

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

2022

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

SOMMAIRE

Partie I - Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité de Saint-Laurent en 2022	4
I. Contexte	4
II. Le CNPE de Saint-Laurent	4
III. Modifications apportées au voisinage du CNPE de Saint-Laurent	5
IV. Évolutions scientifiques susceptibles de modifier l'étude d'impact	5
V. Bilan des incidents de fonctionnement et des événements significatifs pour l'environnement	6
Partie II - Prélèvements d'eau	8
I. Prélèvement d'eau destinée au refroidissement	10
II. Prélèvement d'eau destinée à l'usage industriel	10
III. Prélèvement d'eau destinée à l'usage domestique	11
IV. Milieu de prélèvement : comparaison pluriannuelle, prévisionnel, valeurs limites et maintenance	11
Partie III – Restitution et consommation d'eau	14
I. Restitution d'eau	14
II. Consommation d'eau	15
Partie IV - Rejets d'effluents	16
I. Rejets d'effluents à l'atmosphère	17
II. Rejets d'effluents liquides	29
III. Rejets thermiques	46
Partie V - Prévention du risque microbiologique	48
I. Bilan annuel des colonisations en circuit	48
II. Synthèse des traitements biocides et rejets associés	49
Partie VI - Surveillance de l'environnement	50
I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement	50
II. Physico-chimie des eaux souterraines	55
III. Chimie et physico-chimie des eaux de surface	56
IV. Physico-chimie et Hydrobiologie	63

V. Acoustique environnementale	65
--------------------------------	----

Partie VII - Évaluation de l'impact environnemental et sanitaire des rejets de l'installation
67

Partie VIII - Gestion des déchets	71
--	-----------

I. Les déchets radioactifs	71
----------------------------	----

II. Les déchets non radioactifs	76
---------------------------------	----

ABREVIATIONS	78
---------------------	-----------

ANNEXE 1 : Suivi microbiologique du CNPE de Saint-Laurent Année 2022	79
---	-----------

ANNEXE 2 : Suivi radioécologique annuel du CNPE de Saint-Laurent Année 2021	80
--	-----------

Partie I - Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité de Saint-Laurent en 2022

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 2022 du CNPE de Saint-Laurent en matière d'environnement.

II. Le CNPE de Saint-Laurent

Le Centre nucléaire de production d'électricité (CNPE) de Saint-Laurent est situé dans le département du Loir-et-Cher (41) sur le territoire de la commune de Saint-Laurent-Nouan. Il est implanté sur la rive gauche de la Loire, entre Orléans et Blois.

Le CNPE de Saint-Laurent a connu deux périodes de construction : Saint-Laurent A de 1963 à 1971 et Saint-Laurent B de 1975 à 1980.

1. Saint-Laurent A

Les deux réacteurs en déconstruction appartiennent à la filière Uranium naturel graphite gaz (UNGG). Le premier construit, Saint-Laurent A1, a fonctionné entre 1969 et 1991. Le second, Saint-Laurent A2, a été exploité entre 1971 et 1992. Ces deux réacteurs constituent l'installation nucléaire de base n°46. Le démantèlement complet de ces deux réacteurs a été autorisé par le décret 2010-510 du 18 mai 2010.

Les deux silos d'entreposage de chemises de graphite provenant de l'exploitation des réacteurs Saint-Laurent A1 et Saint-Laurent A2 constituent l'installation nucléaire de base n°74, dont l'exploitation par le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) a été autorisée par le décret du 14 juin 1971. L'exploitation de cette installation de base a été transférée à EDF par le décret du 28 juin 1984.

2. Saint-Laurent B

Les deux réacteurs en fonctionnement de Saint-Laurent B appartiennent à la filière REP (réacteur à eau sous pression). Le premier construit, Saint-Laurent B1, a fourni ses premiers kWh au réseau électrique en janvier 1981, le second Saint-Laurent B2 en juin 1981. Ces deux réacteurs constituent l'INB n°100. Ils sont pleinement exploités aujourd'hui et développent chacun une puissance électrique disponible pour le réseau de 900 MW.

