommation d'eau (en milliers de m3)
Janvier	3612
Février	3314
Mars	3586
Avril	2252
Mai	2078
Juin	2151
Juillet	3235
Août	3243
Septembre	2760
Octobre	1692
Novembre	679
Décembre	945
TOTAL	29552

Cette consommation correspond en grande majorité à l'eau évaporée (tours aéroréfrigérantes).

2. Comparaison aux valeurs limites

Limite de la Fraction évaporée (m^3/s)	Valeur maximale Fraction évaporée (m^3/s)	Limite de la Fraction évaporée en moyenne annuelle (m^3/s)	Valeur moyenne Fraction évaporée (m^3/s)
1.85	1.73	1.5	0.939

Commentaires : Les valeurs maximales observées sont inférieures aux limites autorisées.

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

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

I. Rejets d'effluents à l'atmosphère

1. Rejets d'effluents à l'atmosphère radioactifs

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

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

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

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

a. Règles spécifiques de comptabilisation

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

La deuxième règle fondamentale consiste à déclarer obligatoirement une activité rejetée pour les radionucléides appartenant à ces différents « spectres de référence ». Les radionucléides dont l'activité mesurée est inférieure au seuil de décision[1] donnent lieu à une comptabilisation d'activité rejetée égale au SD.

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

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

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

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

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

Paramètres	Radionucléide
Gaz rares	^{41}Ar
	^{85}Kr
	^{131m}Xe
	^{133}Xe
	^{135}Xe
Tritium	^{3}H

[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 métrologiste 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*. »

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 pour les tranches en fonctionnement à l'atmosphère sont donnés dans le tableau suivant.

	^{41}Ar (GBq)	^{85}Kr (GBq)	^{131m} Xe (GBq)	^{133}Xe (GBq)	^{135}Xe (GBq)	^{131}I (GBq)	^{133}I (GBq)	^{58}Co (GBq)	^{60}Co (GBq)	^{134}Cs (GBq)	^{137}Cs (GBq)
Janvier	2,135E+00	3,438E-03	4,627E-04	6,525E+00	3,337E+00	1,019E-03	2,219E-03	4,173E-05	5,605E-05	3,587E-05	4,315E-05
Février	2,243E+00	2,813E-03	4,277E-04	5,883E+00	3,280E+00	2,450E-04	1,990E-03	4,451E-05	5,256E-05	3,876E-05	4,672E-05
Mars	2,742E+00	2,707E-02	1,471E-02	6,635E+00	3,685E+00	4,372E-04	2,753E-03	3,981E-05	4,921E-05	3,552E-05	4,293E-05
Avril	3,086E+00	/	/	7,023E+00	3,189E+00	2,467E-04	2,025E-03	4,653E-05	5,311E-05	3,700E-05	4,567E-05
Mai	1,070E+00	/	/	7,011E+00	3,625E+00	1,561E-04	8,944E-04	1,348E-04	6,098E-05	3,678E-05	4,814E-05
Juin	9,292E-01	/	/	6,595E+00	3,409E+00	1,585E-04	5,279E-03	4,069E-05	4,385E-05	3,796E-05	3,700E-05
Juillet	1,594E+00	2,647E-02	3,596E-03	6,118E+00	3,154E+00	1,435E-04	9,133E-04	3,621E-05	4,359E-05	3,631E-05	3,609E-05
Août	1,365E+01	1,685E-02	1,940E-03	7,200E+00	3,497E+00	2,124E-04	1,734E-03	3,976E-05	5,268E-05	4,325E-05	4,198E-05
Septembre	6,246E+00	/	/	6,380E+00	3,223E+00	2,982E-04	2,036E-03	4,021E-05	4,430E-05	3,397E-05	3,730E-05
Octobre	1,084E+00	8,636E-03	1,200E-03	6,501E+00	3,866E+00	5,824E-04	5,243E-03	3,950E-05	4,739E-05	3,864E-05	4,083E-05
Novembre	3,918E-01	/	/	6,275E+00	3,083E+00	1,782E-04	1,102E-03	4,106E-04	4,616E-05	3,413E-05	3,765E-05
Décembre	5,837E+00	2,388E-02	1,807E-02	6,788E+00	3,374E+00	7,171E-04	1,419E-03	1,382E-03	1,404E-04	3,752E-05	4,397E-05
TOTAL ANNUEL	4,10E+01	1,09E-01	4,04E-02	7,89E+01	4,07E+01	4,39E-03	2,76E-02	2,30E-03	6,90E-04	4,46E-04	5,01E-04

	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	3,47E+08	1,200E+01	4,782E+01	1,614E+02	3,238E-03	1,768E-04
Février	3,13E+08	1,141E+01	4,055E+01	/	2,235E-03	1,826E-04
Mars	3,46E+08	1,310E+01	4,536E+01	/	3,190E-03	1,675E-04
Avril	3,55E+08	1,330E+01	5,487E+01	3,922E+01	2,272E-03	1,823E-04
Mai	3,83E+08	1,171E+01	6,761E+01	/	1,051E-03	2,807E-04
Juin	3,60E+08	1,093E+01	7,896E+01	/	5,438E-03	1,595E-04
Juillet	3,47E+08	1,090E+01	6,793E+01	1,521E+02	1,057E-03	1,522E-04
Août	3,69E+08	2,437E+01	6,670E+01	/	1,947E-03	1,777E-04
Septembre	3,46E+08	1,585E+01	7,976E+01	/	2,334E-03	1,558E-04
Octobre	3,80E+08	1,146E+01	9,248E+01	1,107E+02	5,826E-03	1,664E-04
Novembre	3,52E+08	9,750E+00	6,241E+01	/	1,280E-03	5,286E-04
Décembre	3,84E+08	1,604E+01	5,880E+01	/	2,136E-03	1,604E-03
TOTAL ANNUEL	4,28E+09	1,61E+02	7,63E+02	4,63E+02	3,20E-02	3,93E-03

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 2023 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2023 pour les tranches en fonctionnement.

Année	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)				
	Gaz rares	Tritium	Carbone 14	Iodes	Autres produits de fission et d'activation
2021	175	672	263	0.036	2.5^{e}-3
2022	149	723	251	0.016	1.97^{e}-3
2023	161	763	463	0.032	3.93^{e}-3
Prévisionnel 2023	160	800	300	0.02	3^{e}-3

Commentaires : Les rejets radioactifs à l'atmosphère sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2023. A l'exception de la quantité rejetée de C14 qui a dépassé le prévision 2023 pour deux raisons principales, une production électrique plus importante que le prévisionnel et une sous-estimation du prévisionnel rejet en C14 sur 2023.

e. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2023 avec les valeurs limites de rejets fixées par l'arrêté du 29 décembre 2004.

		Limites annuelles de rejet		Rejet
Paramètres	**Localisation prélèvement**	**Prescriptions**	**Valeur**	**Valeur maximale**
Gaz rares	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	45000	161
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	5e7	2.50e5
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	5e7	4.16e5
Carbone 14	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	1400	463
Tritium	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	8000	763
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	5e6	2.97e4
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	5e6	2.53e4
Iodes	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	0.8	3.20e-2
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	5e2	4.6e-1
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	5e2	7.54
Autres produits de fission et produits d'activation	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	0.8	3.93e-3
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	5e2	2.03
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	5e2	1.28e-1

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 les valeurs de l'arrêté du 29 décembre 2004 tout au long de l'année 2023.

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

Les rejets radioactifs diffus ont notamment pour origine :

- les évents de réservoirs d'entreposage des effluents radioactifs (T, S), le réservoir de stockage de l'eau borée pour le remplissage des piscines,
- les rejets de vapeur du circuit secondaire par le système de décharge à l'atmosphère, susceptibles de renfermer de la radioactivité en cas d'inétanchéité des tubes de générateurs de vapeur.

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

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

	Volume des rejets diffus (m^3)	Rejets de vapeur du circuit secondaire		Rejets au niveau des évents des réservoirs d'eau de refroidissement des piscines et d'entreposage des effluents liquides	
		Tritium (Bq)	Iodes (Bq)	Tritium (Bq)	Iodes (Bq)
Janvier	9,07E+03	/	/	1,329E+08	0,000E+00
Février	6,19E+03	/	/	3,855E+07	0,000E+00
Mars	6,21E+03	/	/	1,224E+07	0,000E+00
Avril	1,91E+04	1,926E+09	/	1,188E+08	0,000E+00
Mai	7,02E+03	/	/	4,139E+07	0,000E+00
Juin	9,91E+03	/	/	8,502E+07	0,000E+00
Juillet	1,36E+04	3,267E+09	/	4,146E+07	0,000E+00
Août	1,19E+04	7,567E+08	/	5,760E+07	0,000E+00
Septembre	2,37E+04	4,910E+09	/	4,643E+07	0,000E+00
Octobre	1,33E+04	8,920E+08	/	9,823E+07	0,000E+00
Novembre	1,56E+04	/	/	5,839E+07	0,000E+00
Décembre	2,25E+04	2,180E+08	/	4,321E+07	0,000E+00
TOTAL ANNUEL	1,58E+05	1,20E+10	/	7,74E+08	0,00E+00

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

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

- Le lessivage chimique des générateurs de vapeur : l'encrassement des générateurs de vapeur peut nécessiter un lessivage chimique à l'origine de rejets chimiques à

l'atmosphère (ammoniac…) qui nécessitent une autorisation administrative ; ces rejets sont, soit mesurés, soit estimés par calcul en fonction des quantités de produits chimiques utilisés.

- Les émissions des groupes électrogènes de secours : les groupes électrogènes de secours composés de moteurs diesel, les Turbines à Combustion (TAC) et les Diesels d'Ultime Secours (DUS) fonctionnant au gasoil sont destinés uniquement à alimenter des systèmes de sécurité et/ou à prendre le relais de l'alimentation électrique principale en cas de défaillance de celle-ci. Ils ont donc un rôle majeur en termes de sûreté nucléaire. Les émissions des gaz de combustion (SO2, NOX) de ces matériels de petites puissances sont faibles sachant qu'ils ne fonctionnent que peu de temps (moins de 50 h/an par diesel) lors des essais périodiques ou d'incidents.
- Les émissions de fluides frigorigènes. En effet, un CNPE est équipée de groupes frigorifiques pour assurer la production d'eau glacée et pour la réfrigération des locaux techniques et administratifs. Ces matériels utilisent des produits pouvant accroître l'effet de serre. Le fonctionnement des matériels et les opérations de maintenance conduisent à des émissions de fluides frigorigène. Ces émissions sont réglementairement déclarées et comptabilisées et des actions sont prises pour remédier à la situation.
- Les opérations de maintenance effectuées dans les bâtiments réacteur des CNPE : Lors de ces opérations, une quantité plus ou moins importante de calorifuges est changée par des produits neufs. Pendant les phases de montée en température correspondant à la remise en service des installations, certains types de calorifuges émettent, par dégradation thermique, des vapeurs formolées dans l'enceinte, qui peuvent être à l'origine de rejets de monoxyde de carbone.
- Le conditionnement de circuit à l'arrêt : à l'occasion des arrêts de tranche pour une durée supérieure à une semaine, la conservation humide des générateurs de vapeur permet de s'affranchir du risque de corrosion des matériaux constitutifs et de disposer d'une barrière biologique (écran d'eau) pour réaliser des travaux environnants. Les générateurs de vapeur sont alors remplis avec de l'eau déminéralisée conditionnée à l'hydrazine et additionnée avec de l'ammoniaque dans des proportions définies dans les spécifications chimiques de conservation à l'arrêt.

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

La quantité annuelle évaluée d'oxyde de soufre (SOx) et d'azote (NOx) rejetée dans l'atmosphère lors du fonctionnement périodique des groupes électrogènes de secours (moteurs Diesels) ayant fonctionné pendant 226 heures, et diesels d'ultime secours (DUS) ayant fonctionné pendant 79 heures, au total sur les 2 tranches pour 2023 est de :

Paramètre	Unité	LHP/LHQ/LHU	TOTAL
SOx	kg	3	3
NOx	kg	76893	76893

b. Rejets de formaldéhyde et de monoxyde de carbone

En 2023, 83,96 m^3 de calorifuges dans les enceintes des bâtiments réacteurs N°1 et N°2 ont été renouvelés.

Ce volume donne une estimation des concentrations maximales ajoutées dans l'atmosphère.

Concentration calculée	Unité	Paramètres	EBA	ETY
Concentration maximale ajoutée dans l'atmosphère	mg/m^3	Formaldéhyde	1,39E-02	3,14E-04
		Monoxyde de carbone	1,30E-02	2,93E-04

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

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

Paramètre	Unité	TOTAL
Ammoniac	kg	65
Ethanolamine		18

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

Un bilan des émissions de gaz à effet de serre et de fluides frigorigènes est réalisé annuellement par le CNPE de Nogent-sur-Seine.

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

Paramètre	Masse en kg	Tonne équivalent CO_2
Hexafluorure de soufre (SF6)	73.52	1852.7
Total des émissions de GES en tonne équivalent CO2		1852.7

Dans le respect de la règlementation relative aux systèmes d'échanges de quota d'émissions de gaz à effet de serre, le CNPE déclare chaque année les émissions de CO_2 provenant de l'activité de combustion de combustibles dans les installations dont la puissance thermique totale de combustion est supérieure à 20 MW. Pour l'année 2023, les émissions liées à cette activité représentent 408.8 tonne équivalent CO_2.

L'équivalent CO_2 total des émissions de GES du CNPE constituées des pertes de fluides frigorigène et SF6 et de la combustion des diesels de secours, représente 0.16 g CO2 / kWh électrique produit, la production annuelle nette d'électricité ayant été de 14.1 TWh sur l'année 2023.

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

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

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

Le CNPE de Nogent-sur-Seine n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de rejets d'effluents à l'atmosphère en 2023.

II. Rejets d'effluents liquides

1. Rejets d'effluents liquides radioactifs

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

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

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

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

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

- par filtration et déminéralisation (résines échangeuses d'ions) permettant de retenir l'essentiel de la radioactivité,
- sur chaîne d'évaporation, permettant d'obtenir d'une part un distillat épuré chimiquement et d'activité faible, et d'autre part un concentrat composé principalement d'acide borique,

- par filtration pour les drains de planchers et servitudes (laverie, douches…) peu radioactifs.

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

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

a. Règles spécifiques de comptabilisation

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

La deuxième règle fondamentale consiste à déclarer obligatoirement une activité rejetée pour les radionucléides appartenant à ces différents « spectres de référence ». Les radionucléides dont l'activité mesurée est inférieure au seuil de décision[1] donnent lieu à une comptabilisation d'activité rejetée égale au SD.

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

b. Spectre de référence des rejets d'effluents radioactifs liquides

Le bilan des rejets d'effluents radioactifs liquides est déterminé pour chacune des quatre familles de radionucléides réparties comme suit :

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

Le tableau ci-dessous est un rappel du spectre de référence des rejets radioactifs liquides pour les tranches en fonctionnement.

[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 métrologiste 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*. »

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

c. Cumul mensuel

Le cumul mensuel des rejets d'effluents radioactifs liquides pour les tranches en fonctionnement est donné dans le tableau suivant :

	^{131}I (GBq)	^{54}Mn (GBq)	^{63}Ni (GBq)	^{58}Co (GBq)	^{60}Co (GBq)	^{110m}Ag (GBq)	^{123m}Te (GBq)	^{124}Sb (GBq)	^{125}Sb (GBq)	^{134}Cs (GBq)	^{137}Cs (GBq)	^{57}Co (GBq)
Janvier	1,504E-03	1,762E-03	1,295E-02	1,780E-03	1,356E-02	2,770E-03	1,089E-03	1,519E-03	4,106E-03	1,548E-03	1,805E-03	/
Février	5,296E-04	6,468E-04	4,227E-03	7,693E-04	4,287E-03	1,872E-03	4,121E-04	5,553E-04	1,500E-03	5,371E-04	1,034E-03	/
Mars	3,265E-04	9,797E-04	6,554E-03	3,281E-03	1,148E-02	3,793E-03	2,561E-04	3,481E-04	9,603E-04	3,530E-04	8,461E-04	/
Avril	1,918E-03	5,729E-03	3,539E-02	2,374E-02	3,772E-02	1,641E-02	1,457E-03	2,054E-03	5,419E-03	2,124E-03	4,174E-03	5,255E-04
Mai	9,506E-04	1,165E-03	3,466E-03	1,121E-02	6,404E-03	1,128E-03	7,002E-04	9,837E-04	2,567E-03	9,861E-04	1,173E-03	/
Juin	4,730E-04	5,492E-04	3,615E-03	6,419E-03	3,650E-03	6,853E-04	3,548E-04	5,017E-04	1,329E-03	5,197E-04	5,849E-04	/
Juillet	6,225E-04	7,244E-04	3,927E-03	8,891E-03	3,850E-03	1,501E-03	4,633E-04	6,384E-04	1,650E-03	6,579E-04	7,877E-04	/
Août	7,965E-04	8,848E-04	5,619E-03	6,155E-03	3,998E-03	1,099E-03	5,779E-04	7,666E-04	2,153E-03	7,771E-04	9,682E-04	/
Septembre	5,359E-04	6,098E-04	1,581E-03	2,523E-03	1,384E-03	5,714E-04	3,862E-04	5,555E-04	1,415E-03	5,441E-04	6,557E-04	/
Octobre	9,746E-04	3,682E-03	1,429E-02	1,737E-02	4,681E-02	4,173E-03	6,005E-04	9,075E-04	2,319E-03	8,680E-04	1,012E-03	/
Novembre	1,027E-03	1,387E-03	5,240E-03	5,636E-02	1,473E-02	1,589E-03	8,362E-04	3,139E-03	2,763E-03	1,130E-03	1,285E-03	/
Décembre	5,194E-04	5,950E-04	1,369E-03	1,484E-02	3,651E-03	5,982E-04	3,825E-04	6,159E-04	1,386E-03	5,165E-04	6,002E-04	/
TOTAL ANNUEL	1,02E-02	1,87E-02	9,82E-02	1,53E-01	1,52E-01	3,62E-02	7,52E-03	1,26E-02	2,76E-02	1,06E-02	1,49E-02	5,26E-04

	Volumes rejetés KER (m^3)	Volumes rejetés SEK (m^3)	Activité Tritium (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Iodes (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)
Janvier	3,60E+03	5,40E+03	9,614E+03	9,384E+00	1,504E-03	4,289E-02
Février	1,32E+03	4,87E+03	3,331E+03	5,007E+00	5,296E-04	1,584E-02
Mars	7,90E+02	5,41E+03	2,054E+03	8,518E-01	3,265E-04	2,885E-02
Avril	4,60E+03	9,20E+03	5,573E+03	3,862E+00	1,918E-03	1,347E-01
Mai	2,31E+03	4,69E+03	3,004E+03	1,784E+00	9,506E-04	2,978E-02
Juin	1,29E+03	6,79E+03	2,178E+03	1,487E+00	4,730E-04	1,821E-02
Juillet	1,79E+03	9,04E+03	2,229E+03	9,789E-01	6,225E-04	2,309E-02
Août	2,16E+03	7,13E+03	2,734E+03	1,461E+00	7,965E-04	2,300E-02
Septembre	1,46E+03	1,50E+04	2,148E+03	1,684E+00	5,359E-04	1,023E-02
Octobre	2,23E+03	6,68E+03	4,142E+03	1,888E+00	9,746E-04	9,204E-02
Novembre	2,91E+03	1,06E+04	4,482E+03	1,816E+00	1,027E-03	8,846E-02
Décembre	1,37E+03	1,68E+04	1,197E+03	2,334E-01	5,194E-04	2,455E-02
TOTAL ANNUEL	2,58E+04	1,02E+05	4,27E+04	3,04E+01	1,02E-02	5,32E-01

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) ont comporté une activité tritium comprise entre 400 et 4000 Bq/L sur la période 2023. Cela est dû à la présence d'une fuite primaire/secondaire (aux alentours de 1 L/h) en tranche 1. Un suivi constant est réalisé par le Laboratoire et la Conduite.

d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)			
	Tritium	Carbone 14	Iodes (MBq)	Autres PA et PF (MBq)
2021	50300	35	12	510
2022	57300	34.1	10.5	333
2023	42700	30.4	10.2	433
Prévisionnel 2023	40000	25	15	400

Commentaires : Les rejets radioactifs liquides sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2023, à l'exception, des rejets iodes dont le prévisionnel 2023 est surévalué. On note également un dépassement du prévisionnel pour les rejets en carbone 14 qui est dû à la production électrique plus importante sur 2023.

e. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2023 avec les valeurs limites de rejets fixées par l'arrêté du 29 décembre 2004 pour les tranches en fonctionnement.

	Limites annuelles de rejet		Rejet
Paramètres	**Prescriptions**	**Valeur**	**Valeur totales et maximales**
Tritium	Activité annuelle rejetée (GBq)	80000	42700
	Débit d'activité (Bq/s)	80 x D	9.18e6
Carbone 14	Activité annuelle rejetée (GBq)	190	30.4
Iodes	Activité annuelle rejetée (MBq)	100	10.2
	Débit d'activité (Bq/s)	0.1 x D	2.85
Autres PA et PF	Activité annuelle rejetée (GBq)	25	0.433
	Débit d'activité (Bq/s)	0.7 x D	206

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 2023 sont donnés dans le tableau suivant (valeurs moyennes et maximales).

	Paramètre analysé	Activité volumique horaire à mi-rejet			Activité volumique : moyenne journalière		
		Valeur moyenne mesurée en 2023	Valeur maximale mesurée en 2023	Limite réglementaire	Valeur moyenne mesurée en 2023	Valeur maximale mesurée en 2023	Limite réglementaire
Eau filtrée	Activité bêta globale	0.22 Bq/L	0.51 Bq/L	2 Bq/L	-	-	-
	Tritium	59.2 Bq/L	90.0 Bq/L	280 Bq/L	30.3 Bq/L	89(1)/ <5.3(2) Bq/L	140(1) / 100(2) Bq/L
	Potassium	1.70 mg/L	2.20 mg/L	-	-	-	-
Matières en suspension	Activité bêta globale	0.018 Bq/L	0.062 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 2023 sont cohérentes avec les valeurs attendues du fait des rejets d'effluents autorisés du CNPE. Les mesures d'activité bêta globale et de l'activité en tritium dans l'eau sont très inférieures aux limites réglementaires.

2. Rejets d'effluents liquides chimiques

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

Ces rejets d'effluents chimiques sont issus :

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

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

Les autres rejets chimiques réglementés ont pour origine l'installation de production d'eau déminéralisée, le traitement des eaux vannes et usées, dans la station d'épuration, ainsi que le traitement des eaux potentiellement huileuses issues de la salle des machines, des transformateurs principaux. Les rejets des eaux pluviales sont 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 (NH_4OH),

- 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 leurs produits dérivés

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

– L'éthanolamine a des propriétés irritantes (oculaire, cutané, brûlure d'oesophage dans le cas de l'ingestion) et corrosives. Aucune VTR issue des bases de données de référence n'est associée à cette substance.

– Les produits de dégradation de l'éthanolamine sont constitués des ions acétates, formiates, glycolates et oxalates, ainsi que de méthylamine et d'éthylamine. Il s'agit de substances irritantes voire corrosives, qui sont faiblement toxiques dans les conditions de rejet. Aucune VTR issue des bases de données de référence n'est associée à ces substances.

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

b. Règles spécifiques de comptabilisation

En application de l'article 3.2.7. -I. de la décision ASN n° 2013-DC-0360 modifiée, une nouvelle règle est appliquée à compter du 1er janvier 2015 pour la comptabilisation des quantités de substances chimiques rejetées. Cette nouvelle règle consiste à retenir par convention une valeur de concentration égale à la limite de quantification divisée par deux lorsque le résultat de la mesure est en dessous de la limite de quantification des moyens métrologiques employés pour effectuer l'analyse.

c. Rejets d'effluents liquides chimiques via l'émissaire A1 est donné dans le tableau suivant :

i. Cumul mensuel

Le cumul mensuel des rejets chimiques transitant par l'émissaire A1 est donnée dans le tableau suivant :

	Chlorures (kg)	Sodium (kg)
Janvier	3,23E+03	1,27E+03
Février	1,51E+03	4,78E+02
Mars	4,16E+03	1,84E+03
Avril	3,64E+03	1,24E+03
Mai	1,94E+03	5,85E+02
Juin	4,41E+03	1,19E+03
Juillet	6,80E+03	2,05E+03
Août	5,39E+03	1,66E+03
Septembre	5,39E+03	1,92E+03
Octobre	3,13E+03	1,02E+03
Novembre	3,89E+03	1,25E+03
Décembre	7,57E+03	2,99E+03
TOTAL ANNUEL	5,11E+04	1,75E+04

ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

Substances	Unité	2021	2022	2023	Prévisionnel 2023
Chlorures	kg	47723	53763	51062	55000
Sodium	kg	15219	19682	17488	17000

Commentaires : RAS.

iii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets d'effluents non radioactfis liquides de l'année 2023 avec les valeurs limites de rejets fixées par l'arrêté du 29 décembre 2004.

Substances	Limites de rejet Flux 24h (kg)	Rejet effectif Valeur maximale calculée (kg)	Limites de rejet Flux 2h (kg)	Rejet effectif Valeur maximale calculée (kg)
Chlorures	2400	1,22E+03	1200	9,33E+02
Sodium	1000	5,52E+02	500	4,26E+02

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 ilots nucléaires et effluents éventuellement radioactifs issus des salles des machines (réservoirs Ex)

iv. Cumul mensuel

Le cumul mensuel des rejets chimiques est donné dans le tableau suivant :

	Acide borique (kg)	Ethanolamine (kg)	Hydrazine (kg)	Lithine (kg)	Détergents (kg)	Ammonium (kg)	Phosphates (kg)	Sodium (kg)	Métaux totaux (kg)	MES (kg)	DCO (kg)
Janvier	8,832E+01	2,248E-01	3,42E-02	6,115E-02	2,897E+00	2,281E+02	1,013E+01	7,359E+00	4,114E+00	1,511E+01	9,712E+01
Février	3,906E+01	1,547E-01	2,56E-02	2,874E-01	1,321E+00	2,019E+02	2,866E+01	2,079E+01	9,321E-01	1,160E+01	3,592E+01
Mars	3,077E+01	1,552E-01	1,88E-02	8,054E-02	7,897E-01	2,187E+02	6,179E+00	4,485E+00	1,825E+00	1,971E+01	5,692E+01
Avril	9,191E+01	3,436E+00	4,62E-02	7,813E-02	4,596E+00	1,731E+02	4,537E+01	3,552E+01	6,312E+00	1,931E+01	1,917E+02
Mai	5,237E+01	1,749E-01	1,75E-02	3,928E-02	2,311E+00	1,229E+02	7,021E+01	5,099E+01	5,222E+00	2,024E+01	2,232E+02
Juin	3,164E+01	2,021E-01	2,02E-02	2,195E-02	1,291E+00	9,534E+01	4,205E+01	3,053E+01	2,980E+00	2,177E+01	1,676E+02
Juillet	5,392E+01	2,705E-01	6,70E-02	3,035E-02	1,785E+00	1,468E+02	2,688E+01	1,952E+01	3,553E+00	3,204E+01	1,181E+02
Août	5,283E+01	2,322E-01	4,68E-02	3,674E-02	2,161E+00	1,253E+02	1,831E+01	1,329E+01	4,102E+00	2,117E+01	1,359E+02
Septembre	4,588E+01	4,106E-01	8,79E-02	2,489E-02	1,464E+00	1,577E+02	2,890E+01	2,097E+01	2,989E+00	2,184E+01	1,055E+02
Octobre	1,743E+02	2,229E-01	2,23E-02	3,796E-02	2,233E+00	5,230E+01	1,531E+01	1,112E+01	2,678E+00	2,586E+01	1,844E+02
Novembre	4,392E+02	4,171E+00	6,76E-02	4,949E-02	2,911E+00	1,033E+02	1,222E+01	8,854E+00	5,303E+00	5,832E+01	3,579E+02
Décembre	7,023E+01	4,544E-01	9,23E-02	2,327E-02	1,369E+00	3,141E+01	1,210E+01	8,783E+00	1,004E+01	4,370E+01	1,783E+02
TOTAL ANNUEL	1,17E+03	1,01E+01	5,46E-01	7,71E-01	2,51E+01	1,657E+03	3.163E+02	2,322E+02	5,01E+01	3,11E+02	1,85E+03

	Aluminium total (kg)	Chrome total (kg)	Cuivre total (kg)	Fer total (kg)	Manganese total (kg)	Nickel total (kg)	Zinc total (kg)
Janvier	1,763E-01	2,248E-02	1,151E+00	2,289E+00	9,262E-02	9,262E-02	2,896E-01
février	6,186E-02	1,547E-02	4,165E-01	2,785E-01	2,405E-02	1,547E-02	1,202E-01
mars	7,314E-02	1,552E-02	1,053E+00	4,956E-01	4,040E-02	1,829E-02	1,297E-01
avril	1,380E-01	3,449E-02	4,965E+00	2,805E-01	3,449E-02	4,091E-01	4,504E-01
mai	5,088E-01	1,749E-02	3,146E+00	9,528E-01	1,351E-01	1,850E-01	2,766E-01
juin	8,084E-02	2,021E-02	8,344E-01	1,478E+00	2,122E-01	7,638E-02	2,777E-01
juillet	1,278E-01	2,705E-02	1,256E+00	1,575E+00	1,197E-01	1,333E-01	3,148E-01
août	1,274E-01	2,322E-02	1,097E+00	2,458E+00	8,517E-02	4,807E-02	2,633E-01
septembre	1,642E-01	4,106E-02	1,698E+00	7,477E-01	9,831E-02	4,106E-02	1,994E-01
octobre	8,916E-02	2,229E-02	1,172E+00	1,122E+00	8,760E-02	2,229E-02	1,628E-01
novembre	1,353E-01	3,382E-02	1,313E+00	3,014E+00	2,279E-01	3,382E-02	5,447E-01
décembre	7,532E-01	4,544E-02	1,970E+00	5,582E+00	4,884E-01	4,544E-02	1,154E+00
TOTAL	2,44E+00	3,19E-01	2,01E+01	2,03E+01	1,65E+00	1,12E+00	4,18E+00

v. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

Substances	Unité	2021	2022	2023	Prévisionnel 2023
Acide borique	kg	4950	1540	1,17E+03	6000
Ethanolamine	kg	8,3	24,7	1,01E+01	10
Hydrazine	kg	0,4	0,46	5,46E-01	0,5
Lithine	kg	0,5	0,42	7,71E-01	0,8
Détergents	kg	26	23,5	2,51E+01	27
Phosphates	kg	229	294	3.163E+02	250
Sodium	kg	167	214	2,32E+02	180
Ammonium	kg	2320	2070	1,66E+03	2300
Métaux totaux	kg	38	31	5,01E+01	40
MES	kg	292	256	3,11E+02	/
DCO	kg	1450	1490	1,85E+03	/

Commentaires :

- Acide borique : les rejets de l'année 2023 sont en deçà du prévisionnel en raison de la perte de la filière de traitement des effluents TEU Résiduaire sur une partie de l'année 2023. L'ensemble des effluents ont transité via la filière de traitement TEU Chimique dont l'exutoire du bore est différent.
- Phosphates : Les rejets de l'année 2023 sont au-dessus du prévisionnel de l'année en raison de travaux sur le système SIR (injection de phosphates) de chaque tranche afin de remplacer les alarmes et d'effectuer la maintenance des pompes d'injection.
- Métaux totaux : Les rejets de l'année 2023 sont au-dessus du prévisionnel de l'année en raison de différentes sources, le rejet des effluents NPGV sur le débit d'année 2023, et le nombre d'arrêts fortuits en plus des arrêts programmés.

vi. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets d'effluents non radioactfis liquides de l'année 2023 avec les valeurs limites de rejets fixées par l'arrêté du 29 décembre 2004.

	Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet
Substances	**Flux 24h (kg)**	**Valeur maximal calculée**	**Flux 2h (kg)**	**Valeur maximale calculée**	**Flux annuel ajouté (kg)**	**Flux annuel calculé**
Acide borique	5500	1,47E+02	460	1,23E+01	28000	1,17E+03
Ethanolamine	12	5,01E-01	/	/	910	1,01E+01
Hydrazine	5	3,49E-02	2	1,56E-02	28	5,46E-01
Lithine	/	/	/	/	8	7,71E-01
Détergents	367	6,34E-01	30	2,78E-01	3740	2,51E+01
Phosphates	50	1,83E+01	25	8,28E+00	1710	3.163E+02
Sodium	/	/	/	/	1240	2,32E+02
Ammonium	60	4,45E+01	45	1,90E+01	3700	1,66E+03
Métaux totaux	14	7,67E-01	/	/	/	/
MES	298	5,49E+00	/	/	/	/
DCO	433	6,92E+01	/	/	/	/

Commentaires : Les rejets liquides chimiques respectent les valeurs limites annuelles de rejet 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 anti-tartre et au traitement biocide du CNPE de Nogent-sur-Seine pour l'année 2023.

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)	CRT (kg)	Ammonium (kg)	Nitrites (kg)	Nitrates (kg)	Sulfates (kg)	DCO (kg)	Antitartre organique (kg)	Sodium (kg)
Janvier	/	/	/	/	/	/	/	1,26E+06	6,60E+03	6,10E+03	6,00E+02
Février	/	/	/	/	/	/	/	1,10E+06	6,00E+03	5,50E+03	6,00E+02
Mars	/	/	/	/	/	/	/	1,12E+06	7,00E+03	6,40E+03	1,00E+03
Avril	5,49E+03	3,57E+03	7,28E+00	8,59E+01	0,00E+00	1,38E+01	4,97E+03	7,54E+05	5,41E+03	4,97E+03	4,97E+02
Mai	7,50E+03	4,90E+03	5,82E+01	1,54E+01	0,00E+00	0,00E+00	6,64E+03	6,41E+05	3,00E+03	3,00E+03	3,00E+02
Juin	9,26E+03	6,16E+03	1,10E+01	8,64E+00	2,80E+01	0,00E+00	7,42E+03	6,49E+05	3,00E+03	3,00E+03	3,08E+02
Juillet	1,71E+04	1,14E+04	3,77E+01	3,14E+01	1,12E+01	0,00E+00	1,40E+04	9,38E+05	5,53E+03	5,07E+03	5,07E+02
Août	1,09E+04	7,34E+03	3,35E+01	4,80E+01	2,38E+01	5,49E+00	8,06E+03	7,82E+05	5,22E+03	4,79E+03	4,79E+02
Septembre	1,41E+04	9,57E+03	4,85E+01	8,27E+01	5,20E+01	1,55E+01	1,00E+04	6,27E+05	4,18E+03	3,84E+03	4,00E+02
Octobre	/	/	/	/	/	/	/	2,70E+05	2,55E+03	2,34E+03	2,34E+02
Novembre	/	/	/	/	/	/	/	2,17E+05	1,51E+03	1,39E+03	1,39E+02
Décembre	/	/	/	/	/	/	/	3,83E+05	2,32E+03	2,13E+03	2,13E+02
TOTAL ANNUEL	**6,44E+04**	**4,29E+04**	**1,96E+02**	**2,72E+02**	**1,15E+02**	**3,48E+01**	**5,11E+04**	**8,76E+06**	**5,26E+04**	**4,83E+04**	**5,28E+03**

ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

Paramètres	Unité	2021	2022	2023	Prévisionnel N
Chlorures	Tonnes	72	65	64.4	66
Sodium	Tonnes	56	44	42.9	44
AOX	Kg	167	170	196	175
CRT	Kg	515	567	272	550
Ammonium	Kg	164	274	115	350
Nitrites	Kg	252	92	34.8	250
Nitrates	Tonnes	67	51	51.1	61
Sulfates	Tonnes	11908	10400	8760	10000
DCO	Tonnes	67	68	52.6	/
Antitartre organique	Tonnes	61	63	48.3	46
Sodium	Kg	6410	6540	5280	5300

Commentaires : Valeurs cohérentes avec le prévisionnel 2023.

iii. Comparaison aux limites

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

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

-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 (t)
Sulfates	53100	45100	4900	3820	15700	8760
Antitartre organique	436	277	40	23.1	170	48.3
Sodium	147	28.9	16	2.41	29	5.28
DCO	1200	302	/	/	/	/

Paramètres	Limite	Rejet
	Flux 2h ajouté (kg)	Valeur maximale (kg)
Chlorures	180	151
Sodium	116	102
AOX	3	0.41
CRT	9	0.93
Ammonium	3	0.66
Nitrites	9 (1) 34.4 (2)	0.36
Nitrates	165	61.8

(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 sans entraîner de dépassement du prévisionnel ou des limites. Le prévisionnel des flux chimiques peut être fluctuant pour permettre la maitrise des colonisations amibes et légionelles.

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

Ce paragraphe présente les concentrations maximales (mg/L) 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 2023.

i. Cumul mensuel

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

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Acide Borique	3,85E-02	2,03E-02	1,50E-02	7,14E-02	3,77E-02	1,02E-02	2,31E-02	3,22E-02	2,61E-02	2,71E-02	6,59E-01	9,74E-02
Ethanolamine	4,81E-04	3,64E-04	3,59E-04	9,61E-03	8,65E-04	5,98E-04	5,98E-04	6,17E-04	8,57E-04	4,21E-04	1,09E-02	6,76E-04
Hydrazine	1,12E-04	9,91E-05	8,82E-05	9,00E-05	8,65E-05	5,98E-05	4,97E-04	5,55E-04	5,83E-04	4,21E-05	2,54E-04	7,03E-04
DCO	1,20E+00	1,10E+00	1,20E+00	1,30E+00	7,80E-01	6,10E-01	1,30E+00	1,70E+00	1,00E-01	6,10E-01	5,10E-01	1,10E+00
Azote Total	7,90E-01	7,10E-01	7,40E-01	8,70E-01	8,70E-01	2,70E+00	1,40E+00	4,00E+00	3,40E+00	3,80E+00	1,00E+00	8,00E-02
Phosphate	2,25E-02	3,05E-02	2,03E-02	5,36E-02	5,55E-01	1,63E-01	1,13E-01	3,24E-02	2,32E-01	1,54E-01	5,40E-02	5,37E-02
Nitrates	/	/	/	3,35E+00	2,70E+00	1,44E+00	3,89E+00	3,37E+00	3,73E+00	/	/	/
Nitrites	/	/	/	3,29E-02	1,63E-01	1,55E-02	5,10E-02	2,22E-02	1,90E-01	/	/	/
Chlorures	3,40E+01	3,22E+01	4,57E+01	3,84E+01	3,84E+01	7,26E+01	5,19E+01	5,86E+01	5,58E+01	6,23E+01	5,48E+01	4,04E+01
Sodium	1,18E+01	1,11E+01	2,29E+01	1,37E+01	1,37E+01	2,12E+01	1,46E+01	2,30E+01	1,84E+01	2,59E+01	1,80E+01	1,29E+01
AOX	/	/	/	2,12E-02	1,63E-02	/	1,56E-02	7,38E-03	3,23E-02	/	/	/
THM	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
CRT	/	/	/	2,55E-02	1,45E-02	/	1,26E-02	2,69E-02	8,28E-02	/	/	/
Détergents	1,30E-03	6,92E-04	3,77E-04	1,05E-02	1,83E-02	3,32E-04	9,70E-04	1,46E-03	6,41E-03	5,58E-03	1,72E-03	1,64E-03
Métaux totaux	3,78E-03	2,18E-03	3,83E-03	9,34E-03	2,62E-02	6,66E-03	5,69E-03	6,39E-03	5,34E-03	4,59E-03	1,12E-02	1,43E-02
Hydrocarbures	<5.0E-02	<5.0E-02	<5.0E-02	<5.0E-02	<5.0E-02	<5.0E-02	<5.0E-02	<5.0E-02	<5.0E-02	<5.0E-02	<5.0E-02	<5.0E-02

ii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2023 avec les valeurs limites de rejets fixées par l'arrêté du 29 décembre 2004.

	Limite	Rejet
	Concentration maximale ajoutée (mg/L)	Valeur maximale calculée (mg/L)
Acide Borique	16	6,59E-01
Ethanolamine	0,12	1,09E-02
Hydrazine	0,06	7,03E-04
DCO	13	1,70E+00
Azote Total	4,8	4,00E+00
Phosphate	0,82	5,55E-01
Nitrates	11	3,89E+00
Nitrites	0,6	1,90E-01
Chlorures	90,7	7,26E+01
Sodium	41,7	2,59E+01
AOX	0,09	3,23E-02
THM	<0.001	/
CRT	0,3	8,28E-02
Détergents	1	1,83E-02
Métaux totaux	0,11	2,62E-02
Hydrocarbures	0,5	<0.05

Commentaires : RAS

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

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

4. Opérations exceptionnelles de rejets d'effluents liquides

Commentaires : Le CNPE de Nogent-sur-Seine a procédé en 2022 à une opération de nettoyage préventif des générateurs de vapeur (NPGV) lors de 1VP25. Une première partie des effluents générés ont été rejetés sur le mois décembre 2022, la seconde partie a été rejetée en 2023.

III. Rejets thermiques

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

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

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

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

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

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

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

1. En conditions climatiques normales

Les rejets thermiques issus du circuit de refroidissement du CNPE de 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, en aval du CNPE et un suivi des rejets thermiques conformément aux autorisations

de rejet en vigueur (*en moyenne sur 12H glissantes*). Le bilan des valeurs mensuelles de ces différents paramètres pour l'année 2023 sont présentés dans les tableaux suivants :

	Température amont (°C)		Echauffement amont-aval calculé (°C)		Température aval après mélange (°C)	
	Max	Moy	Max	Moy	Max	Moy
Janvier	10.3	7.7	0.7	0.4	10.9	8.1
Février	9.7	7.8	1.0	0.7	10.6	8.4
Mars	12.5	9.8	1.3	0.9	13.7	10.5
Avril	14.3	11.8	0.7	0.3	14.7	12.0
Mai	19.0	16.0	0.5	0.3	20.1	16.3
Juin	22.6	21.4	0.8	0.5	23.3	21.9
Juillet	22.9	20.8	1.0	0.7	23.8	21.5
Août	22.8	20.4	0.7	0.4	23.6	20.8
Septembre	21.9	19.6	0.7	0.4	22.8	20.0
Octobre	17.6	15.1	0.7	0.4	18.1	15.5
Novembre	12.6	10.2	0.3	0.2	13.0	10.3
Décembre	9.5	8.0	0.4	0.1	9.7	8.2

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	°C	3	1.3
Température aval après mélange	°C	28	23.8

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 2023.

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

Commentaires :

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

Partie 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 1er 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 depuis l'année 2023. 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 sont issus de l'exigence 5.4.1 de la décision ASN n°2016-DC-0578 dite « Amibes Légionelles ». Pour corréler 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 2023 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 et mesurés en aval dans le fleuve sont détaillés en annexe 1.

Paramètre	Valeur maximale observée en 202X	Seuil d'action
Legionella pneumophila	5 000 UFC / L	10 000 UFC / L
Naegleria fowleri	32 *N.fowleri* / L	100 *N.fowleri* / L

Pendant toute la durée du suivi microbiologique, 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 préventif estival communiquée en début d'année consistait en un traitement continu, suivi d'un traitement séquentiel. Le traitement séquentiel consiste en une injection continue de 8 heures par jour suivi d'un arrêt du traitement de 16h 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 2023 :

	Unités de production	
Paramètres	**N°1**	**N°2**
Date de démarrage du traitement	20/04/2023	29/08/2023
Date d'arrêt du traitement	21/09/2023	15/09/2023
Date d'arrêt de Tranche	23/09/2023 – 29/12/2023	14/04/2023 - 11/07/2023 13/11/2024 – 17/12/2023
Nombre de jour de traitement continu	32	11
Nombre de jour de traitement séquentiel	122	7
Date de mise en œuvre du traitement renforcé	Pas de passage en traitement renforcé	Pas de passage en traitement renforcé
Nombre de jours de Chloration massive	/	/
CRT moyen sortie condenseur (mg/L)	0,25	0,25
Consommation réelle d'eau de Javel (m3)	379	
Consommation réelle d'ammoniaque (m3)	64	

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 programmées ou inopinées de la part de l'ASN, qui réalise des expertises indépendantes.

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

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

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

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

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

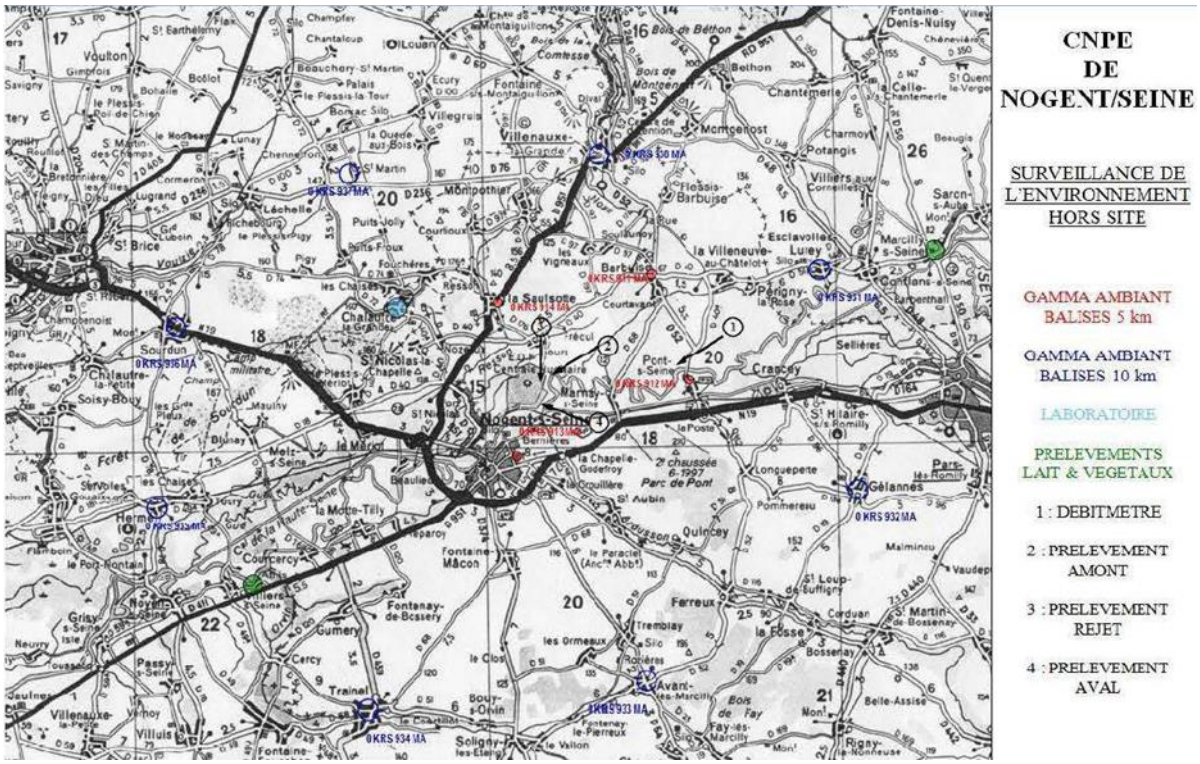
En règle générale, le plan d'échantillonnage contient des échantillons biologiques, qui constituent des voies de transfert possibles, directes ou indirectes, de la radioactivité vers l'homme (prélèvements de légumes, fruits, poissons, lait, eaux, herbes…) et des échantillons, appelés bioindicateurs,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

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

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

1. Surveillance de la radioactivité ambiante

Le système de surveillance de la radioactivité ambiante s'articule autour de 4 réseaux de balises radiamétriques (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 2023 sont présentés dans le tableau suivant. Les débits de dose maximaux et les données relatives aux années antérieures sont également présentés à titre de comparaison.

Réseau de mesure	Débit de dose moyen année 2023 (nSv/h)	Débit de dose max année 2023 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2022 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2021 (nSv/h)
Clôture	8,10E+01	1,66E+02	8,07E+01	7,98E+01
1 km	8,51E+01	1,62E+02	8,17E+01	8,05E+01
5 km	8,47E+01	1,68E+02	8,58E+01	8,66E+01
10 km	9,23E+01	1,70E+02	9,28E+01	9,24E+01

Commentaires : Pour les quatre réseaux, les débits de dose moyens enregistrés pour l'année 2023 sont de l'ordre de grandeur du bruit de fond et cohérentes avec les résultats des années antérieures.

2. Surveillance du compartiment atmosphérique

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

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

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

Les résultats des mesures réalisées sur le compartiment atmosphérique pour l'année 2023 sont donnés dans le tableau suivant.

Compartiment	Paramètres		Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée	Limite réglementaire (pour chaque analyse)
Poussières atmosphériques	Bêta globale		5,27E-04 (Bq/Nm3)	3,07E-03 (Bq/Nm3)	0,01 Bq/m^3
	Spectrométrie gamma	^{58}Co	<1.13^{e}-5	<2.40^{e}-5	
		^{60}Co	<7.73^{e}-5	<1.20-5	
		^{134}Cs	<7.77^{E}-6	<1.30^{e}-5	
		^{137}Cs	<6.73^{e}-6	<9.80^{e}-6	
		^{40}K	<1.68^{e}-4	<2.90^{e}-4	
Tritium atmosphérique			< 0.16 Bq/m^3	<2.3E-01 Bq/m^3	50 Bq/m^3
Eau de pluie	Bêta globale		2.52E-01 Bq/L	5.06E-01 Bq/L	-
	Tritium		< 4.75 Bq/L	<5.4 Bq/L	-

Commentaires : Les mesures de surveillance du compartiment atmosphérique pour l'année 2023 sont cohérentes en moyenne avec les valeurs du bruit de fond. Les mesures de l'activité bêta globale et de l'activité en tritium atmosphérique sont très inférieures aux limites réglementaires.

3. Surveillance du milieu terrestre

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

Nature du prélèvement	Radionucléide		Périodicité	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée
Végétaux terrestres (Bq/kg sec)	Spectrométrie gamma	^{58}Co	Mensuelle	<0.33	<0.47
		^{60}Co		<0.31	<0.46
		^{134}Cs		<0.30	<0.42
		^{137}Cs		<0.30	<0.40
		^{40}K		447	840
Lait (Bq/L)	Spectrométrie gamma	^{58}Co	Mensuelle	<0.34	<0.49
		^{60}Co		<0.44	<0.52
		^{134}Cs		<0.36	<0.77
		^{137}Cs		<0.33	<0.40
		^{40}K		50	60

Commentaires : RAS.

Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment terrestre ainsi que leur interprétation pour l'année 2022 sont présentés dans le rapport du suivi radioécologique annuel, présenté en **annexe 2**.

4. Surveillance du milieu aquatique

Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment aquatique ainsi que leur interprétation pour l'année 2022 sont présentés dans le rapport du suivi radioécologique annuel, présenté en **annexe 2**.

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
Tritium	Bq/L	<5.6
Bêta global	Bq/L	4.71E-01
Bêta global MES	Bq/L	1.10^{E}-01

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.