Quotidiennement, ce sont plus de 1 250 hommes et femmes qui œuvrent à la production en toute sûreté d'une électricité compétitive et faiblement émettrice de CO₂.

L'ensemble des réacteurs de Saint-Laurent a déjà produit plus de 443 milliards de kWh depuis sa mise en service.

III. Modifications apportées au voisinage du CNPE de Saint-Laurent

La surveillance de l'environnement industriel est réalisée en application d'une prescription interne d'EDF. Lors de l'année 2022, aucune modification notable au voisinage du CNPE de Saint-Laurent n'a été identifiée.

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

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

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

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

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

En 2002, le CNPE de Saint-Laurent 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 Saint-Laurent 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 Saint-Laurent. 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 Saint-Laurent a mis en place un système permettant de détecter, tracer, déclarer, les Événements Significatifs pour l'Environnement (ESE) à l'Autorité de Sûreté Nucléaire, de traiter ces événements et d'en analyser les causes profondes pour les éradiquer.

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

1. Bilan des évènements significatifs pour l'environnement déclarés

Le tableau suivant récapitule les évènements significatifs pour l'environnement déclarés par le CNPE de Saint-Laurent en 2022.

Typologie	Date	Description de l'évènement	Principales actions correctives
ESE	26/09/2022	Le 7 septembre 2022, les équipes de la centrale de Saint-Laurent réalisent des prélèvements sur les effluents de la station d'épuration du site afin de contrôler la qualité de l'eau. Après analyses par un laboratoire externe, les échantillons prélevés révèlent une mesure en phosphore de 1,36 kg en sortie de station d'épuration pour une limite réglementaire fixée à 1 kg. Ce dépassement fait suite à une augmentation ponctuelle du volume d'eau à traiter par la station d'épuration (168 m³ sur 24h), alors que son débit maximal de traitement est de 120 m³. Le débit instantané en sortie de la station d'épuration étant nettement inférieur au débit de la Loire, cet événement n'a pas eu d'impact réel sur l'environnement.	Afin de prévenir ce type de situation, le site travaille depuis plusieurs mois à la mise en place d'une nouvelle station d'épuration. Cette nouvelle station, disposant de capacités de traitement plus importantes, a été mise en service le 26 septembre 2022.

2. Bilan des incidents de fonctionnement

Le CNPE de Saint Laurent a eu, durant l'année 2022, des matériels indisponibles tels que :

- Indisponibilité à plusieurs reprises de la chaîne de surveillance des rejets gazeux issus de la laverie et de l'atelier chaud. La mise en place d'actions correctives a permis de consolider le fonctionnement de ce matériel (rédaction d'un plan de maintenance, modification du protocole de prélèvement...) ;
- Indisponibilité des STR TR1 et TR2, dans ce cas la production de vapeur pour les besoins industriels se fait par les chaudières auxiliaires. Ces chaudières fonctionnent en circuit ouvert ce qui génère un volume d'effluent de type Ex (Exhaure) plus important.

Partie II - Prélèvements d'eau

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

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

Dans un CNPE, l'eau est nécessaire pour :

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

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

- le circuit primaire pour extraire la chaleur : c'est un circuit fermé parcouru par de l'eau sous pression (155 bars) et à une température de 300°C. L'eau passe dans la cuve du réacteur, capte la chaleur produite par la réaction de fission du combustible nucléaire et transporte cette énergie thermique vers le circuit secondaire au travers des générateurs de vapeur.
- le circuit secondaire pour produire la vapeur : au contact des milliers de tubes en « U » des générateurs de vapeur, l'eau du circuit primaire transmet sa chaleur à l'eau circulant dans le circuit secondaire, lui-aussi fermé. L'eau de ce circuit est ainsi transformée en vapeur qui fait tourner la turbine. Celle-ci entraîne l'alternateur qui produit l'électricité. Après son passage dans la turbine, la vapeur repasse à l'état liquide dans le condenseur ; cette eau est ensuite renvoyée vers les générateurs de vapeur pour un nouveau cycle.
- un troisième circuit, appelé « circuit de refroidissement » : pour condenser la vapeur et évacuer la chaleur, le circuit de refroidissement comprend un condenseur, appareil composé de milliers de tubes dans lesquels circule de l'eau froide prélevée dans la rivière ou la mer. Au contact de ces tubes, la vapeur se condense. Ce circuit de refroidissement est différent selon la situation géographique du CNPE :
 - o en bord de mer ou d'un fleuve à grand débit, les CNPE fonctionnent avec un circuit de refroidissement totalement ouvert.
De l'eau (environ 50 m³ par seconde) est prélevée pour assurer le refroidissement des équipements via le condenseur. Une fois l'opération de refroidissement effectuée, l'eau qui n'est jamais entrée en contact avec la radioactivité, est intégralement restituée dans la mer 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.

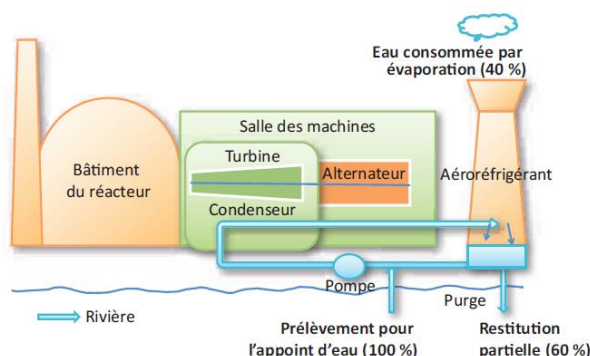


Figure 1 : Schéma d'un CNPE avec un circuit de refroidissement fermé (Source : EDF)

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

Que les CNPE soient en fonctionnement ou à l'arrêt, la 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, 60% de l'eau prélevée est restituée au fleuve, 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 elles sont implantées.

I. Prélèvement d'eau destinée au refroidissement

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel du prélèvement d'eau destinée au refroidissement de l'année 2022.

	Prélèvement d'eau (en millions de m ³)
Janvier	8,4
Février	7,7
Mars	8,5
Avril	8,2
Mai	8,9
Juin	9,9
Juillet	9,2
Août	9,8
Septembre	10,2
Octobre	10,3
Novembre	9,0
Décembre	8,2
TOTAL	108,4

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 2022.

	Prélèvement d'eau (en m ³)
Janvier	25677
Février	17956
Mars	21276
Avril	11328
Mai	18968
Juin	30614
Juillet	39380
Août	30330
Septembre	21375
Octobre	24564
Novembre	39297
Décembre	20586
TOTAL	301351

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 2022.

	Prélèvement d'eau (en m ³)
Janvier	4253
Février	4079
Mars	4957
Avril	5289
Mai	8540
Juin	8998
Juillet	4412
Août	4233
Septembre	5153
Octobre	6774
Novembre	5592
Décembre	4887
TOTAL	67166

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

1. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel des prélèvements d'eau pour 2022

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de prélèvement des années 2020 à 2022 avec la valeur du prévisionnel 2022.

Année	Milieu	Volume (milliers de m ³)
2020	Eau douce superficielle	102 862
2021		91 768
2022		108 661
Prévisionnel 2022		100 000
2020	Eau douce souterraine	97
2021		59
2022		67
Prévisionnel 2022		60

Commentaires : Le volume annuel d'eau douce superficielle prélevé est supérieur au prévisionnel qui avait été défini pour l'année 2022 de 9%, tout en restant cohérent compte tenu du temps effectif de fonctionnement des tranches.

Compte tenu du fonctionnement sans arrêt sur la Tranche 2 en 2022, le prélèvement en eau douce a été plus important pour le refroidissement des tranches.

Le volume annuel d'eau douce souterraine prélevé est supérieur au prévisionnel qui avait été défini pour l'année 2022 de 12%. Le prévisionnel est établi avec une moyenne des prélèvements sur 5 années, incluant une période de moindre consommation en raison du contexte sanitaire.