Paramètre	Unité	Valeur maximale
Conductivité	µS/cm	1,15E+03
COT	mg/L	1,60E+00
Chlorures	mg/L	1,60E+02
DCO	mg/L	2,00E+01
Hydrocarbures (C10-C40)	mg/L	1,00E-01
Phosphates	mg/L	6,00E-02
Polyacrylates	mg/L	2,50E-02
Potassium	mg/L	8,50E+00
Sulfates	mg/L	1,30E+02
Azote Kjeldhal	mg/L N	1,00E+00
Nitrates	mg/L	3,10E+01
Nitrites	mg/L	4,00E-02
Aluminium total	mg/L	1,00E-02

Arsenic total	mg/L	2,00E-03
Cadmium total	mg/L	1,00E-03
Chrome total	mg/L	5,00E-03
Cuivre total	mg/L	1,00E-02
Fer total	mg/L	2,73E+00
Manganese total	mg/L	2,65E-01
Mercure total	mg/L	1,00E-05
Nickel total	mg/L	5,00E-03
Plomb total	mg/L	2,00E-03
Zinc total	mg/L	2,63E-01
Aluminium dissous	mg/L	1,00E-02
Arsenic dissous	mg/L	2,00E-03
Cadmium dissous	mg/L	1,00E-03
Chrome dissous	mg/L	5,00E-03
Cuivre dissous	mg/L	1,00E-02
Fer dissous	mg/L	2,00E-02
Manganese dissous	mg/L	2,50E-01
Mercure dissous	mg/L	1,00E-05
Nickel dissous	mg/L	5,00E-03
Plomb dissous	mg/L	2,00E-03
Zinc dissous	mg/L	1,96E-01

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 2023 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)	10.7	11.3	11.5	10.2	10.1	8.4	8.7	8.3	8.6	9.2	9.2	9.9
Conductivité (µS/cm)	525	535	517	503	489	469	424	381	359	350	506	536
pH	8.2	8.2	8.4	8.3	8.3	8.1	8.1	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Température	7.7	7.8	9.8	11.8	16.0	21.4	20.8	20.4	19.6	15.1	10.2	8.0

Commentaires : RAS

Station rejet	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Oxygène dissous (mg/L)	9.8	10.0	9.5	10.1	9.3	8.7	8.5	8.7	8.7	9.3	10.6	11.2
Conductivité (µS/cm)	778	804	768	627	654	563	633	571	550	434	540	560
pH	8.1	8.2	8.3	8.3	8.2	8.1	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
Température	19.6	19.1	21.1	18.1	21.5	24.5	26.3	25.6	25.2	21.1	14.4	12.6

Station aval	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Oxygène dissous (mg/L)	10.9	11.3	11.3	10.1	10.0	8.4	8.6	8.2	8.6	9.1	9.1	9.8
Conductivité (µS/cm)	534	556	534	502	510	496	454	397	376	360	514	543
pH	8.1	8.2	8.3	8.2	8.2	8.0	8.1	8.1	8.0	8.0	8.1	8.1
Température	8.1	8.4	10.7	12.1	16.3	21.9	21.5	20.8	20.0	15.5	10.4	8.2

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 le laboratoire IANESCO, 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	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Température (°C)	10	7	7	10	15	20	20	19	21	18	13	6
Conductivité (µS/cm)	524	543	537	500	488	483	470	390	383	388	431	554
O2 (mg/L)	10,7	11,7	12,3	10,6	9,9	9,4	8,6	8,8	8,8	9,2	9,4	11,1
pH	8,2	8,2	8,2	8,3	8,2	8,1	8,1	8	8,1	8	8,2	8,2
Saturation en O2 (%)	94,9	93,3	102	94,9	101	103	94	95	99	97	92	91
Turbidité (FNU)	7,2	4,3	2,9	37	5,9	2,2	3,4	6,4	2,2	2,7	17	8,1
TAC (°f)	21,5	22,2	20,7	21,9	20,4	19,4	19,4	15,6	15,8	13,7	17	22,7
TH (°f)	26,6	27,8	24,4	24,1	25,3	23,5	24,4	17,4	18,2	15,9	20,8	29
COT (mg/L)	1,6	1,5	1,2	3,1	1,6	1,7	1,6	2,4	1,6	1,6	3,2	2,5
COD (mg/L)	1,5	1,3	1,2	2,7	1,6	1,4	1,5	2,4	1,6	1,6	3,1	2,5
Silicate solubles (SIO3) mg/L	7,5	7,8	2,5	6,6	5,1	4,8	7	6	4	3,8	7,4	8,6
Calcium (mg/L)	100	105	92	91	95	88	91	64	67	58	77	110
Magnésium (mg/L)	3,9	3,7	3,5	3,4	3,7	3,6	4	3,5	3,6	3,5	3,8	3,7
Sodium (mg/L)	6,2	6	7,6	4	5,5	7,6	6,6	4,6	5,4	5,3	4,8	5,1
Potassium (mg/L)	2,1	1,7	1,8	1,7	1,7	1,9	1,9	4,5	1,6	1,3	2,2	1,8
Hydrogénocarbonates (mg/L)	262	271	253	267	249	237	237	190	193	167	207	277
Sulfates (mg/L)	21	21	21	18	19	18	18	17	15	14	19	20
DBO5 (mg/L)	1	0,8	<0,5	<0,5	<0,5	0,8	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,7
DCO (mg/L)	<10	<10	<10	15	<10	<10	<10	<10	<10	<10	13	10
MES (mg/L)	9	5	3	36	8,2	<2	<2	7	<2	2,2	20	7,3
Nitrates (mg/L)	27	29	27	25	25	19	17	14	11	10	21	25
Nitrites (mg/L)	0,05	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07	0,03	0,03	0,02	0,02	0,04	0,04
Ammonium (mg/L)	0,03	0,03	0,01	0,04	0,04	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,08	0,02
Chlorures (mg/L)	15	18	20	10	14	19	16	10	11	11	10	13
Azote Kjedhal (mg/L)	<0,5	<0,5	<0,5	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Phosphore total (mg/L)	0,04	0,03	0,05	0,08	0,04	0,02	0,04	0,05	0,03	0,03	0,07	0,05
Bore (mg/L)	<005	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,06	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Orthophosphates (mg/L)	0,07	0,06	0,07	0,08	0,04	0,04	0,07	0,07	0,1	0,06	0,09	0,07
Hydrazine (µg/L)	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10

Station Nogent (aval immédiat)	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Température (°C)	10	7	7	10	15	21	20	19	21	18	13	6
Conductivité (µS/cm)	540	555	561	507	496	500	487	396	402	338	434	558
O2 (mg/L)	10,6	12,3	12,4	10,7	9,9	9,2	8,6	8,9	8,8	9,2	9,5	11,3
pH	8,2	8,2	8,2	8,3	8,2	8,1	8,1	8	8,1	8	8,2	8,2
Saturation en O2 (%)	95,3	101,3	104	95,3	102,3	107	95	96	100	98	92	91
Turbidité (FNU)	7,9	4,3	3,3	37	6,1	2,8	5	7,3	2,7	3	27	7,7
TAC (°f)	20,7	21,5	20	21,6	20,4	19,2	18,9	15,3	15,1	13,6	16,7	22,8
TH (°f)	27,9	26,5	26	23,6	25,5	24,5	24,9	18,5	19,1	15,6	20,8	29
COT (mg/L)	1,6	1,4	1,3	3	1,6	1,6	1,6	2,5	1,6	1,6	3,2	2,6
COD (mg/L)	1,5	1,4	1,3	2,8	1,7	1,5	1,6	2,5	1,7	1,6	3,1	2,6
Silicate solubles (SIO3) mg/L	7,7	7,8	2,6	6,7	5,1	4,9	7,3	6,1	4,2	3,9	7,4	8,7
Calcium (mg/L)	105	100	98	89	96	92	93	68	70	57	77	110
Magnésium (mg/L)	3,9	3,7	3,7	3,4	3,7	3,7	4,1	3,7	3,8	3,4	3,8	3,7
Sodium (mg/L)	6,3	6,1	7,8	4	5,6	7,8	7	4,9	6,2	5,3	4,9	5,1
Potassium (mg/L)	2,2	2	1,8	1,6	1,7	2	1,9	1,9	2,1	1,3	2,3	1,8
Hydrogénocarbonates (mg/L)	253	262	244	264	249	234	231	187	184	166	204	278
Sulfates (mg/L)	32	32	34	24	22	28	27	21	28	15	20	19
DBO5 (mg/L)	0,9	0,8	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,7	<0,5	<0,5	0,8
DCO (mg/L)	<10	<10	<10	11	<10	<10	<10	<10	<10	<10	15	<10
MES (mg/L)	9	5	3	34	7,8	<2	6	7,2	<2	2,4	22	6,5
Nitrates (mg/L)	28	29	28	25	21	20	18	15	12	10	21	25
Nitrites (mg/L)	0,05	0,03	0,03	0,04	0,07	0,13	0,03	0,03	0,02	0,01	0,04	0,04
Ammonium (mg/L)	0,03	0,03	0,01	0,05	0,03	0,06	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Chlorures (mg/L)	16	18	21	10	14	19	16	11	12	10	11	13
Azote Kjedhal (mg/L)	<0,5	<0,5	<0,5	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,5	<0,5
Phosphore total (mg/L)	0,04	0,03	0,02	0,08	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,08	0,05
Bore (mg/L)	<0,05	<0,05	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	<0,05	0,05	0,06	<0,05	<0,05
Orthophosphates (mg/L)	0,08	0,06	<0,02	0,08	0,04	0,03	0,08	0,06	0,08	0,07	0,09	0,07
Hydrazine (µg/L)	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10

Station La Motte Tilly (aval lointain)	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Température (°C)	10	7	7	11	16	22	21	19	22	19	13	6
Conductivité (µS/cm)	546	561	563	507	498	493	485	397	404	343	422	554
O2 (mg/L)	11	12,7	13	11	10,3	10,3	9,5	9,1	9,4	10	9,8	11,3
pH	8,2	8,2	8,3	8,2	8,2	8,2	8,2	8,1	8,2	8	8,2	8,2
Saturation en O2 (%)	98,4	103,8	109	97,8	105,2	118	107	100	110	107	95	93
Turbidité (FNU)	6,5	5,2	0,78	32	6,6	2,3	1,9	6,5	2,9	2,8	18	8,7
TAC (°f)	20,9	22,9	20,6	21,6	20,4	19,0	18,6	15,4	15,5	13,7	16,3	22,9
TH (°f)	27,9	26,5	25,5	22,9	26,4	23,8	23,6	18	18,8	15,9	21,3	26,5
COT (mg/L)	1,7	1,6	1,4	3,2	1,9	1,7	1,8	2,7	1,6	1,6	3,2	2,8
COD (mg/L)	1,6	1,5	1,4	2,8	1,8	1,5	1,7	2,6	1,7	1,6	3,2	2,8
Silicate solubles (SIO3) mg/L	8	8,2	2,8	6,7	5,3	4,9	7,6	6,3	4,3	4	7,2	9
Calcium (mg/L)	105	100	96	86	99	89	88	66	69	58	79	100
Magnésium (mg/L)	3,9	3,6	3,7	3,3	3,9	3,7	4	3,6	3,7	3,4	3,8	3,7
Sodium (mg/L)	6,9	6,3	8,1	4,1	5,9	7,9	7,1	4,9	6,1	5,7	5,1	5,2
Potassium (mg/L)	2,4	2,2	2,1	1,8	2	2,3	2,3	2,1	2	1,7	2,4	1,9
Hydrogénocarbonates (mg/L)	255	279	251	264	249	229	224	188	189	167	199	279
Sulfates (mg/L)	32	30	33	23	22	27	27	20	25	15	20	19
DBO5 (mg/L)	1	0,8	<0,5	<0,5	<0,5	0,6	<0,5	<0,5	0,7	<0,5	<0,5	0,5
DCO (mg/L)	<10	<10	<10	11	<10	<10	<10	<10	<10	<10	14	<10
MES (mg/L)	9	5	3	30	7,2	<2	2,5	4,7	<2	2,8	17	7,6
Nitrates (mg/L)	27	29	27	25	21	20	17	15	11	9,9	20	25
Nitrites (mg/L)	0,05	0,03	0,03	0,04	0,04	0,06	0,04	0,03	0,03	0,02	0,04	0,04
Ammonium (mg/L)	0,04	0,03	0,01	0,05	0,03	0,05	0,03	0,02	0,07	0,02	0,02	0,02
Chlorures (mg/L)	17	19	21	11	15	20	17	11	13	11	11	13
Azote Kjedhal (mg/L)	<0,5	<0,5	<0,5	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Phosphore total (mg/L)	0,04	0,04	0,02	0,08	0,04	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03	0,06	0,05
Bore (mg/L)	<0,05	<0,05	0,06	<0,05	<0,05	<0,05	0,07	0,06	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Orthophosphates (mg/L)	0,08	0,07	0,02	0,08	0,04	0,04	0,09	0,08	0,06	0,06	0,09	0,08
Hydrazine (µg/L)	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10

Commentaires : Les résultats du suivi de l'année 2023 sont globalement du même ordre de grandeur que ceux des années précédentes et cohérents avec l'évolution saisonnière ou les fluctuations naturelles de ces paramètres dans le milieu. Il n'y a pas de différence notable de ces paramètres entre les stations amont et aval.

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 ;
- 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 dans la Seine en amont, aval immédiat et en aval du CNPE. Les tableaux suivants présentent les valeurs mesurées aux trois stations amont et aval sur l'année 2023.

Paramètres Station amont		Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Métaux totaux (µg/L)	Fraction brute	345	291	90	1 768	333	61	96	284	79	141	985	353
	Fraction dissoute	11	13	13	12	15	17	11	21	14	16	22	16
Aluminium (µg/L)	Fraction brute	150	110	35	860	160	25	37	120	28	52	420	150
	Fraction dissoute	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	3	<2	<2	<2	<2
Chrome (µg/L)	Fraction brute	0,6	0,8	<0,5	2	0,6	<0,5	<0,5	0,6	<0,5	<0,5	1,2	0,6
	Fraction dissoute	<0,5	<0,5	<0,5	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,6	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Cuivre (µg/L)	Fraction brute	0,9	1,3	0,6	1,4	0,9	1,3	0,7	1	0,5	0,4	1,3	0,8

	Fraction dissoute	0,5	0,5	0,4	0,6	0,5	0,6	0,6	0,7	0,4	0,4	0,7	0,7
Fer (µg/L)	Fraction brute	180	160	48	860	160	29	52	150	45	82	540	190
	Fraction dissoute	5	5	7	7	8	9	6	11	9	8	16	10
Manganèse (µg/L)	Fraction brute	8,2	7	3,7	24	7	3,5	3,9	5,9	3,4	2,6	16	7,4
	Fraction dissoute	2,8	3,3	2,7	1,4	3	3,3	2,1	1,8	2,2	2,5	2,1	2,8
Nickel (µg/L)	Fraction brute	0,7	0,9	0,6	1,5	0,7	0,4	0,5	2,2	0,5	0,4	1,2	1,6
	Fraction dissoute	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	1,8	0,4	0,3	0,6	0,6
Plomb (µg/L)	Fraction brute	0,3	0,2	<0,2	0,9	0,2	<0,2	<0,2	0,3	<0,2	<0,2	0,6	<0,2
	Fraction dissoute	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Zinc (µg/L)	Fraction brute	4	11	2	18	4	1	2	4	1	3	5	2
	Fraction dissoute	1	2	1	<1	2	2	1	2	<1	3	1	1

Ethanolamine (µg/L)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Détergents (mg/L)	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Hydrocarbures (µg/L)	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50

Paramètres Station Nogent (aval immédiat)		Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Métaux totaux (µg/L)	Fraction brute	344	97	96	1 712	332	94	230	263	112	107	955	362
	Fraction dissoute	11	11	13	14	16	35	13	18	17	14	22	16
Aluminium (µg/L)	Fraction brute	140	33	37	840	160	22	85	120	45	44	430	170
	Fraction dissoute	<2	<2	<2	<2	<2	4	<2	<2	2	<2	<2	<2
Chrome (µg/L)	Fraction brute	0,6	<0,5	<0,5	1,9	0,6	<0,5	<0,5	0,7	<0,5	<0,5	1,2	0,8
	Fraction dissoute	<0,5	<0,5	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,6	0,5	<0,5	<0,5	<0,5

Cuivre (µg/L)	Fraction brute	1	0,5	0,7	1,7	0,8	1	0,9	1,5	1,2	0,3	3,4	0,8
	Fraction dissoute	0,5	0,4	0,5	0,9	0,6	1	0,6	0,6	0,6	0,3	0,7	0,6
Fer (µg/L)	Fraction brute	190	56	52	830	160	62	110	130	55	58	500	180
	Fraction dissoute	2,6	3	2,6	1,5	2,8	3,3	2,2	1,5	2,6	2,2	2,3	2,8
Manganèse (µg/L)	Fraction brute	8,7	5,3	3,7	22	6,8	4,8	5,4	5	4	2,2	13	7,1
	Fraction dissoute	2,6	3	2,6	1,5	2,8	3,3	2,2	1,5	2,6	2,2	2,3	2,8
Nickel (µg/L)	Fraction brute	0,7	0,4	0,6	1,5	0,7	0,6	0,7	1,5	0,8	0,3	1,1	0,9
	Fraction dissoute	0,5	0,5	0,5	0,6	0,4	0,5	0,5	0,8	0,4	0,3	0,6	0,6
Plomb (µg/L)	Fraction brute	0,3	<0,2	<0,2	0,8	0,2	<0,2	<0,2	0,2	0,2	<0,2	0,6	<0,2
	Fraction dissoute	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Zinc (µg/L)	Fraction brute	3	1	2	14	3	3	28	4	6	2	6	2

	Fraction dissoute	1	1	1	1	1	3	1	1	2	2	1	<1
Ethanolamine (µg/L)		<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Détergents (mg/L)		<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Hydrocarbures (µg/L)		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	**53**	<50

Paramètres Station La Motte Tilly (aval éloigné)		**Jan**	**Fév**	**Mar**	**Avr**	**Mai**	**Jui**	**Juil**	**Aou**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Déc**
Métaux totaux (µg/L)	Fraction brute	313	129	70	1531	323	69	87	187	98	105	872	342
	Fraction dissoute	12	15	14	15	16	18	14	19	20	16	23	24
Aluminium (µg/L)	Fraction brute	130	57	24	730	150	21	35	76	39	39	370	150
	Fraction dissoute	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2	3	<2	2	8
Chrome (µg/L)	Fraction brute	0,6	<0,5	<0,5	1,7	0,6	<0,5	<0,5	0,6	<0,5	<0,5	1,2	0,7

	Fraction dissoute	<0,5	<0,5	<0,5	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Cuivre (µg/L)	Fraction brute	0,8	0,5	0,5	1,7	0,8	0,7	0,7	1	0,8	0,3	1,2	0,8
	Fraction dissoute	0,5	0,5	0,4	1	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,3	0,7	0,7
Fer (µg/L)	Fraction brute	170	64	39	760	160	40	45	100	51	60	480	180
	Fraction dissoute	6	7	8	9	9	10	8	12	12	9	16	11
Manganèse (µg/L)	Fraction brute	8,2	6,1	4,1	19	6,7	4,4	3,8	4,7	4,5	2,6	13	7,1
	Fraction dissoute	3	3,7	3,1	1,6	3,3	3,1	2,6	2,3	3,1	2,6	2,3	2,7
Nickel (µg/L)	Fraction brute	0,7	0,5	0,6	1,4	0,7	0,5	0,6	1,4	0,6	0,3	1,1	0,9
	Fraction dissoute	0,5	0,5	0,5	0,7	0,5	0,5	0,5	0,9	0,5	0,3	0,6	0,7
Plomb (µg/L)	Fraction brute	0,2	<0,2	<0,2	0,7	0,2	<0,2	<0,2	0,2	<0,2	<0,2	0,5	<0,2
	Fraction dissoute	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2

Zinc (µg/L)	Fraction brute	3	1	1	16	4	2	2	3	2	2	5	2
	Fraction dissoute	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1
Ethanolamine (µg/L)		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Détergents (mg/L)		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Hydrocarbures (µg/L)		<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4

Commentaires : RAS.

IV. Physico-chimie et Hydrobiologie

Chaque année, le CNPE confie la réalisation de la surveillance physico-chimique et hydrobiologique à Aquabio. 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 déceler une évolution anormale de l'écosystème, sur le long terme, qui pourrait être attribuable au fonctionnement du CNPE. Au contraire, les surveillances en conditions climatiques exceptionnelles et situations exceptionnelles ont plutôt pour objectif d'étudier la réponse à court terme de l'écosystème sous conditions de débits contraints et températures ambiantes élevées, le CNPE étant en fonctionnement.

1. Surveillance pérenne

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

Au vu des analyses hydrobiologiques effectuées en 2023, en amont, en aval proche et en aval éloigné du CNPE de Nogent-sur-Seine, nous aboutissons aux conclusions suivantes :
> Le fonctionnement du CNPE n'a pas d'influence notable sur l'état biologique et physico-chimique de la Seine.

> La biomasse phytoplanctonique est globalement très faible sur les différentes stations mais un pic notable de concentration est observé sur la station en amont du rejet au mois d'aout.
> L'étude du peuplement phytoplanctonique témoigne d'une très faible production algale tout au long du suivi 2023, pouvant être l'impact résiduel de la canicule de 2022. Les concentrations cellulaires sont plus élevées en amont du CNPE, ainsi l'influence du fonctionnement du CNPE ne peut être exclue concernant les résultats obtenus en aval immédiat. Cependant cette influence semble se limiter a l'aval immédiat (secteur plus lotique en aval éloigné).
> L'ensemble des résultats des Indices biologiques Diatomées (IBD) témoignent d'un bon état biologique global et ne mettent pas en évidence d'altération notable de la qualité de l'eau en aval du rejet.
> Les résultats des deux indices macro invertébrés (IBGA-DCE et I2M2 CEP) indiquent un globalement un très bon état biologique sur l'ensemble des stations et au cours des deux campagnes. L'analyse des métriques semblent tout de même indiquer l'existence de dégradations la qualité de l'eau sur les trois stations.
> L'Indice Biologique Macrophytique en Rivière (IBMR) indique un bon état biologique avec des résultats comparables entre les stations amont et aval immédiat du rejet du CNPE.
> Le peuplement piscicole ne semble pas altérer sur les 3 sites étudiés. Les notes de l'IPR sont légèrement moins bonnes en aval immédiat et les meilleurs résultats sont obtenus en aval éloigné, signe que le peuplement est légèrement perturbé localement (influence potentielle du Canal de Dérivation de Berrieres à Conflans). L'IPR+ semble mettre en évidence un déséquilibre du peuplement au niveau de la station située aval éloigné.
> L'état sanitaire du peuplement piscicole ne signale aucune pathologie significative sur l'ensemble des communautés de poisson.
> L'IOBS calcule a partir des oligochètes présents témoigne d'une qualité de sédiment altérée en aval immédiat du rejet du CNPE (qualité mauvaise). La qualité en amont et aval éloigné n'a pu être déterminée en raison d'un trop faible effectif d'oligochètes.
> La qualité physico-chimique ne semble pas être altérée sur les 3 sites suivis en 2023.
> **La qualité globale du milieu est comparable entre 2022 et 2023. La production phytoplanctonique présente une tendance comparable à l'année dernière avec des écarts significatifs de concentration cellulaire entre la station amont et les stations situées en aval du CNPE.**

Le rapport complet est disponible sur demande auprès du CNPE de Nogent-sur-Seine.

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 2023, 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 2023, 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 nucléaire 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 1er 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, par le biais du numéro vert du CNPE mais aussi en s'adressant directement aux mairies dans un rayon de 2 km, lors de la réalisation d'opérations pouvant générer du bruit, comme par exemple lors de la réalisation de certains essais périodiques sur l'installation.

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

Une surveillance des niveaux de radioactivité est effectuée dans l'environnement du CNPE de 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 que la radioactivité mesurée dans l'environnement du CNPE est principalement d'origine naturelle. Les niveaux de radioactivité artificielle mesurés dans l'environnement du CNPE sont faibles et trouvent pour partie leur origine dans d'autres sources (retombées atmosphériques des essais nucléaires, Tchernobyl,…). L'analyse détaillée des résultats est présentée dans le rapport du suivi radioécologique annuel réalisé par l'IRSN, présenté en annexe 2.
L'IRSN produit également un bilan radiologique de l'environnement français disponible au lien suivant :
https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/environnement/IRSN-ENV_Bilan-Radiologique-France-2018-2020.pdf
À partir des activités annuelles rejetées par radionucléide, une dose efficace1 est calculée en tenant compte des mécanismes de transfert de l'environnement jusqu'à l'homme. Cette dose permet de « mesurer » le niveau d'exposition attribuable aux rejets d'effluents radioactifs liquides et atmosphériques d'une installation et de le positionner par rapport à la limite réglementaire pour l'exposition de la population aux rayonnements ionisants conformément à l'article R1333-11 du Code de la Santé Publique.

Le calcul de dose efficace annuelle tient compte de données spécifiques à chaque CNPE telles que les conditions météorologiques, les habitudes alimentaires des riverains, les conditions de dispersion des effluents rejetés dans le milieu récepteur, etc. Les données alimentaires et les temps consacrés aux activités intérieures ou extérieures dans les environnements terrestre et aquatique ont été actualisés en 2013-2014 avec les dernières bases de données et enquêtes disponibles.
Les principales hypothèses retenues sont les suivantes :
- les habitants consomment pour partie des aliments produits dans l'environnement proche du CNPE ;
Ils vivent toute l'année à proximité de leur lieu d'habitation (non prise en compte de leurs périodes d'absence pour le travail, les vacances…) ;
- 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.

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

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.

<table>
<tr><th>Types déchet</th><th>Niveau d'activité</th><th>Durée de vie</th><th>Classification</th><th>Conditionnement</th></tr>
<tr><td>Filtres d'eau et résines primaires</td><td>Faible et Moyenne</td><td rowspan="8">Courte</td><td>FMA-VC (faible et moyenne activité à vie courte)</td><td>Fûts, coques</td></tr>
<tr><td>Filtres d'air</td><td rowspan="7">Très faible, Faible et Moyenne</td><td rowspan="7">TFA (très faible activité), FMA-VC</td><td rowspan="7">Casiers, big-bags, futs, coques, caissons</td></tr>
<tr><td>Résines secondaires</td></tr>
<tr><td>Concentrats, boues</td></tr>
<tr><td>Pièces métalliques</td></tr>
<tr><td>Matières plastiques, cellulosiques</td></tr>
<tr><td>Déchets non métalliques (gravats...)</td></tr>
<tr><td>Déchets graphite</td><td>Faible</td><td rowspan="2">Longue</td><td>FA-VL (faible activité à vie longue)</td><td>Entreposage sur site</td></tr>
<tr><td>Pièces métalliques et autres déchets actives</td><td>Moyenne</td><td>MA-VL (moyenne activité à vie longue)</td><td>Entreposage sur site (en piscine de refroidissement pour les grappes et autres déchets actives REP)</td></tr>
</table>

2. Le transport des déchets

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

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

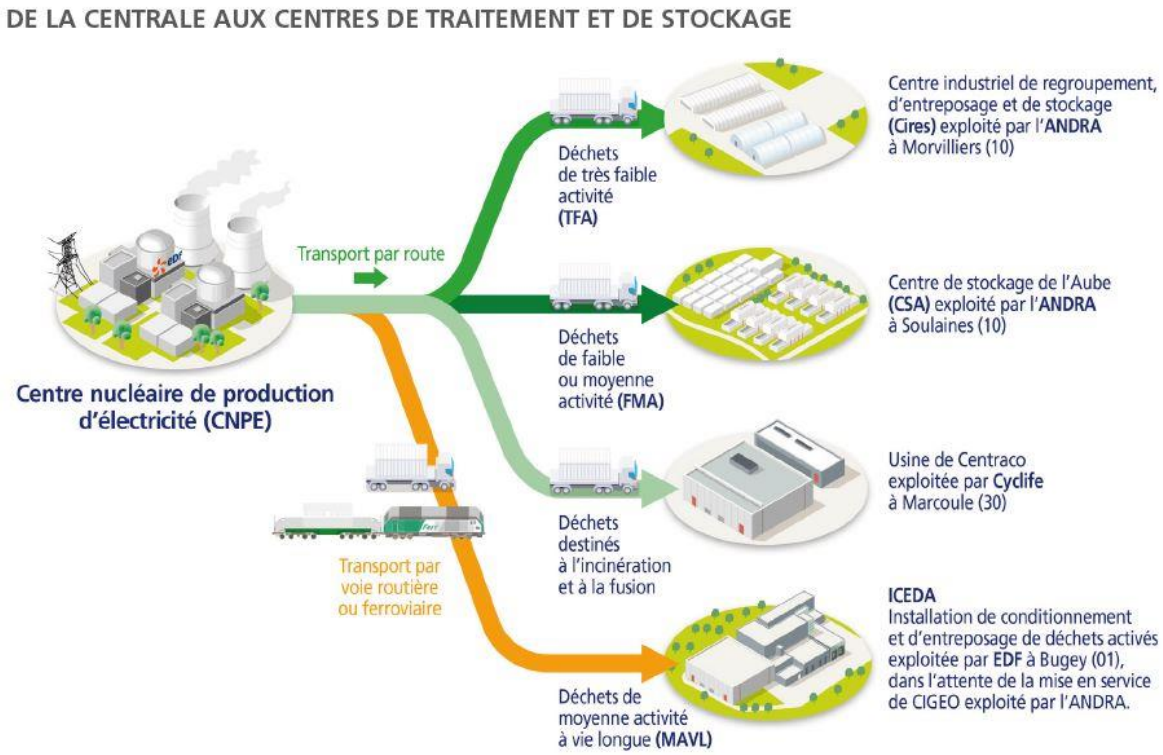


Figure 2 : Transport des déchets radioactifs (Source : EDF)

3. Les quantités de déchets entreposées au 31/12/2023

Le tableau suivant présente les quantités de déchets en attente de conditionnement au 31 décembre 2023 pour les 2 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Nogent-sur-Seine.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2023	Commentaires
TFA	333 (tonnes)	
FMAVC (Liquides)	26 (tonnes)	
FMAVC (Solides)	239 (tonnes)	

FAVL	0	
MAVL	275 (nombre d'objet)	

Le tableau suivant présente les quantités de déchets conditionnés en attente d'expédition au 31 décembre 2023 pour les 2 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Nogent-sur-Seine.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2023 en nombre de colis	Type d'emballage
TFA	5	
FMAVC (Liquides)	25	
FMAVC (Solides)	213	
FAVL	0	
MAVL	0	

Le tableau suivant présente le nombre de colis évacués et les sites d'entreposage en 2023 pour les 2 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Nogent-sur-Seine.

Site destinataire	Nombre de colis évacués
Cires à Morvilliers	135
CSA à Soulaines	495
Centraco à Marcoule	1411

En 2023, 2041 colis ont été évacués vers les différents sites de traitement ou de stockage appropriés (Centraco et Andra).

II. Les déchets non radioactifs

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

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

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

- les déchets inertes (DI), qui ne contiennent aucune trace de substances toxiques ou dangereuses, et ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante pour l'environnement (déchets minéraux, verre, déblais, terres et gravats, …) ;

- les déchets non dangereux non inertes, qui ne présentent aucune des propriétés qui rendent un déchet dangereux (gants, plastiques, déchets métalliques, papier/carton, caoutchouc, bois, câbles électriques, …) ;
- les déchets dangereux (DD) qui contiennent des substances dangereuses ou toxiques, ou sont souillés par de telles substances (accumulateurs au plomb, boues/terres marquées aux hydrocarbures, résines, peintures, piles, néons, déchets inertes et industriels banals souillés, déchets amiantifères, bombes aérosols, …).

Le tableau ci-dessous présente les quantités de déchets conventionnels produites en 2023 par le CNPE.

Quantités 2023 en tonnes	Déchets dangereux		Déchets non dangereux non inertes		Déchets inertes		Total	
	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés
Exploitation	328 t	255 t	567 t	342 t	3252 t	3252 t	4146 t	3849 t
Déconstruction								

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 2023 du fait d'importants chantiers, en particulier les chantiers de l'aménagement de parkings et bâtiments tertiaires. Les productions de déchets dangereux et de déchets non dangereux non inertes restent relativement stables.

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

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

- la création de stages de formation spécifiques « gestion des déchets conventionnels »,
- le recensement annuel des actions de prévention de production des déchets.

En 2023, les 2 unités de production du CNPE de Nogent-sur-Seine ont produit 4146 tonnes de déchets conventionnels : 93 % de ces déchets ont été valorisés ou recyclés.

ABREVIATIONS

ANDRA - Agence Nationale pour la gestion des Déchets RAdioactifs

ASN - Autorité Sûreté Nucléaire

CNPE - Centre Nucléaire de Production d'Électricité

COT - Carbone Organique Total

DBO5 - Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours

DCO - Demande Chimique en Oxygène

DUS – Diesel d'Ultime Secours

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

ESE - Évènement Significatif Environnement

FMA - Faible Moyenne Activité

ICPE - Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

INB - Installation Nucléaire de Base

IRSN - Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

ISO - International Standard Organization

KRT – Chaîne de mesure de radioactivité

MES - Matières En Suspension

PA – Produit d'Activation

PF – Produit de Fission

REX - Retour d'Expérience

SME - Système de Management de l'Environnement

SMP - Station Multi Paramètres

TAC – Turbine à Combustion

TEU - Traitement des Effluents Usés

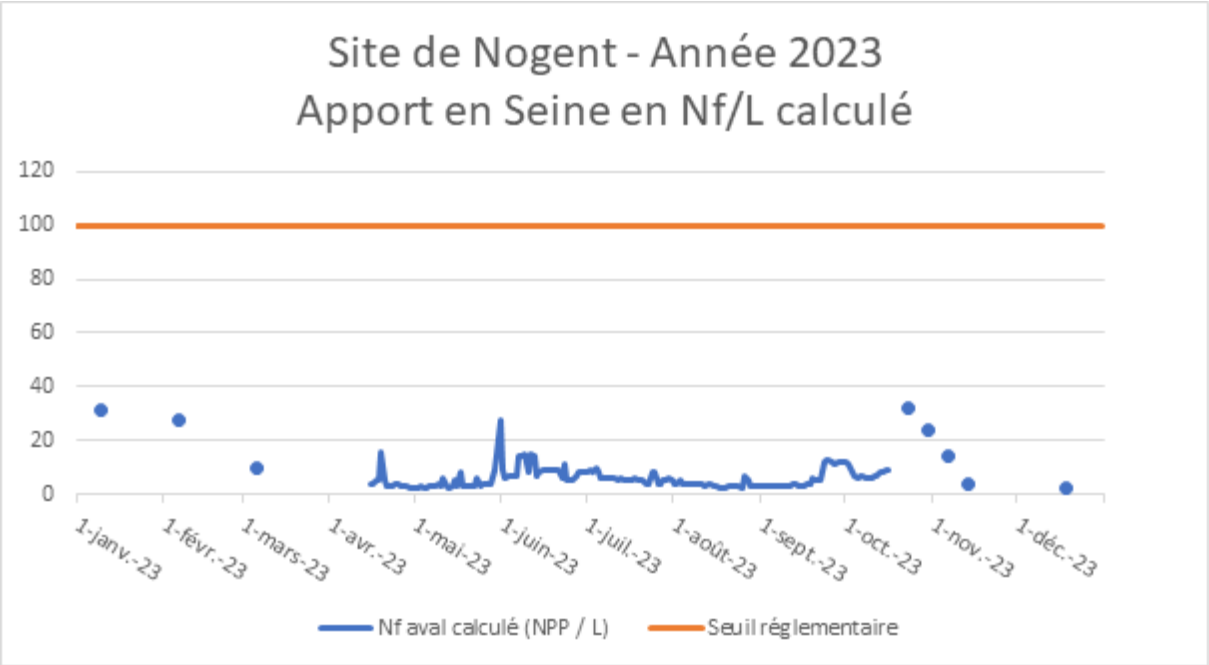
TFA - Très Faible Activité

THE – Très Haute Efficacité

UFC - Unité Formant Colonie

ANNEXE 1 : Suivi microbiologique (Legionella pneumophila) du CNPE de NOGENT-SUR-SEINE Année 2023

Date de prélèvement	**Seine amont** *en UFC/L*	**Purge Tr1** *en UFC/L*	**Purge Tr2** *en UFC/L*
03/01/2023		<100	<100
17/01/2023		100	<100
01/02/2023		<100	<100
14/02/2023		<100	<100
14/03/2023		200	<100
28/03/2023		100	<100
11/04/2023		<100	100
24/04/2023		<100	/
09/05/2023		<100	/
16/05/2023		100	/
07/06/2023	<100	<100	/
26/06/2023		<100	<100
03/07/2023		<100	/
17/07/2023		<100	1000
24/07/2023		/	2000
08/08/2023		<100	<100
21/08/2023		<100	<100
04/09/2023		300	300
18/09/2023		<100	300
02/10/2023		/	600
16/10/2023		/	1500
02/11/2023		/	3500
20/11/2023		/	320
17/12/2023		<100	/
19/12/2023		/	<100
27/12/2023		<100	5000


Site de Nogent - Année 2023
Apport en Seine en Nf/L calculé
120
100
80
60
40
20
0
1-janv.-23
1-févr.-23
1-mars-23
1-avr.-23
1-mai-23
1-juin-23
1-juil.-23
1-août-23
1-sept.-23
1-oct.-23
1-nov.-23
1-déc.-23
Nf aval calculé (NPP / L)
Seuil réglementaire

ANNEXE 2 : Suivi radio écologique annuel du CNPE de Nogent-sur-Seine Année 2022

TABLE DES MATIÈRES

0. OBJECTIFS 9

1. MÉTHODOLOGIE DU SUIVI RADIOÉCOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT PROCHE DES CENTRES NUCLÉAIRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ FRANÇAIS 9

2. ORIGINE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'ENVIRONNEMENT DU CNPE DE NOGENT-SUR-SEINE 9

2.1. Radionucléides d'origine naturelle 10

2.1.1. Origine tellurique 10

2.1.2. Rayonnement cosmique et comportement du tritium et du ^{14}C 10

2.2. Radionucléides d'origine artificielle 10

2.2.1. Retombées des essais aériens d'armes nucléaires et des chutes de satellites 10

2.2.2. Retombées de l'accident de Tchernobyl 13

2.2.3. Retombées de l'accident de Fukushima-Daiichi 15

2.2.4. Installations nucléaires exploitées par EDF 16

2.2.5. Autres activités 16

3. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET GÉOGRAPHIQUE 17

3.1. Climatologie 18

3.2. Géologie et hydrogéologie 18

3.3. Hydrographie et hydrologie 19

4. ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE NOGENT-SUR-SEINE 19

4.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures 19

4.2. État radiologique de l'environnement terrestre 20

4.2.1. Stratégie d'échantillonnage 20

4.2.2. Résultats et interpretation 26

4.3. État radiologique de l'environnement aquatique 28

4.3.1. Stratégie d'échantillonnage 28

4.3.2. Résultats et interprétation 33

4.4. Conclusion sur l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine 36

5. TABLEAUX DE RÉSULTATS 37

6. BIBLIOGRAPHIE 60

7. ANNEXES 62

7.1. Choix des stations de prélèvements 65

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

7.2. Choix des matrices prélevées 65
7.2.1. Domaine terrestre 66
7.2.2. Domaine aquatique 66
7.3. Choix des fréquences d'analyses 67
7.4. Choix des analyses 67
7.5. Méthode de prélèvements sur le terrain 67
7.5.1. Domaine terrestre 67
7.5.2. Domaine aquatique continental 68
7.6. Préparation et conditionnement des échantillons 69
7.6.1. Domaine terrestre 69
7.6.2. Domaine aquatique continental 70
7.7. Techniques d'analyses 71
7.7.1. Détermination de la teneur en matière organique et de la granulométrie des sols et des sediments 71
7.7.2. Identification des espèces vivantes 72
7.7.3. Mesure du tritium libre 72
7.7.4. Mesure du tritium organiquement lié 72
7.7.5. Mesure du ^{14}C 73
7.7.6. Spectrométrie γ 73
7.8. Expression des résultats et unités utilisées 74
7.9. Radionucléides dans l'environnement 77
7.9.1. Radioactivité d'origine naturelle 77
7.9.2. Radioactivité d'origine artificielle 78
7.9.3. Sources de ^{3}H 79
7.9.4. Sources de ^{14}C 79
7.10. Laboratoires d'analyses 80

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

TABLE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figures

Figure 1 – Activités de ^{3}H dans l'eau de pluie d'après [1]. 12

Figure 2 – Évolution de l'activité spécifique du ^{14}C dans l'hémisphère nord depuis 1950 (tirée de [1]). 13

Figure 3 – Activités surfaciques de ^{137}Cs, calculées pour l'année 2010, issues des retombées atmosphériques des essais aériens et de l'accident de Tchernobyl à partir de [11], sur le bassin versant de la zone d'étude, et la localisation des sites détenant des radionucléides. 14

Figure 4 – Évolution des activités des principaux radionucléides artificiels mesurés dans l'air en France et en Allemagne au cours des 60 dernières années [1]. 15

Figure 5 – Localisation des établissements détenant des radionucléides sur le bassin versant de la zone d'étude du CNPE de Nogent-sur-Seine. 17

Figure 6 – Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine. 20

Figure 7 – Localisation des stations proches du site de Nogent-sur-Seine dans les milieux terrestre et aquatique et rose des vents pour le suivi radioécologique 2022. 22

Figure 8 – Variation temporelle des activités en ^{137}Cs des sols cultivés. 26

Figure 9 – Variation temporelle des activités en TOL de l'herbe. 27

Figure 10 – Variation temporelle des activités en TOL des poissons. 34

Figure 11 – Variation temporelle des activités en ^{14}C des poissons. 35

Figure 12 – Démarche utilisée pour la réalisation du suivi radioécologique annuel de chaque site. 64

Figure 13 – Chronique d'une incinération : montée en température et paliers en fonction du temps. 69

Figure 14 – Valeurs significatives et seuils de décisions dans les graphiques. 76

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). 77

Figure 16 – Teneur en ^{238}U dans les sédiments métropolitains. 78

Tableaux

Tableau 1 - Identification des échantillons prélevés et analysés dans le domaine terrestre lors du suivi radioécologique 2022 de l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine. 22

Tableau 2 - Identification des échantillons prélevés et analysés dans le domaine aquatique continental lors du suivi radioécologique 2022 de l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine. 29

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 2013 à 2022. 37

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 2013 à 2022. 38

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 2013 à 2022. 39

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 2013 à 2022. 40

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 2013 à 2022. 41

Tableau 8 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des sols prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique en 2022. 42

Tableau 9 - Activités massiques et volumiques en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons collectés dans le domaine terrestre lors du suivi radioécologique 2022 de l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine (*Bq.kg^{-1} sec* pour les sols et les végétaux). 43

Tableau 10 - Activités massiques et volumiques en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons collectés dans le domaine terrestre lors du suivi radioécologique 2022 de l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine (*Bq.kg^{-1}sec* pour les sols et les végétaux). 44

Tableau 11 - 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 2022. 45

Tableau 12 - 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 2022. 45

Tableau 13 – Activités en ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique annuel de 2023. 46

Tableau 14 - 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 2013 à 2022. 47

Tableau 15 - 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 2013 à 2022. 48

Tableau 16 - 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 2013 à 2022. 49

Tableau 17 - 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 2013 à 2022. 50

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 18- Activités volumiques en tritium libre des échantillons d'eau collectés dans l'environnement aquatique du site de Nogent-sur-Seine lors des études radioécologiques de 2013 à 2022. 51

Tableau 19 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du CNPE de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique en 2022. 52

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 2022 (*Bq.kg⁻¹sec* pour les sédiments et les végétaux, *Bq.kg⁻¹ frais* pour les poissons). 53

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 2022 (*Bq.kg⁻¹sec* pour les sédiments et les végétaux, *Bq.kg⁻¹ frais* pour les poissons). 54

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 2022. 55

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 2022. 56

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 2022. 57

Tableau 25 - Activités en ^{55}Fe 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 2022. 58

Tableau 26 - Activités en ^{63}Ni 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 2022. 58

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

0. OBJECTIFS

Électricité de France (EDF) a sollicité l'Institut de Radioprotection et de Sûreté 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 7.1).

Les matrices échantillonnées sont les plus abondantes localement et/ou caractéristiques de l'économie locale (Annexes 7.2 et 7.5). 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 7.3), 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 7.6, 7.7, 7.8 et 7.9). Dans certaines matrices, des analyses supplémentaires peuvent être réalisées (Annexe 7.4). 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 7.5, 7.6 et 7.7).

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, ainsi que des retombées atmosphériques des accidents de Tchernobyl et de Fukushima Daiichi (Figure 3 page 14).

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

et 1958, puis en 1961 et 1962 [4]. 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}Ce/Pr et de ^{106}Ru/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 [4]. Le ^{137}Cs, le ^{90}Sr, le ^{238}Pu, le ^{239,} ^{240}Pu et l'^{241}Am sont détectés encore 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 [4]. 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 Bq.m^{-2} [5], 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-Daiichi sont beaucoup plus faibles (voir paragraphe 2.2.3).

Le ^{3}H a été massivement émis lors des essais aériens d'armes nucléaires. De plus de 500 Bq.L^{-1} dans les eaux de pluie analysées à Thonon-les-Bains ou à Vienne dans les années 1960, l'activité volumique a décru à moins de 10 Bq.L^{-1} dès la fin des années 1970. Depuis la fin des années 1990, elle est inférieure à 2 Bq.L^{-1} [1, 6, 7] (Figure 1 page 12).

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

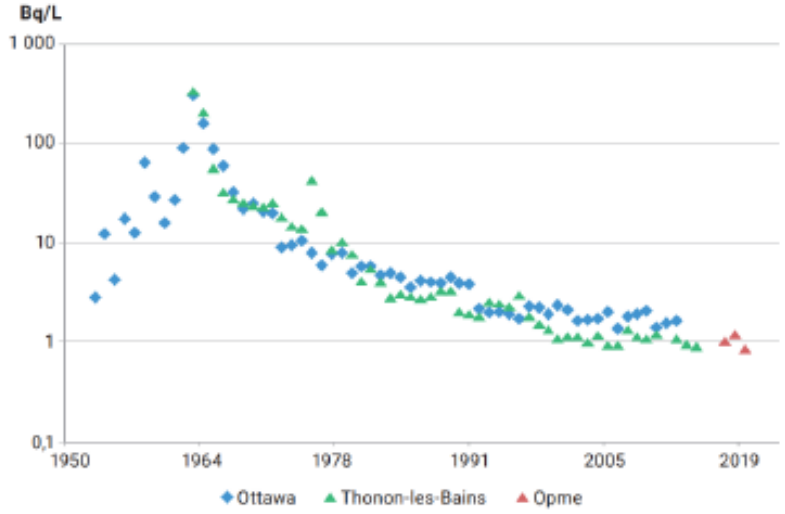


Figure 1 – Activités de ^{3}H dans l'eau de pluie d'après [1].

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±0,4 $Bq.L^{-1}$) [8]. Le tritium produit lors des essais aériens est quantifiable aujourd'hui sous les formes libres (HTO directement dans l'eau et TED par collecte de l'eau de dessication, exprimés respectivement en $Bq.L^{-1}$ et en $Bq.L^{-1}$ d'eau de dessiccation, abrégé en $Bq.L^{-1}$ ED) et liée à la matière organique (TOL, exprimé en $Bq.L^{-1}$ d'eau de combustion, abrégé en $Bq.L^{-1}$ EC). Hors influence industrielle locale, les formes libres (HTO et TED) sont 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 l'ordre de 1,0 $Bq.L^{-1}$ en France métropolitaine (dans une gamme allant de 0,37 à 1,8 $Bq.L^{-1}$ pour le TOL, et de 0,5 à 2 $Bq.L^{-1}$ pour l'HTO et le TED d'après [1]) 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 ^{14}C présent dans l'atmosphère. L'activité spécifique atmosphérique en ^{14}C 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 rejets de CO_2 dans l'atmosphère liée à l'utilisation grandissante de combustibles fossiles, dépourvus de ^{14}C [1]. En 1999, l'activité spécifique dans le milieu terrestre s'élevait à 255±7 $Bq.kg^{-1}$ C [9]. En 2021, elle est de 223±7 $Bq.kg^{-1}$ C [1] et est semblable à l'activité spécifique atmosphérique antérieure aux premiers essais aériens (226,0±1,1 $Bq.kg^{-1}$ C) [1] (Figure 2 page 13).

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

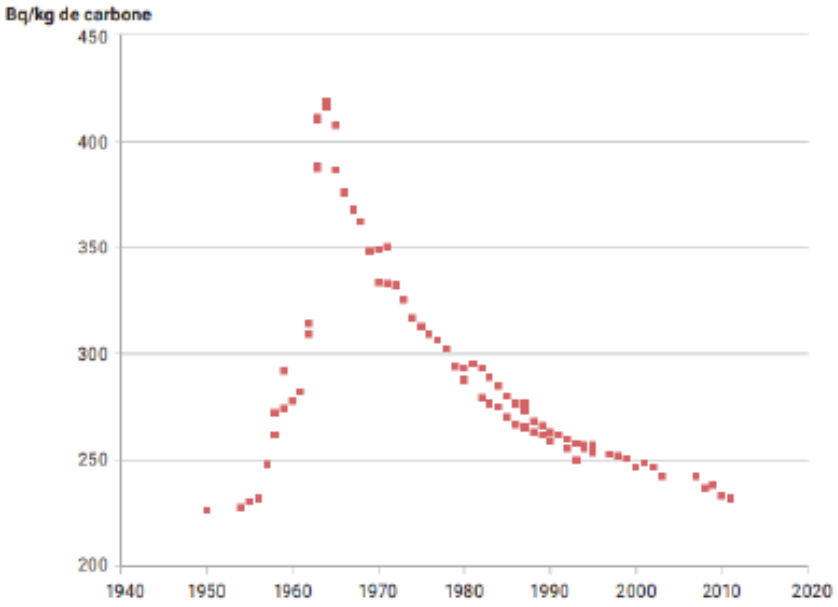


Figure 2 – Évolution de l'activité spécifique du ^{14}C dans l'hémisphère nord depuis 1950 (tirée de [1]).

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 $Bq.kg^{-1}$ C d'après [1]).

De nos jours, les apports industriels en ^{3}H et ^{14}C, 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 10^7 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

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 évènements 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 (^{103}Ru, ^{106}Ru/Rh, ^{110m}Ag, ^{131}I, ^{132}Te, ^{134}Cs et ^{137}Cs). Les retombées atmosphériques de l'accident de Tchernobyl ont affecté l'ensemble du territoire et, plus particulièrement, la moitié est de la France. La carte de la Figure 3 page 14 présente la répartition estimée des activités surfaciques en ^{137}Cs 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 ^{137}Cs est encore mesurable [10].