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 la décision ASN n° 2015-DC-0499.

Milieu	Limites de prélèvement		Prélèvement		Unité
	Prescriptions	Valeur	Valeur maximale	Valeur moyenne	
Eau douce superficielle	Débit instantané	7	4,38	3,44	m³/s
	Volume journalier	605 000	378 086	296 938	m³
	Volume annuel	127 000 000	108 661 285 *	S.O.	m³
Eau douce souterraine	Débit instantané	0,012	0,010	0,008	m³/s
	Volume journalier	1 000	753	184	m³
	Volume annuel	145 000	67 166 *	S.O.	m³

*Correspond au volume annuel prélevé

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

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

Il n'y a pas eu d'opération de maintenance significative ayant un impact sur les équipements et les ouvrages de prélèvement en Loire en 2022, au-delà des opérations classiques de maintenance sur ces matériels.

L'année 2022 n'a pas été concernée par des actions de maintenance (hors maintenance programmée) et aucune intervention ou opération de maintenance anticipée n'ont été nécessaires.

A noter que dans le cadre du retour d'expérience de l'événement survenu au CNPE de Fukushima-Daiichi, il a été décidé de mettre en place, sur l'ensemble des CNPE, un moyen complémentaire de pompage en eau d'ultime secours pour les matériels de l'îlot Nucléaire (bâches d'alimentation en eau de secours des générateurs de vapeur et piscines du bâtiment combustible et du bâtiment réacteur). Sur le CNPE de Saint-Laurent, la solution retenue est la réalisation de puits de pompage en nappe phréatique (1 puits par tranche). Les travaux ont débuté en août 2019.

Limites de prélèvement		Prélèvement		Unité
Prescriptions	Valeur	Valeur maximale	Valeur moyenne	
Débit instantané	75 ⁽¹⁾	45,5	20,1	m ³ /h
Volume journalier	600 ⁽¹⁾	1059,1	407,5	m ³
Volume annuel	3 000 ⁽¹⁾	5948,7		m ³

(1) Les volumes maximaux annuel et journalier et le débit maximal instantané sont portés respectivement à 23 000 m³ et 2 200 m³, et à 135 m³/h lors de la réalisation d'essais ou de travaux sur l'installation de pompage d'appoint ultime en eau prévue pour le respect de la prescription [INB100-25][ECS-16] de la décision n° 2012-DC-0291 du 26 juin 2012

Commentaires : Les valeurs maximales observées pour le débit instantané, le volume journalier et le volume annuel dans le cadre des prélèvements en nappe pour les essais de travaux de pompage d'appoint ultime sont conformes aux limites réglementaires.

4. Opérations exceptionnelles de prélèvements

Le CNPE de Saint-Laurent n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de prélèvement d'eau dans le milieu en 2022, excepté pour les prélèvements d'eau effectués en nappe pour les essais de fonctionnement du pompage d'appoint ultime.

Partie III – Restitution et consommation d'eau

I. Restitution d'eau

La restitution d'eau du CNPE de Saint-Laurent pour l'année 2022 est présentée dans le tableau ci-dessous.

		Restitution d'eau			
		Eau de refroidissement	Rejets radioactifs	Rejets industriels	Unités
Restitution mensuelle	Janvier	5830,54	1,98	17,0	milliers de m ³
	Février	5104,89	1,15	13,6	
	Mars	6567,24	1,98	14,9	
	Avril	6797,31	0,954	8,8	
	Mai	7327,37	0,531	12,5	
	Juin	8337,05	1,32	14,2	
	Juillet	6202,54	3,48	14,7	
	Août	8231,29	2,18	14,1	
	Septembre	10015,97	2,27	11,7	
	Octobre	8905,67	2,29	13,1	
	Novembre	7639,73	3,42	20,6	
	Décembre	5798,62	1,84	14,9	
TOTAL	Restitution au milieu aquatique	86952			
	Pourcentage de restitution d'eau au milieu aquatique par rapport au prélèvement	80%			

II. Consommation d'eau

La consommation d'eau correspond à la différence entre la quantité d'eau prélevée et la quantité d'eau restituée au milieu aquatique. Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel de consommation d'eau de l'année 2022.