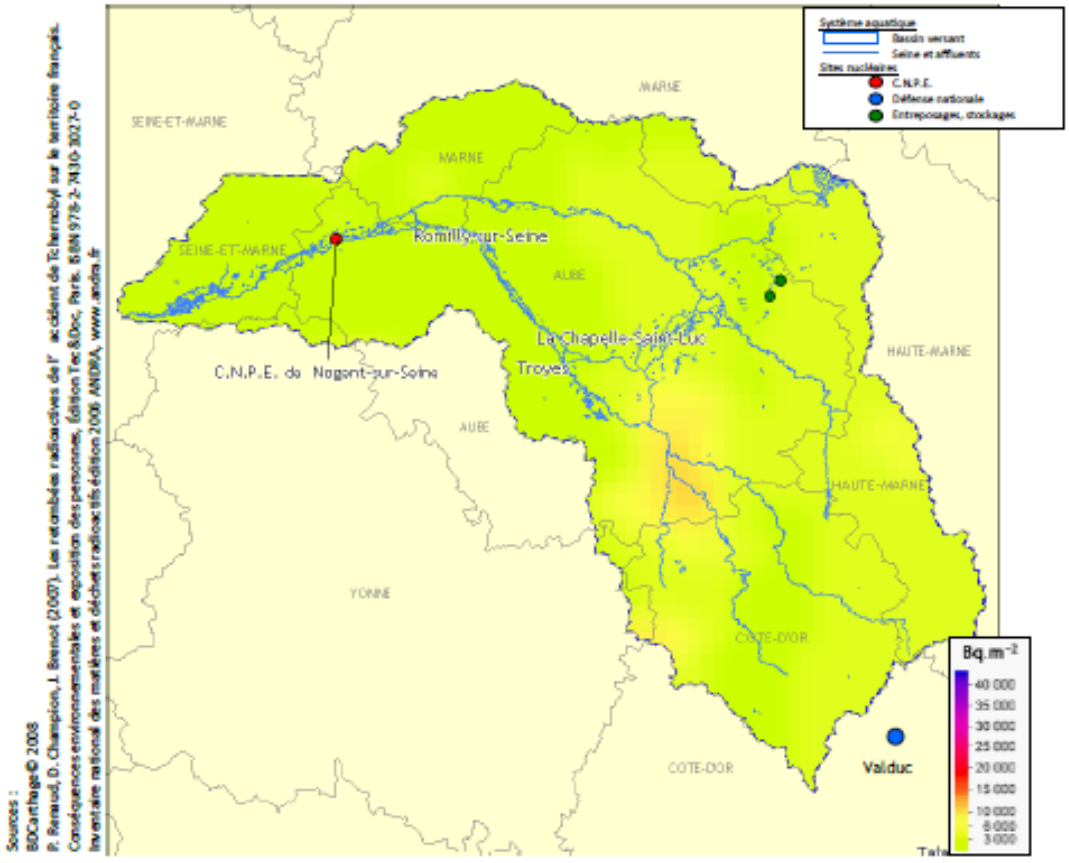


Figure 3 – Activités surfaciques de ^{137}Cs, calculées pour l'année 2010, issues des retombées atmosphériques des essais aériens et de l'accident de Tchernobyl à partir de [11], sur le bassin versant de la zone d'étude, et la localisation des sites détenant des radionucléides.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 15). Les résultats d'analyse réalisés sur le territoire métropolitain par l'IRSN et par les exploitants nucléaires ont montré la présence d'^{131}I, de ^{137}Cs et de ^{134}Cs [12]. 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 évènement compte-tenu de la rémanence de ce radionucléide dans le bassin versant de la Seine.

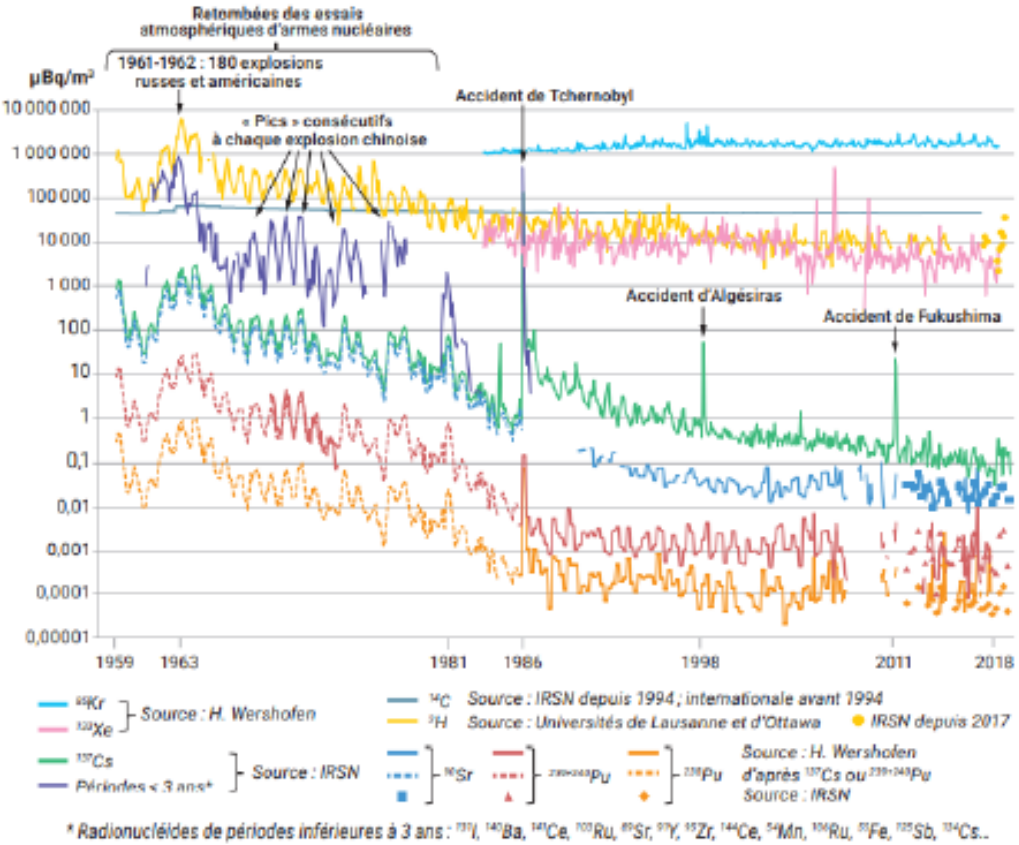


Figure 4 – Évolution des activités des principaux radionucléides artificiels mesurés dans l'air en France et en Allemagne au cours des 60 dernières années [1].

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 et de certains composés issus du conditionnement des 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 xénons métastables 131, 133 et 135, le ^{85}Kr, les ^{131}I et ^{133}I, les ^{58}Co et ^{60}Co et les ^{134}Cs et ^{137}Cs. Au sein des rejets d'effluents radioactifs liquides, le tritium, le ^{14}C, les ^{58}Co et ^{60}Co, le ^{63}Ni, les ^{124}Sb et ^{125}Sb, les ^{134}Cs et ^{137}Cs, le ^{54}Mn, l'^{110m}Ag, le ^{123m}Te, et l'^{131}I sont prépondérants. Le ^{55}Fe et le l'^{108m}Ag 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'évènements intéressants l'environnement pour l'année 2021. .

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 17). 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 ^{99m}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 [13]. 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 de celles-ci. Difficile à détecter dans l'eau, l'^{131}I peut être mesuré dans les végétaux aquatiques.

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

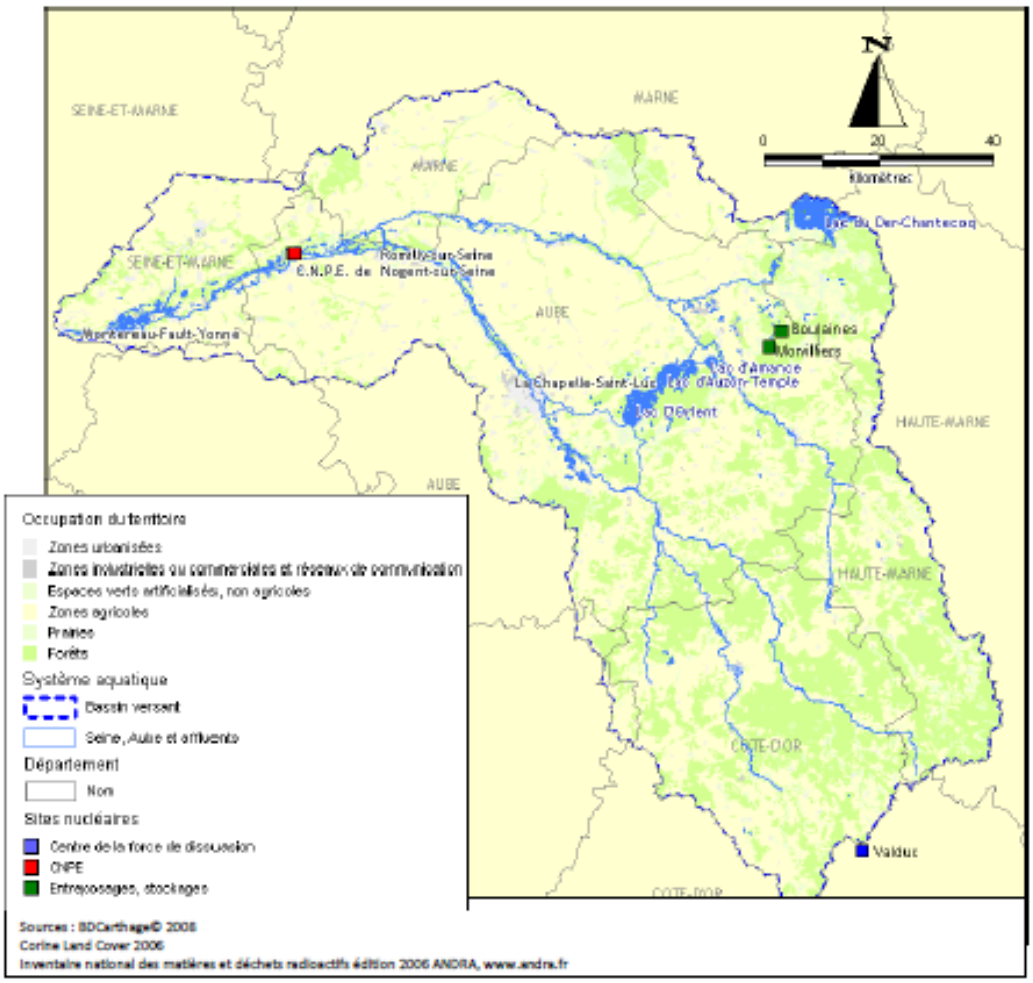


Figure 5 – Localisation des établissements détenant des radionucléides sur le bassin versant de la zone d'étude du CNPE de Nogent-sur-Seine.

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

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 1er 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.

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 1 300 MWe, respectivement couplées au réseau en octobre 1987 et décembre 1988.

La chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE est exposée sur la Figure 6 à la page 20.

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

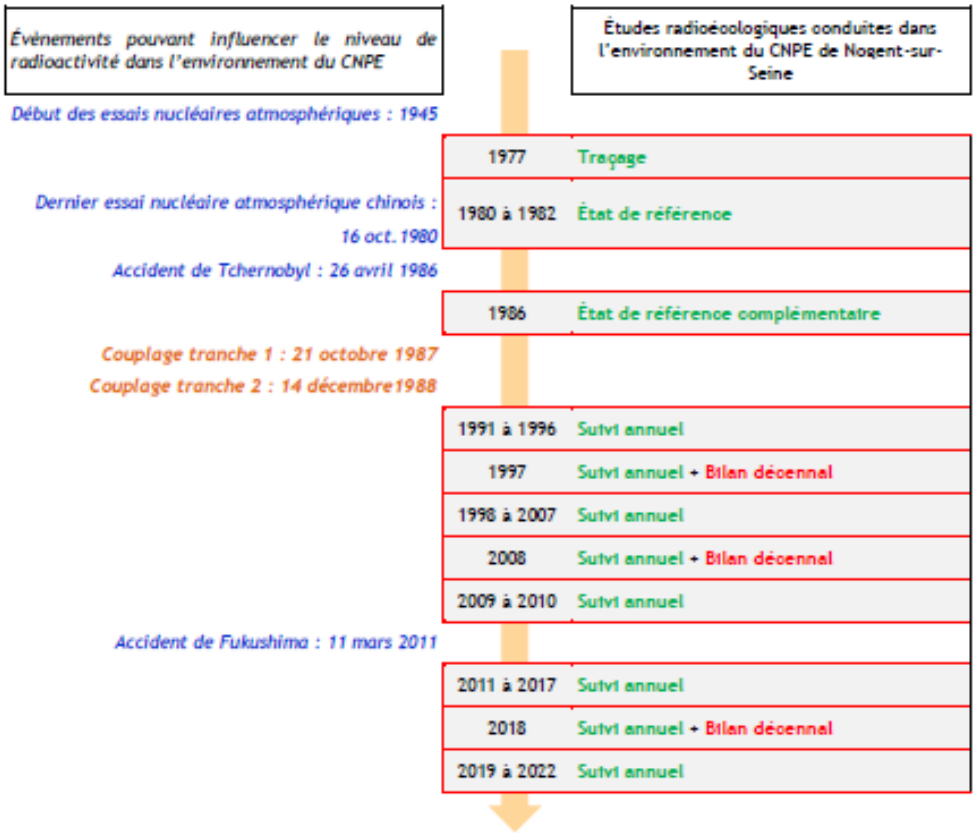


Figure 6 – Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine.

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 à la page 22. Les caractéristiques (dates de prélèvement, stations, natures, espèces, fractions, types de mesure, rapports de poids…) identifiant chaque échantillon analysé sont répertoriées dans le Tableau 1 à la page 22 et suivantes.

Pour l'essentiel, la stratégie de prélèvement et d'analyse est commune à l'ensemble des sites (annexe). 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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

l'accumulation potentielle des dépôts atmosphériques sur plusieurs années. Les échantillons sont, en dehors des indicateurs végétaux (mousses terricoles et herbe), 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. Du lait de vache est collecté, dans la mesure du possible, sur une commune à proximité du site. En 2022, une mousse terricole, un sol de prairie et de l'herbe sont prélevés sous les vents dominants (<5km). Du lait de chèvre est prélevé sous les vents dominants (>5km). Des légumes (salades, blettes) sont prélevés hors vents dominants (<5km). Sur la station de Marnay-sur-Seine, la quantité de salades n'était pas suffisante pour pouvoir réaliser toutes les mesures, par conséquent, des blettes ont été prélevées en complément. Hors vents (ZNI), du sol cultivé, une production agricole (salades) et du lait ont été collectés. Des contraintes supplémentaires peuvent localement modifier la position, le nombre ou les analyses réalisées.

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 est et sud-ouest. Les vents de nord et sud sont très peu fréquents. La zone sous les vents dominants est située dans la vallée de la Seine, dans les secteurs est-nord-est et sud-ouest et à proximité (dans l'idéal dans la zone des 5 km du site) de Nogent-sur-Seine. La zone hors vents dominants est localisée au sud de la vallée de la Seine et à distance du site.

Les échantillons ont fait l'objet d'une mesure par spectrométrie gamma. En zone sous les vents dominants, à moins de 5 km du site, l'herbe a été mesurée en TED et TOL, la mousse en ^{131}I. Dans la zone sous les vents dominants à plus de 5 km du site, le lait a été mesuré en TED, TOL et ^{14}C. En zone hors vents dominants à moins de 5km, les salades ont été mesurées en ^{14}C, TED et TOL. En zone hors vents dominants à plus de 5km, les salades ont été mesurées en ^{14}C et le lait en ^{14}C et TED. Enfin, de l'herbe a fait l'objet de quatre mesures en ^{14}C (une par trimestre) dont les résultats sont présentés dans le rapport simplifié exigé au titre de la réglementation 2022, ainsi que dans le rapport du suivi radioécologique annuel de l'année 2022.

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Figure 7 – Localisation des stations proches du site de Nogent-sur-Seine dans les milieux terrestre et aquati… …uivi radioécologique 2022.

Tableau 1 - Identification des échantillons prélevés et analysés dans le domaine terrestre lors du suivi radioécologique 2022 de l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Situation par rapport au C.N.P.E.	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
2,75 km E	Moyen - Zone hors vents dominants (<5 km)	Marnay-sur-Seine	03,55453	48,51273	Légumes	Blette *Beta vulgaris cicla*	Parties aériennes	31/05/2022	Gamma (Cendre)	12,67	3,96
2,75 km E	Moyen - Zone hors vents dominants (<5 km)	Marnay-sur-Seine	03,55453	48,51273	Légumes	Salade	Entier	31/05/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	9,65	-
2,75 km E	Moyen - Zone hors vents dominants (<5 km)	Marnay-sur-Seine	03,55453	48,51273	Légumes	Salade	Entier	31/05/2022	C élémentaire (Sec)	9,65	-
2,75 km E	Moyen - Zone hors vents dominants (<5 km)	Marnay-sur-Seine	03,55453	48,51273	Légumes	Salade	Entier	31/05/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	9,65	-
2,75 km E	Moyen - Zone hors vents dominants (<5 km)	Marnay-sur-Seine	03,55453	48,51273	Légumes	Salade	Entier	31/05/2022	H-3 lié (Sec)	9,65	-
2,75 km E	Moyen - Zone hors vents dominants (<5 km)	Marnay-sur-Seine	03,55453	48,51273	Légumes	Salade	Entier	31/05/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	9,65	-
2,75 km E	Moyen - Zone hors vents dominants (<5 km)	Marnay-sur-Seine	03,55453	48,51273	Légumes	Salade	Entier	31/05/2022	H-3 libre (Liquide)	9,65	-
2,75 km E	Moyen - Zone hors vents dominants (>5 km)	Marnay-sur-Seine	03,55453	48,51273	Sols cultivés	Sol de salade	Entier	31/05/2022	Gamma (Sec)	1,22	-
2,75 km E	Moyen - Zone hors vents dominants (>5 km)	Marnay-sur-Seine	03,55453	48,51273	Sols cultivés	Sol de salade	Entier	31/05/2022	Granulométrie INRA (Sec)	1,22	-
2,75 km E	Moyen - Zone hors vents dominants (>5 km)	Marnay-sur-Seine	03,55453	48,51273	Sols cultivés	Sol de salade	Entier	31/05/2022	MO après combustion (Sec)	1,22	-
7,99 km NNE	Moyen - Zone hors vents dominants (>5 km)	Villenauxe-la-Grande	03,54965	48,58611	Légumes	Salade	Entier	31/05/2022	Gamma (Cendre)	22,38	5,23
7,99 km NNE	Moyen - Zone hors vents dominants (>5 km)	Villenauxe-la-Grande	03,54965	48,58611	Légumes	Salade	Entier	31/05/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	16,72	-
7,99 km NNE	Moyen - Zone hors vents dominants (>5 km)	Villenauxe-la-Grande	03,54965	48,58611	Légumes	Salade	Entier	31/05/2022	C élémentaire (Sec)	16,72	-
7,99 km NNE	Moyen - Zone hors vents dominants (>5 km)	Villenauxe-la-Grande	03,54965	48,58611	Légumes	Salade	Entier	31/05/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	16,72	-
10,52 km NNE	Moyen - Zone hors vents dominants (>5 km)	Villenauxe-la-Grande	03,56327	48,60707	Aliments liq. Non transformés	Lait de chèvre	Entier	01/06/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	8,04	-
10,52 km NNE	Moyen - Zone hors vents dominants (>5 km)	Villenauxe-la-Grande	03,56327	48,60707	Aliments liq. Non transformés	Lait de chèvre	Entier	01/06/2022	C élémentaire (Sec)	8,04	-
10,52 km NNE	Moyen - Zone hors vents dominants (>5 km)	Villenauxe-la-Grande	03,56327	48,60707	Aliments liq. Non transformés	Lait de chèvre	Entier	01/06/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	8,04	-

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Situation par rapport au C.N.P.E.	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
10,52 km NNE	Nogent - Zone hors vents dominants (>5 km)	Villenauxe-la-Grande	03,56327	48,60707	Aliments liq. Non transformés	Lait de chèvre	Entier	01/06/2022	H-3 libre (Liquide)	8,04	-
1,24 km E	Nogent - Zone sous les vents (<5 km)	Marnay-sur-Seine	03,53402	48,52037	Herbes	Herbe de prairie permanente	Entier	01/06/2022	Gamma (Cendre)	2,56	13,97
1,24 km E	Nogent - Zone sous les vents (<5 km)	Marnay-sur-Seine	03,53402	48,52037	Herbes	Herbe de prairie permanente	Entier	01/06/2022	H-3 lié (Sec)	3,62	-
1,24 km E	Nogent - Zone sous les vents (<5 km)	Marnay-sur-Seine	03,53402	48,52037	Herbes	Herbe de prairie permanente	Entier	01/06/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	3,62	-
1,24 km E	Nogent - Zone sous les vents (<5 km)	Marnay-sur-Seine	03,53402	48,52037	Herbes	Herbe de prairie permanente	Entier	01/06/2022	H-3 libre (Liquide)	3,62	-
1,24 km E	Nogent - Zone sous les vents (<5 km)	Marnay-sur-Seine	03,53402	48,52037	Herbes	Herbe de prairie permanente	Entier	01/06/2022	Archivage Stockage	-	-
3,71 km ENE	Nogent - Zone sous les vents (<5 km)	Marnay-sur-Seine	03,56567	48,52785	Mousses terricoles	Rhytidiadelphus triquetrus *Rhytidiadelphus triquetrus*	Entier	31/05/2022	Gamma (Frais)	-	-
3,71 km ENE	Nogent - Zone sous les vents (<5 km)	Marnay-sur-Seine	03,56567	48,52785	Mousses terricoles	Rhytidiadelphus triquetrus *Rhytidiadelphus triquetrus*	Entier	31/05/2022	I-127 par Absor. Atom. (Sec)	1,12	-
4,76 km ENE	Nogent - Zone sous les vents (<5 km)	Barbuise	03,57717	48,55114	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	Entier	01/06/2022	Gamma (Sec)	1,13	-
5,76 km ENE	Nogent - Zone sous les vents (<5 km)	Barbuise	03,57717	48,55114	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	Entier	01/06/2022	Granulométrie INRA (Sec)	1,13	-
4,76 km ENE	Nogent - Zone sous les vents (<5 km)	Barbuise	03,57717	48,55114	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	Entier	01/06/2022	MO après combustion (Sec)	1,13	-
4,76 km ENE	Nogent - Zone sous les vents (<5 km)	Barbuise	03,57717	48,55114	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	Entier	01/06/2022	Archivage Stockage	-	-
11,45 km OSO	Nogent - Zone sous les vents (>5 km)	Villiers-sur-Seine	03,39036	48,45844	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	01/06/2022	Gamma (Cendre)	8,64	16,21
11,45 km OSO	Nogent - Zone sous les vents (>5 km)	Villiers-sur-Seine	03,39036	48,45844	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	01/06/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	7,88	-
11,45 km OSO	Nogent - Zone sous les vents (>5 km)	Villiers-sur-Seine	03,39036	48,45844	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	01/06/2022	C élémentaire (Sec)	7,88	-
11,45 km OSO	Nogent - Zone sous les vents (>5 km)	Villiers-sur-Seine	03,39036	48,45844	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	01/06/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	7,88	-

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Situation par rapport au C.N.P.E.	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
11,45 km 050	Nogent - Zone sous les vents (>5 km)	Villiers-sur-Seine	03,39036	48,45844	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	01/06/2022	H-3 lié (Sec)	7,88	-
11,45 km 050	Nogent - Zone sous les vents (>5 km)	Villiers-sur-Seine	03,39036	48,45844	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	01/06/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	7,88	-
11,45 km 050	Nogent - Zone sous les vents (>5 km)	Villiers-sur-Seine	03,39036	48,45844	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	01/06/2022	H-3 libre (Liquide)	7,88	-

- : 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 à moins de 5 km
	Prélèvements sous les vents dominants à plus de 5 km de l'installation ou hors vents à moins de 5 km

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

4.2.2. Résultats et interpretation

4.2.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

Les résultats de spectrométrie γ sont reportés dans le Tableau 9 page 43 pour la radioactivité d'origine naturelle et le Tableau 10 page 44 pour la radioactivité d'origine artificielle. L'évolution de 2013 à 2022 des activités massiques en radionucléides émetteurs γ des sols, des mousses, des légumes, de l'herbe, du lait est présentée dans les Tableau 3 à Tableau 7, page 37 et suivantes.

4.2.2.1.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Dans les sols, l'activité massique la plus élevée est celle du ^{40}K. En comparaison du ^{40}K, les descendants de l'^{238}U (^{234m}Pa) et du ^{232}Th (^{228}Ac) présentent des activités massiques plus faibles. Les activités de ces radionucléides d'origine naturelle mesurées dans les sols sont comparables à la gamme des activités des sols français [1].

Dans les mousses, l'activité du ^{7}Be est supérieure à celles du ^{40}K. Dans les légumes et l'herbe, le ^{40}K est prépondérant, puis le ^{7}Be, alors que l'activité massique en ^{210}Pb, descendant de l'^{238}U, est plus faible. Les activités massiques en ^{40}K et en ^{210}Pb mesurées dans les végétaux sont comparables à la gamme des activités des végétaux mesurées sur le reste du territoire [1].

Dans le lait, l'activité volumique du ^{40}K, seul radionucléide émetteur gamma d'origine naturelle mesuré dans cette matrice, est comparable à la gamme des activités en ^{40}K du lait sur le territoire national [1]. L'activité en ^{40}K dans cette matrice est toujours proche de 50 $Bq.L^{-1}$, quels que soient l'année ou le lieu de prélèvement, car l'activité en potassium du lait est régulée physiologiquement par l'animal.

Ces résultats de mesure sont similaires à celles observées depuis 10 ans dans les études précédentes et attestent de l'absence de biais dans les étapes de préparation et de mesure des échantillons.

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 et uniquement sur les échantillons de sols, d'herbe, de mousses et de lait en 2022. L'ensemble de ces résultats se situe dans la gamme des valeurs mesurées ces 10 dernières années (figure ci-dessous) et n'indique pas de marquage par les rejets d'effluents atmosphériques du CNPE de Nogent-sur-Seine.

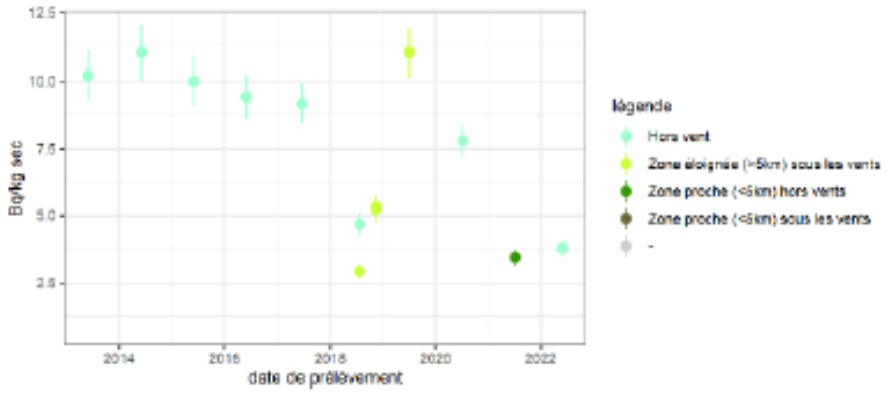


Figure 8 – Variation temporelle des activités en ^{137}Cs des sols cultivés.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 11 page 45 et Tableau 12 page 45. L'évolution de 2013 à 2022 des activités massiques en tritium des végétaux (salade et herbe) et du lait est présentée dans les Tableau 5 à Tableau 7, page 39 et suivantes.

Toutes les activités en tritium libre (TED) mesurées dans les salades, l'herbe de prairie et le lait sont comprises dans la gamme des valeurs du bruit de fond (0,5 à 2 $Bq.L^{-1}$ d'après [1]).

Les activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées dans l'herbe et le lait prélevés sous les vents dominants sont comprises dans la gamme des valeurs du bruit de fond (0,34 à 1,7 $Bq.L^{-1}$ d'après [1]) et se situent dans la gamme des valeurs mesurées ces 10 dernières années. Les salades prélevées hors vents dominants, mais à proximité du site, présentent une activité en TOL (2,1±0,7 $Bq.L^{-1}$ EC) dans la borne haute du bruit de fond, sans attester un marquage de l'environnement terrestre proche du site par les rejets atmosphériques en tritium du CNPE de Nogent-sur-Seine, compte-tenu des incertitudes. Cette valeur est similaire à celles mesurées en 2018, mais plus élevée que la plupart de celles mesurées sur les 10 précédentes années. Ce sont habituellement les mesures de TOL sur l'herbe, qui depuis une dizaine d'années, dépassent le bruit de fond (Figure ci-dessous).

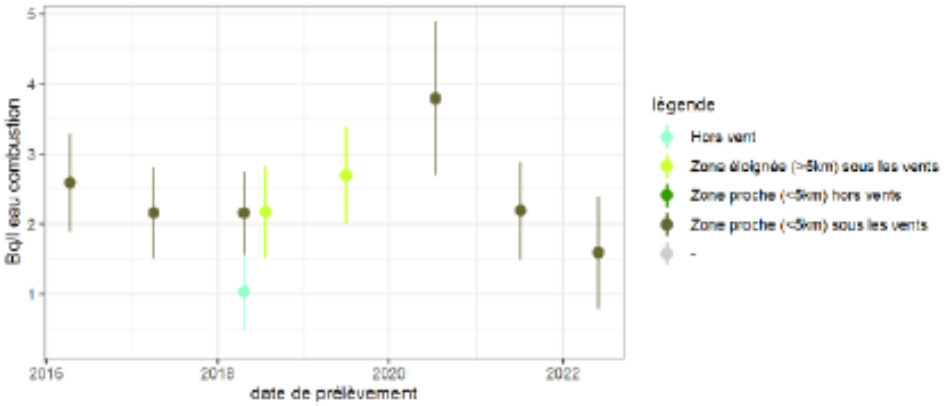


Figure 9 – Variation temporelle des activités en TOL de l'herbe.

4.2.2.2.2. Carbone 14

Les résultats de mesure du ^{14}C sont reportés dans le Tableau 13 page 46. L'évolution de 2012 à 2021 des activités massiques en ^{14}C des végétaux (salade et herbe) et du lait est présentée dans les Tableau 5 à Tableau 7, page 39 et suivantes.

Toutes les activités en ^{14}C, dans les salades collectées en zones sous et hors vents dominants, ainsi que le lait, se situent dans la gamme des valeurs mesurées ces 10 dernières années et au niveau attendu en dehors d'une influence industrielle locale (223±7 $Bq.kg^{-1}$ de C d'après [1]). Par ailleurs, la contribution du CNPE de Nogent n'est pas attestée par les résultats de mesures de ^{14}C de la surveillance trimestrielle de l'année 2021 et 2022 sur l'herbe

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

prélevée sous les vents dominants à moins de 5 km du site qui sont comprises entre 223 à 239 $Bq.kg^{-1}$ C (Tableau 6 page 40).

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 à la page 22. Les caractéristiques (dates de prélèvement, stations, natures…) identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 2 page 29 et suivantes. Le choix des stations de prélèvement tient compte des études de traçage réalisées en 1977 et 1981.

Selon les années, les contraintes du terrain (météorologie, hydrologie, etc.) imposent des modifications de localisation ou d'espèces pour les matrices prélevées. En 2022, 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. Deux lots de chevesnes adultes d'environ 10 ans d'âge, ont été constitués en amont (6 individus de 1,4 kg en moyenne) et en aval (6 individus de 1,4 kg en moyenne) de l'installation.

La zone de dilution complète des rejets d'effluents liquides se situe à moins d'un kilomètre en aval du point de rejet. En 2022, des phanérogames ou des mousses aquatiques, des sédiments et des poissons sont prélevés en amont et en aval du CNPE. Sur la station amont de Conflans-sur-Seine, par manque de matière, les analyses ont été effectuées sur des végétaux aquatiques de nature différente (mousses et potamots). Les sédiments sont mesurés en spectrométrie γ. Les mousses prélevées à l'amont ont été mesurées en ^{55}Fe et ^{63}Ni. Les phanérogames font l'objet d'une mesure en spectrométrie γ, tritium libre, TOL, ^{14}C et ^{131}I. Les phanérogames aval ont été mesurées en ^{55}Fe et ^{63}Ni. Les phanérogames prélevées à l'aval lointain ont fait l'objet d'une mesure par spectrométrie γ. Les poissons font l'objet d'une mesure par spectrométrie γ, tritium organiquement lié et ^{14}C. 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 CNPE. Une eau d'irrigation a été prélevée, à Fontaine-Fourches, à partir d'un forage de 18 mètres où l'accès à l'eau est à 8m de profondeur. Très probablement, cette eau n'est pas sous l'influence des rejets du CNPE, car le point de prélèvement est très éloigné du site. Ces eaux font l'objet de mesures en tritium libre.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 2 - Identification des échantillons prélevés et analysés dans le domaine aquatique continental lors du suivi radioécologique 2022 de l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine.

Situation par rapport au C.N.P.E.	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
6,95 km amont	Seine en amont de Nogent	Pont-sur-Seine	03,61213	48,52045	Poissons	Chevesne *Leuciscus cephalus*	Entier	04/07/2022	Gamma (Cendre)	5,28	15,15
6,95 km amont	Seine en amont de Nogent	Pont-sur-Seine	03,61213	48,52045	Poissons	Chevesne *Leuciscus cephalus*	Entier	04/07/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	5,33	-
6,95 km amont	Seine en amont de Nogent	Pont-sur-Seine	03,61213	48,52045	Poissons	Chevesne *Leuciscus cephalus*	Entier	04/07/2022	C élémentaire (Sec)	5,33	-
6,95 km amont	Seine en amont de Nogent	Pont-sur-Seine	03,61213	48,52045	Poissons	Chevesne *Leuciscus cephalus*	Entier	04/07/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	5,33	-
6,95 km amont	Seine en amont de Nogent	Pont-sur-Seine	03,61213	48,52045	Poissons	Chevesne *Leuciscus cephalus*	Entier	04/07/2022	H-3 lié (Sec)	5,33	-
6,95 km amont	Seine en amont de Nogent	Pont-sur-Seine	03,61213	48,52045	Poissons	Chevesne *Leuciscus cephalus*	Entier	04/07/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	5,33	-
6,95 km amont	Seine en amont de Nogent	Pont-sur-Seine	03,61213	48,52045	Poissons	Chevesne *Leuciscus cephalus*	Entier	04/07/2022	Archivage Stockage (Cendre)	5,28	15,15
12,47 km amont	Seine en amont de Nogent	Conflans-sur-Seine	03,68025	48,54916	Phanérogames immergées	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Entier	01/06/2022	Gamma (Frais)	-	-
12,47 km amont	Seine en amont de Nogent	Conflans-sur-Seine	03,68025	48,54916	Phanérogames immergées	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Entier	01/06/2022	Gamma (Cendre)	10,41	2,72
12,47 km amont	Seine en amont de Nogent	Conflans-sur-Seine	03,68025	48,54916	Phanérogames immergées	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Entier	01/06/2022	I-127 par Absor. Atom. (Sec)	6,34	-
12,47 km amont	Seine en amont de Nogent	Conflans-sur-Seine	03,68025	48,54916	Phanérogames immergées	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Entier	01/06/2022	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	7,75	-
12,47 km amont	Seine en amont de Nogent	Conflans-sur-Seine	03,68025	48,54916	Phanérogames immergées	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Entier	01/06/2022	C élémentaire (Sec)	7,75	-
12,47 km amont	Seine en amont de Nogent	Conflans-sur-Seine	03,68025	48,54916	Phanérogames immergées	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Entier	01/06/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	7,75	-
12,47 km amont	Seine en amont de Nogent	Conflans-sur-Seine	03,68025	48,54916	Phanérogames immergées	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Entier	01/06/2022	H-3 lié (Sec)	7,75	-
12,47 km amont	Seine en amont de Nogent	Conflans-sur-Seine	03,68025	48,54916	Phanérogames immergées	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Entier	01/06/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	7,75	-

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Situation par rapport au C.N.P.E.	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
12,47 km amont	Seine en amont de Nogent	Conflans-sur-Seine	03,68025	48,54916	Phanérogames immergées	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Entier	01/06/2022	H-3 libre (Liquide)	7,75	-
12,47 km amont	Seine en amont de Nogent	Conflans-sur-Seine	03,68025	48,54916	Phanérogames immergées	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Entier	01/06/2022	Archivage Stockage	-	-
12,47 km amont	Seine en amont de Nogent	Conflans-sur-Seine	03,68025	48,54916	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Entier	01/06/2022	Gamma (Sec)	3,11	-
12,47 km amont	Seine en amont de Nogent	Conflans-sur-Seine	03,68025	48,54916	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Entier	01/06/2022	Granulométrie INRA (Sec)	3,11	-
12,47 km amont	Seine en amont de Nogent	Conflans-sur-Seine	03,68025	48,54916	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Entier	01/06/2022	MO après combustion (Sec)	3,11	-
12,47 km amont	Seine en amont de Nogent	Conflans-sur-Seine	03,68025	48,54916	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Entier	01/06/2022	Archivage Stockage	-	-
12,47 km amont	Seine en amont de Nogent	Conflans-sur-Seine	03,68025	48,54916	Mousses aquatiques	Mousse	Parties aériennes	01/06/2022	Ni-63 par Sc. Liq. (Cendre)	5,81	2,75
12,47 km amont	Seine en amont de Nogent	Conflans-sur-Seine	03,68025	48,54916	Mousses aquatiques	Mousse	Parties aériennes	01/06/2022	Gamma (Cendre)	5,81	2,75
12,47 km amont	Seine en amont de Nogent	Conflans-sur-Seine	03,68025	48,54916	Mousses aquatiques	Mousse	Parties aériennes	01/06/2022	Fe-55 par SL (Cendre)	5,81	2,75
2,08 km aval	Seine en aval de Nogent	Nogent-sur-Seine	03,50671	48,50016	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Entier	31/05/2022	Gamma (Sec)	2,52	-
2,08 km aval	Seine en aval de Nogent	Nogent-sur-Seine	03,50671	48,50016	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Entier	31/05/2022	Granulométrie INRA (Sec)	2,52	-
2,08 km aval	Seine en aval de Nogent	Nogent-sur-Seine	03,50671	48,50016	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Entier	31/05/2022	MO après combustion (Sec)	2,52	-
2,08 km aval	Seine en aval de Nogent	Nogent-sur-Seine	03,50671	48,50016	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Entier	31/05/2022	Archivage Stockage	-	-
3,05 km aval	Seine en aval de Nogent	Nogent-sur-Seine	03,49603	48,49401	Phanérogames immergées	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Entier	31/05/2022	Ni-63 par Sc. Liq. (Cendre)	10,59	3,52
3,05 km aval	Seine en aval de Nogent	Nogent-sur-Seine	03,49603	48,49401	Phanérogames immergées	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Entier	31/05/2022	Gamma (Frais)	-	-
3,05 km aval	Seine en aval de Nogent	Nogent-sur-Seine	03,49603	48,49401	Phanérogames immergées	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Entier	31/05/2022	Gamma (Cendre)	10,59	3,52
3,05 km aval	Seine en aval de Nogent	Nogent-sur-Seine	03,49603	48,49401	Phanérogames immergées	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Entier	31/05/2022	I-127 par Absor. Atom. (Sec)	7,13	-
3,05 km aval	Seine en aval de Nogent	Nogent-sur-Seine	03,49603	48,49401	Phanérogames immergées	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Entier	31/05/2022	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	8,12	-

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Situation par rapport au C.N.P.E.	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
3,05 km aval	Seine en aval de Nogent	Nogent-sur-Seine	03,49603	48,49401	Phanérogames immergées	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Entier	31/05/2022	C élémentaire (Sec)	8,12	-
3,05 km aval	Seine en aval de Nogent	Nogent-sur-Seine	03,49603	48,49401	Phanérogames immergées	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Entier	31/05/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	8,12	-
3,05 km aval	Seine en aval de Nogent	Nogent-sur-Seine	03,49603	48,49401	Phanérogames immergées	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Entier	31/05/2022	H-3 lié (Sec)	8,12	-
3,05 km aval	Seine en aval de Nogent	Nogent-sur-Seine	03,49603	48,49401	Phanérogames immergées	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Entier	31/05/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	8,12	-
3,05 km aval	Seine en aval de Nogent	Nogent-sur-Seine	03,49603	48,49401	Phanérogames immergées	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Entier	31/05/2022	H-3 libre (Liquide)	8,12	-
3,05 km aval	Seine en aval de Nogent	Nogent-sur-Seine	03,49603	48,49401	Phanérogames immergées	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Entier	31/05/2022	Fe-55 par SL (Cendre)	10,59	3,52
3,05 km aval	Seine en aval de Nogent	Nogent-sur-Seine	03,49603	48,49401	Phanérogames immergées	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Entier	31/05/2022	Archivage Stockage	-	-
8,34 km aval	Seine en aval de Nogent	La Motte-Tilly	03,42967	48,47042	Poissons	Chevesne *Leuciscus cephalus*	Entier	04/07/2022	Gamma (Cendre)	5,07	15,70
8,34 km aval	Seine en aval de Nogent	La Motte-Tilly	03,42967	48,47042	Poissons	Chevesne *Leuciscus cephalus*	Entier	04/07/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	5,03	-
8,34 km aval	Seine en aval de Nogent	La Motte-Tilly	03,42967	48,47042	Poissons	Chevesne *Leuciscus cephalus*	Entier	04/07/2022	C élémentaire (Sec)	5,03	-
8,34 km aval	Seine en aval de Nogent	La Motte-Tilly	03,42967	48,47042	Poissons	Chevesne *Leuciscus cephalus*	Entier	04/07/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	5,03	-
8,34 km aval	Seine en aval de Nogent	La Motte-Tilly	03,42967	48,47042	Poissons	Chevesne *Leuciscus cephalus*	Entier	04/07/2022	H-3 lié (Sec)	5,03	-
8,34 km aval	Seine en aval de Nogent	La Motte-Tilly	03,42967	48,47042	Poissons	Chevesne *Leuciscus cephalus*	Entier	04/07/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	5,03	-
8,34 km aval	Seine en aval de Nogent	La Motte-Tilly	03,42967	48,47042	Poissons	Chevesne *Leuciscus cephalus*	Entier	04/07/2022	Archivage Stockage (Cendre)	5,07	15,70
8,38 km aval	Seine en aval de Nogent	La Motte-Tilly	03,42919	48,47022	Phanérogames immergées	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Entier	31/05/2022	Gamma (Cendre)	10,30	3,28
8,38 km aval	Seine en aval de Nogent	La Motte-Tilly	03,42919	48,47022	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Entier	31/05/2022	Gamma (Sec)	1,60	-
8,38 km aval	Seine en aval de Nogent	La Motte-Tilly	03,42919	48,47022	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Entier	31/05/2022	Granulométrie INRA (Sec)	1,60	-
8,38 km aval	Seine en aval de Nogent	La Motte-Tilly	03,42919	48,47022	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Entier	31/05/2022	MO après combustion (Sec)	1,60	-

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Situation par rapport au C.N.P.E.	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce		Fraction	Numéro prélèvement	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
7,37 km 050	La Motte-Tilly	03,44547	48,47162	Eaux boisson	Eau d'adduction publique	Entier *Filtrat < 0.2 µm*	C22MOG22-4	31/05/2022	H-3 libre (Liquide)	-		-
15,15 km SO	Fontaine-Fourches	03,39089	48,41019	Eaux douces	Eau d'irrigation	Entier *Filtrat < 0.2 µm*	C22MOG22-1	31/05/2022	H-3 libre (Liquide)	-		-

- : absence de traitement.

	Prélèvements en amont du dispositif de rejet des effluents liquides
	Prélèvements en aval du dispositif de rejet des effluents liquides
	Prélèvements d'eau

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 53 pour la radioactivité d'origine naturelle et le Tableau 21 page 54 pour la radioactivité d'origine artificielle. L'évolution de 2013 à 2022 des activités massiques en radionucléides émetteurs γ des sédiments, des poissons, des phanérogames et des mousses est présentée dans les Tableau 14 à Tableau 17, page 47 et suivantes.

4.3.2.1.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

D'une manière générale en 2022, 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 l'^{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 $Bq.kg^{-1}$ frais).

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 tous les compartiments, excepté pour les phanérogames, 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.

Le ^{60}Co est détecté dans un des deux échantillons de sédiments prélevés à l'aval (1,89±0,18 $Bq.kg^{-1}$ sec). Le ^{58}Co est détecté dans les phanérogames prélevées à la station aval de Nogent-sur-Seine (0,43±0,23 $Bq.kg^{-1}$ sec). Le ^{60}Co est détecté dans les phanérogames prélevées aux deux stations aval (0,43±0,10 et 0,36±0,13 $Bq.kg^{-1}$ sec, respectivement). Ces radionucléides sont régulièrement détectés et montrent le marquage du milieu aquatique par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Nogent-sur-Seine.

L'^{131}I n'est pas détectée dans les prélèvements de phanérogames mesurés en frais, ni à l'amont, ni à l'aval, ne mettant pas en évidence d'éventuel apport d'^{131}I par les rejets des effluents liquides du CNPE 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 55.

En 2022, l'activité mesurée en tritium libre (HTO) pour l'eau de boisson (3,3±0,8 $Bq.L^{-1}$), en aval du siteest similaire à celles mesurées les deux années passées, mais un peu plus élevée que celles mesurées précédemment et au-dessus de l'activité attendue en dehors de tout apport industriel local (0,5 à 2 $Bq.L^{-1}$ d'après [1]) et indique par conséquent un marquage par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Nogent-sur-Seine. En revanche, l'activité mesurée en tritium libre pour l'eau d'irrigation, prélevée en aval du site est inférieure au seuil de décision et comprise dans le bruit de fond.

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Les activités en ^{3}H libre (TED) mesurées dans les phanérogames immergées prélevées à l'aval sont plus élevées que celles mesurées à l'amont, au-dessus de l'activité attendue en dehors de tout apport industriel local (0,5 à 2 $Bq.L^{-1}$ d'après [1]) et indique par conséquent un marquage par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Nogent-sur-Seine. L'activité en ^{3}H organiquement lié mesurée dans les phanérogames immergées prélevées à l'aval (50,2±2,7 $Bq.L^{-1}$ EC) est supérieure à celle mesurée à l'amont et indique par conséquent un marquage par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Nogent-sur-Seine. Ces résultats sont en accord avec ceux collectés à partir de 2018 (Tableau 16 page 49).

Dans les poissons, l'activité en tritium organiquement lié observée en aval (36,4±2,1 $Bq.L^{-1}$ EC) est supérieure à celle de l'amont et indique par conséquent un marquage par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Nogent-sur-Seine. Ces résultats sont en accord avec ceux collectés depuis une décennie autour du CNPE de Nogent-sur-Seine (figure ci-dessous).

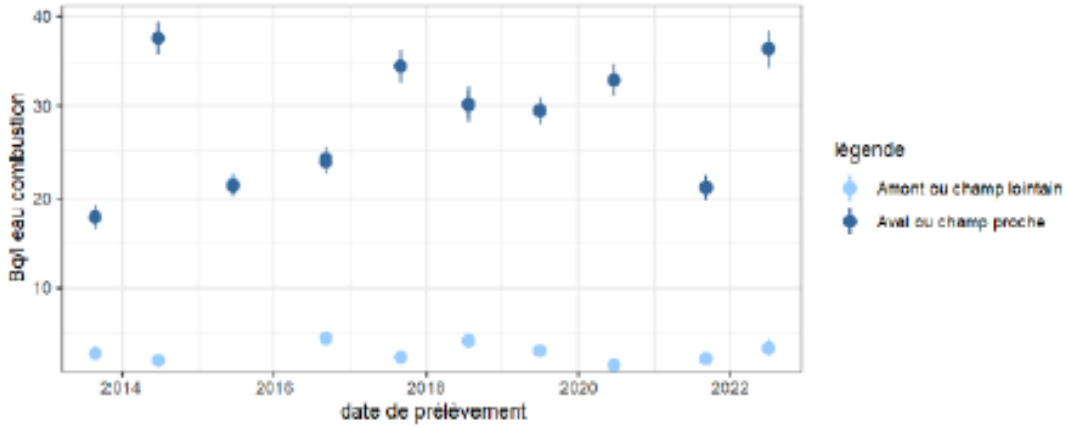


Figure 10 – Variation temporelle des activités en TOL des poissons.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

4.3.2.2.2. Carbone 14

Les résultats de mesure du ^{14}C sont reportés dans le Tableau 24 page 57.

Dans les phanérogames, l'activité en ^{14}C observée en aval (843±9 Bq.kg^{-1} de C) est supérieure à celle de l'amont et aux activités attendues hors influence (entre 180 et 220 Bq.kg^{-1} C d'après [1]). Ces résultats indiquent un marquage de l'environnement aquatique en ^{14}C par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Nogent-sur-Seine et sont en accord avec ceux collectés depuis une décennie autour de ce CNPE.

Dans les poissons, l'activité en ^{14}C observée en aval (1 150±60 Bq.kg^{-1} de C) est supérieure à celle de l'amont et aux activités attendues hors influence (entre 180 et 220 Bq.kg^{-1} C d'après [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 (229±11 Bq.kg^{-1} de C) en borne haute du bruit de fond. Ces résultats indiquent un marquage de l'environnement aquatique en ^{14}C par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Nogent-sur-Seine et sont en accord avec ceux collectés depuis une décennie autour de ce CNPE (Figure ci-dessous).

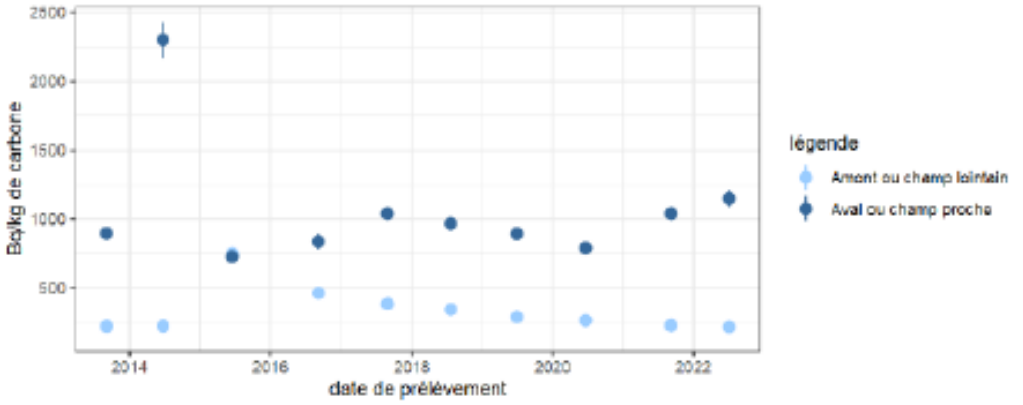


Figure 11 – Variation temporelle des activités en ^{14}C des poissons.

4.3.2.2.2. Fer 55 et Nickel 63

Les résultats de mesure du ^{55}Fe et ^{63}Ni sont reportés dans les Tableau 25 et Tableau 26 page 58.

Les activités en ^{55}Fe mesurées dans les mousses prélevées à l'amont et les phanérogames prélevées à l'aval sont inférieures au seuil de décision. Les seuils de décisions atteignables par la méthode mise en œuvre pour cette matrice ne permettent pas de pousser plus loin l'interprétation.

L'activité en ^{63}Ni dans les phanérogames prélevées à l'aval est supérieure (0,91±0,17 Bq.kg^{-1} sec) à celle mesurée dans les mousses prélevées à l'amont (0,15±0,15 Bq.kg^{-1} sec), mais ne met pas en évidence un marquage par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Nogent-sur-Seine.

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 2022 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 en ^{137}Cs se situent dans la gamme des valeurs mesurées par le passé. Les activités mesurées en tritium libre, tritium organiquement lié et ^{14}C se situent dans la gamme des valeurs mesurées ces 10 dernières années et dans celle des activités attendues hors influence d'apports industriels locaux.

Dans l'environnement aquatique, les activités mesurées en émetteurs gamma d'origine artificielle dans les sédiments (^{60}Co) et dans les phanérogames (^{58}Co et ^{60}Co), prélevés aux stations aval, mettent en évidence un marquage par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Nogent-sur-Seine. L'activité mesurée en tritium libre de l'eau de boisson prélevée en aval du site est similaire à celles mesurées en 2020 et 2021, mais plus élevée que celles mesurées précédemment et au-dessus de l'activité attendue en dehors de tout apport industriel local et indique par conséquent un marquage par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Nogent-sur-Seine. Les activités mesurées en TOL et en ^{14}C dans les phanérogames et les poissons prélevés à l'aval sont supérieures à celles de l'amont et aux activités attendues hors influence. Ces résultats en TOL et ^{14}C sont en accord avec ceux collectés depuis une décennie autour du site et indiquent un marquage par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Nogent-sur-Seine.

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 2013 à 2022.

Date	mai 2013	juin 2014	juin 2015	mai 2016	juin 2017	avril et juillet 2018	juillet 2019	juillet 2020	juillet 2021	Mai et Juin 2022
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)										
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	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)	9,57-11,00 (2/2)	7,8 (1/1)	3,45-6,60 (2/2)	3,79-7,3 (2/2)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

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

	Prélèvements hors vents dominants de l'installation
	Prélèvements sous les vents dominants secondaires de l'installation ou à plus de 5km
	Prélèvements sous les vents dominants de l'installation

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 2013 à 2022.

Date	mai et sept. 2013	juin 2014	juin 2015	avril 2016	avril 2017	avril 2018	avril 2019	2020	mai 2021	Mai 2022
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} sec)										
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
^{137}Cs	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)	1,57 (1/1)	n.a.	0,82 (1/1)	1,21 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-

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

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 2013 à 2022.

Date	mai 2013	juin 2014	juin 2015	mai 2016	juin 2017	juillet 2018	juillet 2019	juillet 2020	juillet 2021	Mai 2022
Nature	salade	salade	salade	salade	salade	salade-betteraves	salade	salade	salade	Salades-blettes
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} sec)										
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,23-0,4 (2/2)	0,13-0,23 (2/2)	0,16 (1/2)	0,27 (1/2)	0,16 (1/2)	0,01-0,03 (2/2)	0,28 (1/2)	0,43 (1/2)	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{241}Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Émetteurs β (^{3}H libre : Bq.L^{-1} d'eau de dessiccation, TOL : Bq.L^{-1} d'eau de combustion, ^{14}C : Bq.kg^{-1} de C)										
^{3}H libre	n.a.	n.a.	-	1,3 (1/1)	0,9 (1/1)	1,3 (1/2)	0,79 (1/1)	1,1 (1/1)	1,6 (1/1)	1,9 (1/1)
TOL	n.a.	n.a.	1,1 (1/1)	1,3 (1/1)	1,7 (1/1)	0,8-2,4 (4/4)	1,34 (1/1)	1,5 (1/1)	1,1 (1/1)	2,1 (1/1)
^{14}C	n.a.	n.a.	223-227 (2/2)	223-225 (2/2)	230-232 (2/2)	228-236 (4/4)	227-231 (2/2)	225-230 (2/2)	223-224 (2/2)	225-227 (2/2)

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

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 2013 à 2022.

Date	mai 2013	juin 2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	juillet 2021	Juin 2022
Nature	herbe	herbe	herbe	herbe	herbe	herbe	herbe	herbe	herbe	herbe
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq kg^{-1} sec)										
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
^{137}Cs	0,15 (1/1)	0,063 (1/1)	-	-	0,188 (1/1)	0,093-1,09 (2/6)	-	n.a.	-	0,112 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
^{241}Am	0,14 (1/1)	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
Émetteurs β (^{3}H libre : Bq L^{-1} d'eau de dessiccation, TOL : Bq L^{-1} d'eau de combustion, ^{14}C : Bq kg^{-1} de C)										
^{3}H libre	n.a.	n.a.	2,4 (1/1)	1,2 (1/1)	2,3 (1/1)	0,6-2,0 (3/3)	1,8 (1/1)	2,4 (1/1)	1,8 (1/1)	1,7 (1/1)
TOL	n.a.	n.a.	n.a.	2,6 (1/1)	2,2 (1/1)	0,6-2,2 (3/3)	2,7 (1/1)	3,8 (1/1)	2,2 (1/1)	1,6 (1/1)
^{14}C	230,5 (1/1)	233 (1/1)	218-240 (4/4)	222-237 (5/5)	224-249 (5/5)	225-241 (6/6)	225-241 (4/4)	233-250 (4/4)	230-239 (3/ 3)	223-225 (4/4)

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

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 2013 à 2022.

Année	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019		2020	2021	2022
Fraction	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier		
Chronique	Nogent - zone sous les vents (>5 km)	Nogent - zone sous les vents (>5 km)	Nogent - zone sous les vents (>5 km)	Nogent - zone sous les vents (>5 km)	Nogent - zone sous les vents (>5 km)	Nogent - zone sous les vents (>5 km)	Nogent - zone sous les vents (>5 km)	Nogent - zone hors vents dominants (>5 km)	Nogent - zone sous les vents (>5 km)	Nogent - zone sous les vents (>5 km)	Nogent - zone sous les vents (>5 km)
Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.L^{-1})											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-
^{137}Cs	0,0045 (1/1)	0,0095 (1/1)	0,0076 (1/1)	-	0,0044 (1/1)	0,0030 (1/2)	0,0030 (1/1)	n.a.	n.a.	-	0,0054 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-
^{125}Sb	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-
^{126}Sb	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-
^{131}I	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Emetteurs beta (^{3}H libre : Bq.L^{-1} d'eau de dessication, ^{3}H lié : Bq.L^{-1} d'eau de combustion, ^{14}C : Bq.kg^{-1} C, autres : Bq.L^{-1})											
^{3}H libre	0,8 (1/1)	0,7 (1/1)	1 (1/2)	0,6-0,8 (2/2)	-	-	1,0 (1/1)	1,1 (1/1)	0,8 (1/2)	0,7 (1/1)	-
^{3}H lié	1 (1/1)	0,9 (1/1)	1,1 (1/1)	0,8 (1/1)	1,16 (1/1)	0,88-1,16 (2/2)	1 (1/1)	n.a.	n.a.	1,0 (1/1)	1,4 (1/1)
^{14}C	n.a.	n.a.	225-233 (3/3)	225-236 (4/4)	228-233 (3/3)	232-242 (2/2)	228 (1/1)	227 (1/1)	232-236 (2/2)	223 (1/1)	222-226 (2/2)

Espèces concernées : Lait de vache

Légende des couleurs : Nogent - zone hors vents dominants (>5 km) : Blanc, Nogent - zone sous les vents (>5 km) : Gris clair

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 8 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des sols prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique en 2022.

Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Fractions	%
Barbuise	01/06/2022	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	≤ 2 mm	16/03/2023	sec	Matière organique	8,1
							Argiles (<2µm)	25,0
							Limons Fins	27,1
							Limons Grossiers	12,3
							Sables Fins	9,6
							Sables Grossiers	26,0
Marnay-sur-Seine	31/05/2022	Sols cultivés	Sol de salade 0 - 20 cm	≤ 2 mm	16/03/2023	sec	Matière organique	10,5
							Argiles (<2µm)	23,2
							Limons Fins	18,4
							Limons Grossiers	16,7
							Sables Fins	11,9
							Sables Grossiers	29,8

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 9 - Activités massiques et volumiques en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons collectés dans le domaine terrestre lors du suivi radioécologique 2022 de l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine (*Bq.kg⁻¹ sec* pour les sols et les végétaux).

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Date de mesure	^{40}K	Famille du ^{232}Th	Famille de ^{238}U			^{7}Be	Unité
									^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb		
Nogent - zone sous les vents (<5 km)	Barbuise	01/06/2022	Sols	Sol de culture ou de prairie	Tamisé < 2000 µm	Sec	21/11/2022	189±14	18,6±1,2	19,7±3,8	13±7	47±14	≤ 8,0	Bq.kg⁻¹ sec
Nogent - zone hors vents dominants (>5 km)	Marnay-sur-Seine	31/05/2022	Sols	Sol de salade	Tamisé < 2000 µm	Sec	13/09/2022	100±8	9,4±0,7	13,6±2,8	13±9	18±5	≤ 2,9	Bq.kg⁻¹ sec
Nogent - zone hors vents dominants (<5 km)	Marnay-sur-Seine	31/05/2022	Légumes	Blette *Beta vulgaris ssp. vulgaris*	Parties aériennes	Cendre	14/09/2022	1 790±130	1,44±0,18	≤ 1,2	≤ 15	4,5±1,1	41,9±3,3	Bq.kg⁻¹ sec
Nogent - zone hors vents dominants (>5 km)	Villenauxe-la-Grande	31/05/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	14/09/2022	2 140±170	1,01±0,29	≤ 1,1	≤ 15	3,25±0,82	46,4±3,8	Bq.kg⁻¹ sec
Nogent - zone sous les vents (<5 km)	Marnay-sur-Seine	01/06/2022	Herbes	Herbe de prairie permanente non id.	Parties aériennes	Cendre	16/09/2022	387±29	≤ 0,16	≤ 0,31	≤ 6,4	4,51±0,57	48,0±3,6	Bq.kg⁻¹ sec
Nogent - zone sous les vents (<5 km)	Marnay-sur-Seine	31/05/2022	Mousses terrestres	*Rhytidiadelphus triquetrus*		Frais	09/06/2022	167±18	≤ 2,7	≤ 3,9	≤ 55	148±15	337±21	Bq.kg⁻¹ sec
Nogent - zone sous les vents (>5 km)	Villiers-sur-Seine	01/06/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	Cendre	16/09/2022	46,4±3,6	≤ 0,011	≤ 0,030	≤ 0,36	≤ 0,036	≤ 0,057	Bq.L⁻¹

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 10 - Activités massiques et volumiques en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons collectés dans le domaine terrestre lors du suivi radioécologique 2022 de l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine (*Bq.kg⁻¹sec* pour les sols et les végétaux).

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Date de mesure	^{134}Cs	^{137}Cs	^{57}Co	^{58}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{124}Sb	^{125}Sb	^{129m}Te	^{131}I	Unité
Nogent - zone sous les vents (<5 km)	Barbuise	01/06/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Tamisé < 2000 µm	Sec	21/11/2022	≤ 0,11	7,3±0,5	≤ 0,12	≤ 0,50	≤ 0,13	≤ 0,20	≤ 0,19	≤ 0,70	≤ 0,35	≤ 0,25	n.a.	Bq.kg⁻¹ sec
Nogent - zone hors vents dominants (>5 km)	Marnay-sur-Seine	31/05/2022	Sols	Sol de salade	Tamisé < 2000 µm	Sec	13/09/2022	≤ 0,100	3,79 ±0,29	≤ 0,090	≤ 0,24	≤ 0,100	≤ 0,15	≤ 0,12	≤ 0,28	≤ 0,30	≤ 0,14	n.a.	Bq.kg⁻¹ sec
Nogent - zone hors vents dominants (<5 km)	Marnay-sur-Seine	31/05/2022	Légumes	Blette *Beta vulgaris ssp. vulgaris*	Parties aériennes	Cendre	14/09/2022	≤ 0,093	≤ 0,086	≤ 0,048	≤ 0,28	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,12	≤ 0,28	≤ 0,23	≤ 0,076	n.a.	Bq.kg⁻¹ sec
Nogent - zone hors vents dominants (>5 km)	Villenauxe-la-Grande	31/05/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	14/09/2022	≤ 0,096	≤ 0,052	≤ 0,052	≤ 0,29	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,13	≤ 0,27	≤ 0,23	≤ 0,078	n.a.	Bq.kg⁻¹ sec
Nogent - zone sous les vents (<5 km)	Marnay-sur-Seine	01/06/2022	Herbes	Herbe de prairie permanente non id.	Parties aériennes	Cendre	16/09/2022	≤ 0,034	0,112 ±0,023	≤ 0,016	≤ 0,10	≤ 0,050	≤ 0,050	≤ 0,043	≤ 0,093	≤ 0,079	≤ 0,028	n.a.	Bq.kg⁻¹ sec
Nogent - zone sous les vents (<5 km)	Marnay-sur-Seine	31/05/2022	Mousses terrestres	*Rhytidiadelphus triquetrus*	Entier	Frais	09/06/2022	≤ 0,44	1,21±0, 36	≤ 0,22	≤ 0,47	≤ 0,51	≤ 0,53	≤ 0,46	≤ 0,47	≤ 1,2	≤ 0,30	≤ 0, 90	Bq.kg⁻¹ sec
Nogent - zone sous les vents (>5 km)	Villiers-sur-Seine	01/06/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	Cendre	16/09/2022	≤ 0,0025	0,0054 ±0,0014	≤ 0,0013	≤ 0,0071	≤ 0,0036	≤ 0,0043	≤ 0,0031	≤ 0,0071	≤ 0,0064	≤ 0,0022	n.a.	Bq.L⁻¹

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 11 - 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 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	^{3}H libre (Bq.L^{-1} d'eau de dessiccation)	^{3}H libre (Bq.kg^{-1} sec ou frais ou Bq.L^{-1})	Unité
Nogent - zone hors vents dominants (<5 km)	Marnay-sur-Seine	31/05/2022	Légumes	Salades	Eau extraite par lyophilisation	9,65	27/09/2022	1,9±0,7	1,70±0,63	Bq.kg^{-1} frais
Nogent - zone sous les vents (<5 km)	Marnay-sur-Seine	01/06/2022	Herbes	Herbe de prairie permanente non id.	Eau extraite par lyophilisation	3,62	28/07/2022	1,7±0,7	1,23±0,51	Bq.kg^{-1} frais
Nogent - zone sous les vents (>5 km)	Villiers-sur-Seine	01/06/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Eau extraite par lyophilisation	7,88	28/07/2022	≤ 0,60	≤ 0,52	Bq.L^{-1} d'ECH.

Tableau 12 - 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 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L^{-1} d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg^{-1} sec ou frais ou Bq.L^{-1})	Unité
Nogent - zone hors vents dominants (<5 km)	Marnay-sur-Seine	31/05/2022	Légumes	Salades	Résidu sec obtenu après lyophilisation	9,65	22/11/2022	2,1±0,7	0,106±0,036	Bq.kg^{-1} frais
Nogent - zone sous les vents (<5 km)	Marnay-sur-Seine	01/06/2022	Herbes	Herbe de prairie permanente non id.	Résidu sec obtenu après lyophilisation	3,62	23/11/2022	1,6±0,8	0,24±0,12	Bq.kg^{-1} frais
Nogent - zone sous les vents (>5 km)	Villiers-sur-Seine	01/06/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Résidu sec obtenu après lyophilisation	7,88	24/10/2022	1,4±0,7	0,131±0,066	Bq.L^{-1} d'ECH.

n.a. : non analysé.

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 13 – Activités en ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique annuel de 2023.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure ^{14}C	^{14}C (Bq.kg^{-1} de C)	$\delta^{13}C$ (‰)	pMC (%)	^{14}C (Bq.kg^{-1} sec ou frais ou Bq.L^{-1})	C TOT. (g.kg^{-1} sec ou frais ou g.L^{-1})	Unité
Nogent - zone hors vents dominants (>5 km)	Villenauxe-la-Grande	31/05/2022	Légumes	Salades	Résidu sec obtenu après lyophilisation	16,72	04/06/2023	225±11	-26,27	99,8±4,9	5,12±0,25	23	Frais
Nogent - zone hors vents dominants (<5 km)	Marnay-sur-Seine	31/05/2022	Légumes	Salades	Résidu sec obtenu après lyophilisation	9,65	25/06/2023	227±11	-28,17	101,1±4,9	8,69±0,42	38	Frais
Nogent - zone hors vents dominants (>5 km)	Villenauxe-la-Grande	01/06/2022	Produits laitiers	Lait de chèvre	Résidu sec obtenu après lyophilisation	8,04	18/06/2023	222±11	-24,06	98,0±4,9	13,59±0,67	61	Liquide
Nogent - zone sous les vents (>5 km)	Villiers-sur-Seine	01/06/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Résidu sec obtenu après lyophilisation	7,88	03/06/2023	226±11	-23,98	99,8±4,9	14,65±0,71	65	Liquide

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 14 - 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 2013 à 2022.

Date	septembre 2013		juin 2014		juin 2015		juin 2016		avril 2017		juillet 2018		avril 2019		juillet 2020		mai 2021		Juin 2022	
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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	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)	3,51 (1/1)	3,86-4,6 (2/2)	2,62 (1/1)	2,47 (1/1)	2,56 (1/1)	2,51-3,15 (2/2)	2,75 (1/1)	0,3-2,54 (2/2)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	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)	-	0,38-1,69 (2/2)	-	0,75 (1/1)	-	0,67-0,86 (2/2)	-	1,89 (1/1)
^{110m}Ag			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- : inférieur au seuil de décision.

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 15 - 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 2013 à 2022.

Date	septembre 2013		juin 2014		juin 2015		août 2016		juin 2017		juillet 2018		2019		2020		2021		2022	
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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,46-0,63 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{137}Cs	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)	0,57-0,79 (2/2)	1,41-1,53 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{57}Co	-	0,049 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{58}Co	-	0,66 (1/1)	-	1,5 (1/1)	-	1,3 (1/1)	-	-	-	0,62 (1/1)	-	0,61 (1/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{60}Co	-	1,13 (1/1)	-	0,31 (1/1)	-	0,39 (1/1)	-	0,11 (1/1)	-	0,50 (1/1)	-	2,23-3,3 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{110m}Ag	-	0,21 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{54}Mn	-	0,23 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{131}I	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,04 (1/1)	2,9 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Émetteurs β (^{3}H libre : Bq.L^{-1} d'eau de dessiccation, ^{63}Ni et ^{55}Fer : Bq.kg^{-1} sec)																				
^{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.	n.a.	n.a.	n.a.
^{63}Ni	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.
^{55}Fer	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.

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 16 - 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 2013 à 2022.

Date	septembre 2013		juin 2014		juin 2015		août 2016		juin 2017		juillet 2018		juillet 2019		Juillet 2020		Juillet 2021		Mai et juin 2022	
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	0,3 (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)	0,137-0,76 (2/2)	0,09-0,63 (3/3)	0,150 (1/1)	-	0,43 (1/1)	0,279 (1/2)	-	-
^{58}Co	-	0,61 (1/2)	-	0,51 (1/2)	-	0,7 (1/2)	-	-	-	0,90 (1/1)	-	0,96 (1/3)	-	0,35-0,86 (3/3)	-	0,59 (1/1)	-	1,44-7,4 (3/3)	-	0,43 (1/2)
^{60}Co	-	0,69 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,78 (1/3)	-	0,133 (1/3)	-	-	-	1,23-6,6 (3/3)	-	0,36-0,43 (2/2)
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,212 (1/1)	-	0,223-0,55 (2/3)	-	-
^{65}Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{125m}Te	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,076 (1/3)	-	-	-	-	-	-
^{131}I	-	-	-	-	-	-	2 (1/1)	1,3 (1/1)	1,8 (1/1)	2,1 (1/1)	-	4,1 (1/1)	-	-	-	-	17,8 (1/1)	6,1 (1/1)	-	-
Émetteurs β (³H libre : Bq.L^{-1} d'eau de dessication, TOL : Bq.L^{-1} d'eau de combustion, ^{14}C : Bq.kg^{-1} de C)																				
^{3}H libre	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)	1,3 (1/1)	1,4 (1/1)	n.a.	1,0 (1/1)	1,6 (1/1)	1,7 (1/1)	2,2 (1/1)	70 (1/1)
TOL	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	30,3 (1/1)	3,4 (1/1)	19,4 (1/1)	n.a.	n.a.	1,1 (1/1)	30,8 (1/1)	1,9 (1/1)	50,2 (1/1)
^{14}C	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)	199 (1/1)	531,5 (1/1)	n.a.	n.a.	199,8 (1/1)	790,2 (1/1)	191,2 (1/1)	843 (1/1)

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

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 17 - 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 2013 à 2022.

Date	septembre 2013		juin 2014		juin 2015		septembre 2016		août 2017		juillet 2018		juillet 2019		Juin 2020		Septembre 2021		Juillet 2022	
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} frais)																				
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	-	-	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)	-	0,019 (1/1)	0,023 (1/1)	0,0223 (1/1)	0,0187 (1/1)	0,0130 (1/1)	0,0104 (1/1)	0,0288 (1/1)	0,0139 (1/1)	0,0095 (1/1)	0,0171 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Émetteurs β (^{3}H libre : Bq.L^{-1} d'eau de dessication, TOL : Bq.L^{-1} d'eau de combustion, ^{14}C : Bq.kg^{-1} de C)																				
^{3}H libre	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.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
TOL	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)	3 (1/1)	29,5 (1/1)	1,4 (1/1)	32,9 (1/1)	2,1 (1/1)	21,2 (1/1)	3,3 (1/1)	36,4 (1/1)
^{14}C	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)	290 (1/1)	895 (1/1)	265 (1/1)	791 (1/1)	229 (1/1)	1 040 (1/1)	218 (1/1)	1 150 (1/1/)

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

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 18- Activités volumiques en tritium libre des échantillons d'eau collectés dans l'environnement aquatique du site de Nogent-sur-Seine lors des études radioécologiques de 2013 à 2022.

Date	mai 2013	juin 2014	juin 2015	avril 2016	avril 2017	avril et juillet 2018	avril et juillet 2019	2020	2021	2022
Émetteurs β ($Bq.L^{-1}$)										
^{3}H libre	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)	2,6 (1/2)	3,1 (1/1)	3,0 (1/2)	0,8-3,3 (2/2)

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

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

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 19 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du CNPE de Nogent-sur-Seine lors du suivi radioécologique en 2022.

Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Fractions	%
Conflans-sur-Seine	01/06/2022	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	≤ 2 mm	16/03/2023	sec	Matière organique	8,8
							Argiles (<2µm)	34,9
							Limons Fins	40,8
							Limons Grossiers	17,9
							Sables Fins	4,5
							Sables Grossiers	1,9
Nogent-sur-Seine	31/05/2022	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	≤ 2 mm	16/03/2023	sec	Matière organique	6,0
							Argiles (<2µm)	23,2
							Limons Fins	25,4
							Limons Grossiers	18,4
							Sables Fins	25,8
							Sables Grossiers	7,2
La Motte-Tilly	31/05/2022	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	≤ 2 mm	16/03/2023	sec	Matière organique	2,6
							Argiles (<2µm)	20,8
							Limons Fins	24,2
							Limons Grossiers	14,8
							Sables Fins	22,8
							Sables Grossiers	17,4

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 2022 (*Bq.kg⁻¹sec* pour les sédiments et les végétaux, *Bq.kg⁻¹ frais* pour les poissons).

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{40}K	Famille du ^{232}Th	Famille de l'^{238}U			^{7}Be	Unité
										^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb		
Seine en amont de nogent	Conflans-sur-Seine	01/06/2022	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Tamisé < 2000 µm	Sec	3,11	10/08/2022	211±14	18,9±2	16,3±2,1	27±7	57±10	4±1	Bq.kg⁻¹ sec
Seine en aval de nogent	La Motte-Tilly	31/05/2022	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Tamisé < 2000 µm	Sec	1,60	04/08/2022	124±9	14±1,6	12,4±2	≤ 14	16,3±3,5	≤ 1,4	Bq.kg⁻¹ sec
Seine en aval de nogent	Nogent-sur-Seine	31/05/2022	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Tamisé < 2000 µm	Sec	2,52	14/09/2022	155±11	15,4±1,8	14,8±1,8	14±8	46±8	12±2,4	Bq.kg⁻¹ sec
Seine en amont de nogent	Conflans-sur-Seine	01/06/2022	Phanérogames aquatiques	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Parties aériennes	Frais	6,34	09/06/2022	514±44	≤ 3,2	≤ 7,0	≤ 100	8,9±3,8	10,1±3,8	Bq.kg⁻¹ sec
Seine en amont de nogent	Conflans-sur-Seine	01/06/2022	Phanérogames aquatiques	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Parties aériennes	Cendre	10,41	13/09/2022	710±59	2,28±0,29	4,16±0,63	≤ 17	4,3±1,3	6,6±1,8	Bq.kg⁻¹ sec
Seine en aval de nogent	Nogent-sur-Seine	31/05/2022	Phanérogames aquatiques	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Parties aériennes	Frais	7,13	09/06/2022	542±43	≤ 4,3	≤ 6,4	≤ 110	≤ 6,4	14,3±3,6	Bq.kg⁻¹ sec
Seine en aval de nogent	La Motte-Tilly	31/05/2022	Phanérogames aquatiques	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Parties aériennes	Cendre	10,30	15/09/2022	649±52	2,29±0,49	2,74±0,88	≤ 18	4,9±1,2	15,5±2,7	Bq.kg⁻¹ sec
Seine en aval de nogent	Nogent-sur-Seine	31/05/2022	Phanérogames aquatiques	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Parties aériennes	Cendre	10,59	14/09/2022	676±54	2,02±0,28	2,70±0,85	≤ 17	4,6±1,1	11,9±2,3	Bq.kg⁻¹ sec
Seine en amont de nogent	Pont-sur-Seine	04/07/2022	Poissons	Chevesne *Leuciscus cephalus*	Muscle	Cendre	5,28	21/10/2022	106,2±7,5	≤ 0,042	≤ 0,100	≤ 1,2	≤ 0,11	≤ 0,21	Bq.kg⁻¹ frais
Seine en aval de nogent	La Motte-Tilly	04/07/2022	Poissons	Chevesne *Leuciscus cephalus*	Muscle	Cendre	5,07	21/10/2022	105,5±8,8	≤ 0,045	≤ 0,10	≤ 1,4	≤ 0,11	≤ 0,23	Bq.kg⁻¹ frais

n.a. : non analysé.

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 2022 (*Bq.kg^{-1}sec* pour les sédiments et les végétaux, *Bq.kg^{-1} frais* pour les poissons).

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{134}Cs	^{137}Cs	^{57}Co	^{58}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{124}Sb	^{125}Sb	^{123m}Te	^{131}I	Unité
Seine en amont de nogent	Conflans-sur-Seine	01/06/2022	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Tamisé < 2000 µm	Sec	3,11	10/08/2022	≤ 0,090	2,75±0,2	≤ 0,070	≤ 0,16	≤ 0,100	≤ 0,12	≤ 0,12	≤ 0,18	≤ 0,26	≤ 0,100	n.a.	Bq.kg^{-1} sec
Seine en aval de nogent	La Motte-Tilly	31/05/2022	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Tamisé < 2000 µm	Sec	1,60	04/08/2022	≤ 0,080	0,3±0,06	≤ 0,070	≤ 0,14	≤ 0,100	≤ 0,11	≤ 0,11	≤ 0,16	≤ 0,25	≤ 0,100	n.a.	Bq.kg^{-1} sec
Seine en aval de nogent	Nogent-sur-Seine	31/05/2022	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Tamisé < 2000 µm	Sec	2,52	14/09/2022	≤ 0,13	2,54±0,21	≤ 0,090	≤ 0,30	1,89±0,18	≤ 0,18	≤ 0,18	≤ 0,36	≤ 0,35	≤ 0,16	n.a.	Bq.kg^{-1} sec
Seine en amont de nogent	Conflans-sur-Seine	01/06/2022	Phanérogames aquatiques	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Parties aériennes	Frais	6,34	09/06/2022	≤ 0,63	≤ 0,70	≤ 0,32	≤ 0,63	≤ 0,76	≤ 0,70	≤ 0,82	≤ 0,63	≤ 1,8	≤ 0,44	≤ 1,1	Bq.kg^{-1} sec
Seine en amont de nogent	Conflans-sur-Seine	01/06/2022	Phanérogames aquatiques	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Parties aériennes	Cendre	10,41	13/09/2022	≤ 0,13	≤ 0,11	≤ 0,066	≤ 0,33	≤ 0,17	≤ 0,18	≤ 0,15	≤ 0,33	≤ 0,29	≤ 0,10	n.a.	Bq.kg^{-1} sec
Seine en aval de nogent	Nogent-sur-Seine	31/05/2022	Phanérogames aquatiques	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Parties aériennes	Frais	7,13	09/06/2022	≤ 0,64	≤ 0,71	≤ 0,36	≤ 0,78	≤ 0,93	≤ 0,78	≤ 0,57	≤ 0,64	≤ 1,6	≤ 0,43	≤ 1,3	Bq.kg^{-1} sec
Seine en aval de nogent	La Motte-Tilly	31/05/2022	Phanérogames aquatiques	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Parties aériennes	Cendre	10,30	15/09/2022	≤ 0,12	≤ 0,13	≤ 0,067	≤ 0,43	0,43±0,10	≤ 0,18	≤ 0,15	≤ 0,34	≤ 0,30	≤ 0,11	n.a.	Bq.kg^{-1} sec
Seine en aval de nogent	Nogent-sur-Seine	31/05/2022	Phanérogames aquatiques	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Parties aériennes	Cendre	10,59	14/09/2022	≤ 0,12	≤ 0,12	≤ 0,065	0,43±0,23	0,36±0,13	≤ 0,20	≤ 0,17	≤ 0,34	≤ 0,31	≤ 0,10	n.a.	Bq.kg^{-1} sec
Seine en amont de nogent	Pont-sur-Seine	04/07/2022	Poissons	Chevesne *Leuciscus cephalus*	Muscle	Cendre	5,28	21/10/2022	≤ 0,0087	0,0095±0,0047	≤ 0,0047	≤ 0,026	≤ 0,014	≤ 0,015	≤ 0,011	≤ 0,026	≤ 0,022	≤ 0,0075	n.a.	Bq.kg^{-1} frais
Seine en aval de nogent	La Motte-Tilly	04/07/2022	Poissons	Chevesne *Leuciscus cephalus*	Muscle	Cendre	5,07	21/10/2022	≤ 0,010	0,0171±0,0054	≤ 0,0048	≤ 0,028	≤ 0,014	≤ 0,016	≤ 0,011	≤ 0,028	≤ 0,021	≤ 0,0075	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.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	^{3}H libre (Bq.L^{-1} d'eau de dessiccation)	^{3}H libre (Bq.kg^{-1} sec ou frais ou Bq.L^{-1})	Unité
Seine en amont de nogent	Conflans-sur-Seine	01/06/2022	Phanérogames aquatiques	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Eau extraite par lyophilisation	7,75	26/10/2022	2,2±0,8	1,92±0,70	Bq.kg^{-1} frais
Seine en aval de nogent	Nogent-sur-Seine	31/05/2022	Phanérogames aquatiques	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Eau extraite par lyophilisation	8,12	26/10/2022	70±8	61,4±7,0	Bq.kg^{-1} frais
Seine en aval de nogent	La Motte-Tilly	31/05/2022	Eaux de boisson	Eau d'adduction publique	Produit de filtration *Filtrat < 0.2 µm*	-	28/07/2022	3,3±0,8	3,3±0,8	Bq.L^{-1} d'ECH.
Seine en aval de nogent	Fontaine-Fourches	31/05/2022	Eaux douces	Eau d'irrigation	Produit de filtration *Filtrat < 0.2 µm*	-	28/07/2022	0,8±0,6	0,8±0,6	Bq.L^{-1} d'ECH.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L^{-1} d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg^{-1} sec ou frais ou Bq.L^{-1})	Unité
Seine en amont de nogent	Conflans-sur-Seine	01/06/2022	Phanérogames aquatiques	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Résidu sec obtenu après lyophilisation	7,75	01/12/2022	1,9±1,4	0,066±0,049	Bq.kg^{-1} frais
Seine en aval de nogent	Nogent-sur-Seine	31/05/2022	Phanérogames aquatiques	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Résidu sec obtenu après lyophilisation	8,12	01/12/2022	50,2±2,7	2,09±0,20	Bq.kg^{-1} frais
Seine en amont de nogent	Pont-sur-Seine	04/07/2022	Poissons	Chevesne *Leuciscus cephalus*	Résidu sec obtenu après lyophilisation	5,33	15/12/2022	3,3±1,0	0,40±0,12	Bq.kg^{-1} frais
Seine en aval de nogent	La Motte-Tilly	04/07/2022	Poissons	Chevesne *Leuciscus cephalus*	Résidu sec obtenu après lyophilisation	5,03	15/12/2022	36,4±2,1	4,65±0,33	Bq.kg^{-1} frais

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure ^{14}C	^{14}C (Bq.kg^{-1} de C)	$\delta^{13/12}C$ (‰)	pMC (%)	^{14}C (Bq.kg^{-1} sec ou frais ou Bq.L^{-1})	C TOT. (g.kg^{-1} sec ou frais ou g.L^{-1})	Unité
Seine en amont de nogent	Conflans-sur-Seine	01/06/2022	Phanérogames aquatiques	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Résidu sec obtenu après lyophilisation	7,75	17/02/2023	191,2±2,2	-24,63	84,54±0,97	5,632±0,065	29	Frais
Seine en aval de nogent	Nogent-sur-Seine	31/05/2022	Phanérogames aquatiques	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Résidu sec obtenu après lyophilisation	8,12	17/02/2023	843±9	-24,83	372,9±4,0	28,34±0,30	34	Frais
Seine en amont de nogent	Pont-sur-Seine	04/07/2022	Poissons	Chevesne Leuciscus cephalus	Muscle	5,33	22/04/2023	218±11	-26,86	96,8±4,9	19,04±0,96	0,087	Frais
Seine en aval de nogent	La Motte-Tilly	04/07/2022	Poissons	Chevesne Leuciscus cephalus	Muscle	5,03	22/04/2023	1 150±60	-28,56	512±27	109,8±5,7	0,096	Frais

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 25 - Activités en ^{55}Fe 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 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{55}Fe	Unité
Seine en aval de nogent	Nogent-sur-Seine	31/05/2022	Phanérogames aquatiques	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Parties aériennes	Cendre	10,59	02/12/2022	≤ 7,7	Bq.kg^{-1} sec
Seine en amont de nogent	Conflans-sur-Seine	01/06/2022	Mousses aquatiques	Mousse	Parties aériennes	Cendre	5,81	02/12/2022	≤ 6,9	Bq.kg^{-1} sec

Tableau 26 - Activités en ^{63}Ni 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 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Qualité	Date de mesure ^{63}Ni	^{63}Ni (Bq.kg^{-1} sec ou frais ou Bq.L^{-1})	Ni (g.kg^{-1} sec ou frais ou g.L^{-1})	Unité
Seine en aval de nogent	Nogent-sur-Seine	31/05/2022	Phanérogames aquatiques	Potamot perfolié *Potamogeton perfoliatus L.*	Parties aériennes	10,59	Cendre	22/11/2022	0,91±0,17	0,23	Sec
Seine en amont de nogent	Conflans-sur-Seine	01/06/2022	Mousses aquatiques	Mousse	Parties aériennes	5,81	Cendre	22/11/2022	0,15±0,15	0,249	Sec

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

6. BIBLIOGRAPHIE

1. IRSN, *Bilan de l'état radioécologique de l'environnement français de 2018 à 2020*. 2021, IRSN. 408 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. IPSN, *Le tritium dans l'environnement proche du site de l'usine de retraitement de la Hague*. 1998, IPSN. 17 p.
4. IRSN, *Les essais atmosphériques d'armes nucléaires : des retombées radioactives à l'échelle planétaire. Fiche Information de l'Institut de radioprotection et de Sûreté Nucléaire*. 2008, IRSN. 24 p.
5. 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, ed. E.T. Doc2008, Paris: Lavoisier. 190 p.
6. IAEA/WMO. *Global network of isotopes in precipitation. The GNIP database*. 2013. Accessible à l'adresse: http://www.iaea.org/water.
7. 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: 523-533 p.
8. Eyrolle-Boyer, F., Claval, D., Antonelli, C., Tournieux, D., et Cossonnet, C., *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.
9. 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.
10. Livret de la collection Thématique de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, *Tchernobyl, 25 ans après*. 2011, Livret de la collection Thématique de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire. 43 p.
11. Renaud, P., Champion, D., et Brenot, J., *Les retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl sur le territoire français. Conséquences environementales et exposition des personnes*.2007, Paris: Éditions Tec & Doc. Collection Sciences et techniques. Lavoisier.
12. 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 Rapport DEI/2011-01, 90 p.
13. IRSN. *Expertise de l'IRSN en matière de rejets hospitaliers de médecine nucléaire*. 2018 [cited 2018; Accessible à l'adresse: http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Communiques_et_dossiers_de_presse/Pages/expertise_IRSN_en_matiere_de_rejets_hospitaliers_medecine_nucleaire.
14. Blandin, P., *Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques*. Bulletin d'écologie, 1986. 17(4) p.
15. Stuiver, M. et Polach, A., *Discussion reporting og 14C data*. Radiocarbon, 1977. 19(3): 355-363 p.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

16. Laboratoire national Henri Becquerel, *Arrondissage des résultats de mesure - Nombre de chiffres significatifs*. 2004, Laboratoire national Henri Becquerel. Rapport Note technique LNHB/04-13, 8 p.

17. 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.

18. IRSN, *Radionucléides naturels en France*. 2007, IRSN. Rapport Rapport DEI/SESURE n°2007-21, 45 p.

19. 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.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

7. 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 12 page 64 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'^{131}I 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 (^{14}C) 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 (^{3}H, ^{7}Be et ^{14}C) ainsi que des radionucléides d'origine artificielle (^{137}Cs) sont

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

présents dans l'environnement terrestre. Les activités en radionucléides naturellement présents (^{3}H, ^{14}C) peuvent être augmentées par les rejets d'effluents de l'industrie nucléaire ou les activités militaires. Les dépôts globaux de ces radionucléides (^{3}H, ^{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, ^{110m}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 ^{3}H 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 l'^{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 ^{3}H et ^{14}C (^{54}Mn, ^{57}Co, ^{58}Co, ^{60}Co, ^{110m}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 ^{3}H 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.

En début de ce chapitre, il paraît nécessaire de donner la définition du terme de bio-indicateur. Blandin [14] 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 écocomplexe et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées ».

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

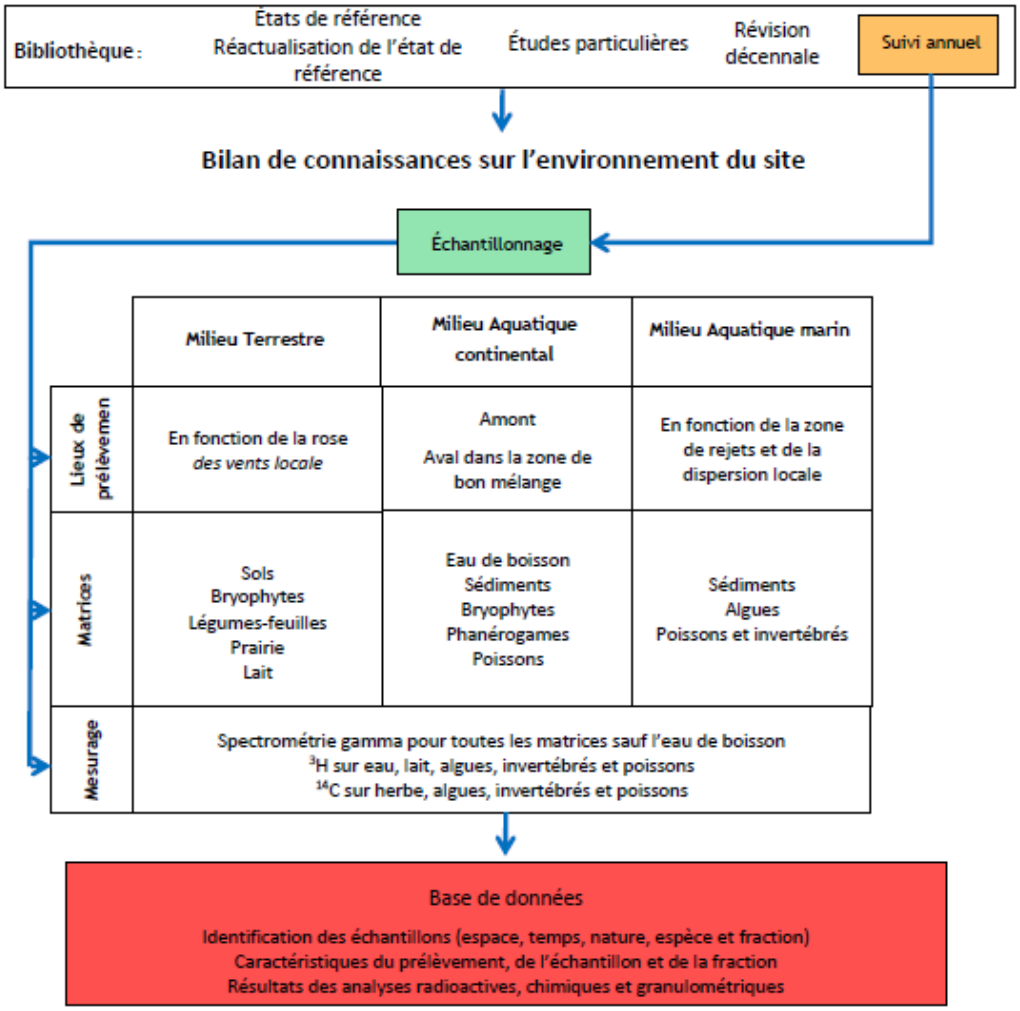


Figure 12 – Démarche utilisée pour la réalisation du suivi radioécologique annuel de chaque site.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

7.1. Choix des stations de prélèvements

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

7.2. 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. »

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

7.2.1. Domaine terrestre

7.2.1.1. Les bryophytes terrestres

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.

7.2.1.2. Les sols

On distingue les sols cultivés pour lesquels des labours sont réalisés des sols non cultivés sur lesquels les cultures pluriannuelles ne demandent aucun remaniement (pâturages). 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.

7.2.1.3. 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.

7.2.1.4. Les végétaux cultivés

Parmi les végétaux cultivés, les salades sont privilégiées. Elles représentent la catégorie de légumes à feuilles, largement consommée. Seules les parties aériennes, sans contact avec le sol, sont échantillonnées. Leur grande surface d'interception en fait d'assez bons indicateurs des retombées atmosphériques de l'année.

7.2.1.5. 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.

7.2.2. Domaine aquatique

7.2.2.1. Les 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.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

7.2.2.2. Les sediments

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.

7.2.2.3. Les 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.

7.2.2.4. 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.

7.3. 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.

7.4. 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, ^{14}C, produits d'activation ou de fission présents dans les rejets d'effluents liquides (émetteurs gamma comme les ^{54}Mn, ^{58}Co, ^{60}Co, ^{63}Ni, ^{123m}Te, ^{124}Sb, ^{125}Sb, ^{134}Cs ou ^{137}Cs) ou atmosphériques (émetteurs gamma comme les ^{58}Co, ^{60}Co, ^{134}Cs ou ^{137}Cs). Les rejets atmosphériques comprennent aussi des gaz rares et des iodes.

7.5. Méthode de prélèvements sur le terrain

7.5.1. Domaine terrestre

7.5.1.1. 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.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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.

7.5.1.2. 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 ^{14}C, il est immédiatement mis au frais.

7.5.1.3. 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 ^{3}H libre, lié et ^{14}C 1à 2 litre est conservé au frais.

7.5.2. Domaine aquatique continental

7.5.2.1. 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.

7.5.2.2. 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.

7.5.2.3. 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.

7.5.2.4. 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.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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).

7.6. Préparation et conditionnement des échantillons

7.6.1. Domaine terrestre

7.6.1.1. Sols

Après émottage 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 séché et tamisé 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.

7.6.1.2. Végétaux

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 13 page 69). 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).

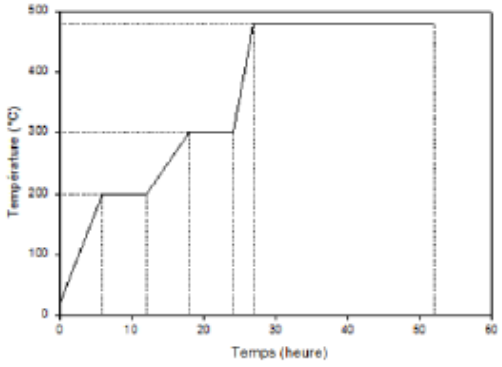


Figure 13 – Chronique d'une incinération : montée en température et paliers en fonction du temps.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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

Mesurage du tritium et du ^{14}C

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.

7.6.1.3. Lait

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.

Mesurage du tritium et du ^{14}C

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 ^{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 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.

7.6.2. Domaine aquatique continental

7.6.2.1. Eau de boisson

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.

Mesurage du tritium

La préparation pour le mesurage du ^{3}H 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.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

7.6.2.2. 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.

7.6.2.3. Végétaux

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 13 page 69). 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'^{131}I 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).

Mesurage du tritium et du ^{14}C

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.

7.6.2.4. Poissons

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.

Mesurage du tritium et du ^{14}C

Une aliquote est lyophylisée 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 aluminés sous vide.

7.7. Techniques d'analyses

7.7.1. Détermination de la teneur en matière organique et de la granulométrie des sols et des sediments

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.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

7.7.1.1. 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.

7.7.1.2. 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 Stockes 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.

7.7.2. 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.

7.7.3. 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.

7.7.4. 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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 (^{3}He), 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.

7.7.5. Mesure du ^{14}C

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 (^{3}He), 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.

7.7.6. 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 l'^{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

IRSN Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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.

7.8. 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 ^{137}Cs, émetteur β^-, donne naissance avec un rendement de 94,6 % au ^{137m}Ba de période 2,55 minutes et avec un rendement de 5,4 % au ^{137}Ba, stable. Le ^{137m}Ba conduit au ^{137}Ba, 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 ^{14}C 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 $^{13}C/^{12}C$ ($\delta^{13}C$ ci-dessous) :

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

d'après [15]

Chacun des résultats de mesure du ^{14}C 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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

= LD/2). En outre, le couple « valeur ± incertitude » ainsi que les SD sont arrondis depuis 2011 selon les règles du Laboratoire National Henri Becquerel [16].

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Les graphiques présentent les valeurs significatives (rond coloré) accompagnées de leurs incertitudes (barres verticales colorées hautes et basses) ou le seuil de décision (barre colorée depuis l'abscisse) dans le cas de valeurs non significatives (Figure ci-dessous).

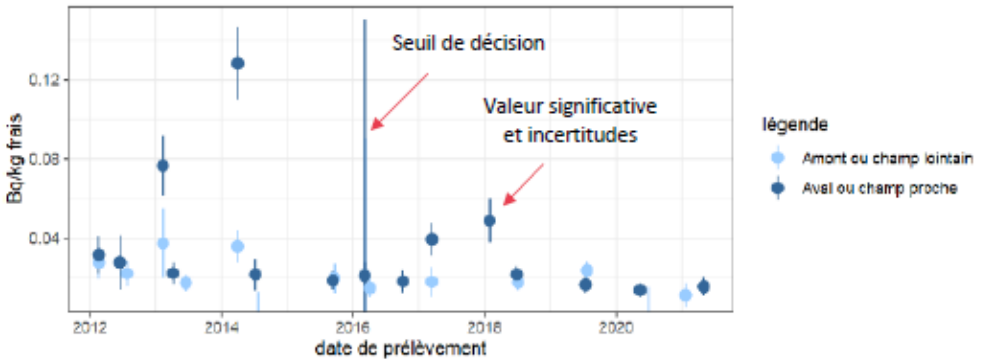


Figure 14 – Valeurs significatives et seuils de décisions dans les graphiques.

Dans le milieu aquatique continental, les résultats de mesure du ^{137}Cs peuvent être normalisés par la granulométrie pour baisser la variabilité naturelle [17]. 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 :

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

Où

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

$^{137}Cs_{meas}$ = 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 %.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

7.9. Radionucléides dans l'environnement

7.9.1. 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 ^{7}Be 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 : $^{40}K + (14 \times {}^{238}U) + (10 \times {}^{232}Th) + {}^{7}Be$. 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 [18].

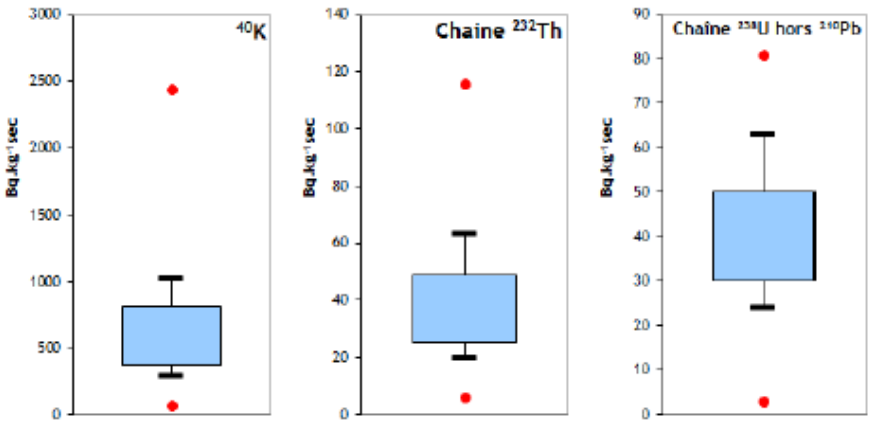


Figure 15 – Teneur en ^{40}K et en radionucléides des familles du ^{232}Th et du ^{238}U dans les sols métropolitains (1er et 3ème quartiles, 1er et 9ème déciles, minimum et maximum).

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

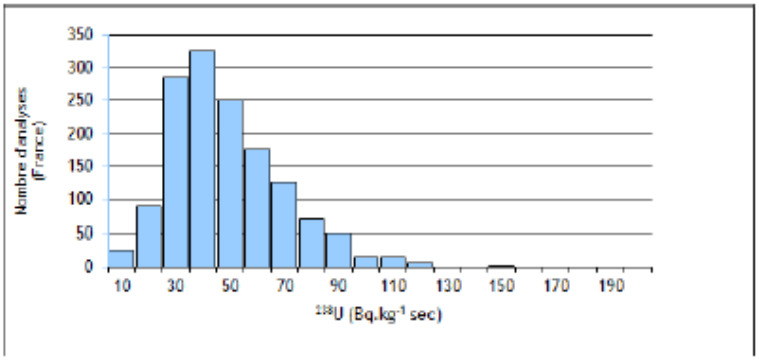


Figure 16 – Teneur en ^{238}U dans les sédiments métropolitains.

7.9.2. 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.

7.9.2.1. 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 des 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 [19].

7.9.2.2. 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 $^{134+137}Cs$, l'^{131}I, le ^{132}Te, le ^{140}Ba et les $^{103+106}Ru$. 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 $^{137}Cs/^{134}Cs$ est proche de 1 [12]. Il semblerait que les retombées en France aient été assez homogènes, sans fluctuations spatiales ou temporelles.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

7.9.2.3. 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, ^{110m}Ag, ^{123m}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 ^{110m}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.

7.9.2.4. 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.

7.9.3. Sources de ^{3}H

En dehors des rejets de ^{3}H liquides et dans l'atmosphère par les CNPE, le ^{3}H 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 ^{3}H de l'eau de pluie étaient inférieures à 2 Bq.L^{-1}. Le ^{3}H 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 inférieure à 2 Bq.L^{-1}.

7.9.4. Sources de ^{14}C

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

Les essais atmosphériques d'armes nucléaires ont massivement apporté du ^{14}C dans l'atmosphère. L'activité spécifique atmosphérique en ^{14}C est montée jusqu'à 400 Bq.kg^{-1} de carbone. Depuis, l'activité moyenne atmosphérique a décru. Elle est, en 2022, de 222±7 Bq.kg^{-1} de C [1].

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

7.10. 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
Carbone-14 (méthode AMS)	Laboratoire de mesure du carbone-14 Bâtiment 450 porte 4E CEA Saclay 91191 Gif-sur-Yvette Cedex Isotoptech Zrt. P.O. Box 390 Debrecen, H-4001 Hongrie
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
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

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

31 av. de la division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
RCS Nanterre B 440 546 018

COURRIER
B.P 17 - 92262 Fontenay-aux-Roses

TÉLÉPHONE
+33 (0)1 58 35 88 88

SITE INTERNET
www.irsn.fr

MEMBRE DE
ETSON

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
B.P.62
10 401 Nogent-sur-Seine cedex
Numéro de téléphone 0325256060

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