	Consommation d'eau (en milliers de m ³)
Janvier	2625
Février	2583
Mars	1988
Avril	1453
Mai	1597
Juin	1599
Juillet	2988
Août	1596
Septembre	162
Octobre	1430
Novembre	1352
Décembre	2403
TOTAL	21777

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

Partie IV - Rejets d'effluents

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

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

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

Les rejets d'effluents se présentent sous différentes formes :

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

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

I. Rejets d'effluents à l'atmosphère

1. Rejets d'effluents à l'atmosphère radioactifs

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

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

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

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

Pour les autres installations nucléaires du CNPE (déconstruction notamment), les effluents sont issus de la ventilation des zones nucléaires et des procédés mis en œuvre dans l'installation. Les effluents sont canalisés, filtrés et surveillés en continu. Le rejet est réalisé par des cheminées dédiées de l'installation.

a. Règles spécifiques de comptabilisation

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

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

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

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

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

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

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

Paramètres	Radionucléide
Gaz rares	⁴¹ Ar
	⁸⁵ Kr
	^{131m} Xe
	¹³³ Xe
	¹³⁵ Xe
Tritium	³ H
Carbone 14	¹⁴ C

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

Paramètres	Radionucléide
Iodes	^{131}I
	^{133}I
Produits de fission et d'activation	^{58}Co
	^{60}Co
	^{134}Cs
	^{137}Cs

Pour Saint-Laurent A, le spectre de référence est rappelé ci-dessous.

Paramètres	Radionucléide
Tritium	^3H
Carbone 14	^{14}C
Produits de fission et d'activation	^{137}Cs
	^{36}Cl
	^{60}Co
	^{55}Fe
	^{90}Sr
	^{151}Sm
	^{241}Pu
Alpha	^{238}Pu
	$^{239+240}\text{Pu}$
	^{241}Am

c. Cumul mensuel

Les cumuls mensuels des rejets d'effluents radioactifs à l'atmosphère de Saint-Laurent B sont donnés dans le tableau suivant.

	¹³¹ I (GBq)	¹³³ I (GBq)	^{131m} Xe (GBq)	¹³³ Xe (GBq)	¹³⁵ Xe (GBq)	⁴¹ Ar (GBq)	⁸⁵ Kr (GBq)	¹³⁴ Cs (GBq)	¹³⁷ Cs (GBq)	⁵⁸ Co (GBq)	⁶⁰ Co (GBq)
Janvier	1,010E-04	5,675E-04	1,642E-02	1,773E+01	8,061E+00	1,722E+00	1,004E-01	2,090E-05	2,701E-05	3,126E-05	4,111E-05
Février	1,057E-04	5,445E-04	1,974E-02	1,608E+01	7,205E+00	2,112E+00	1,162E-01	2,189E-05	2,674E-05	3,141E-05	4,299E-05
Mars	1,232E-04	7,501E-04	9,980E-02	1,924E+01	8,747E+00	1,857E+00	4,938E-01	2,172E-05	3,012E-05	3,307E-05	5,053E-05
Avril	2,426E-04	6,537E-04	4,420E-03	1,849E+01	8,592E+00	4,186E-01	2,534E-02	2,332E-05	2,853E-05	3,563E-05	5,427E-05
Mai	1,246E-04	7,167E-04	1,236E-02	1,929E+01	9,061E+00	1,328E+00	7,669E-02	2,336E-05	3,174E-05	3,513E-05	5,507E-05
Juin	1,211E-04	6,442E-04	1,469E-02	1,791E+01	8,175E+00	7,204E-01	8,591E-02	2,178E-05	2,831E-05	3,052E-05	4,756E-05
Juillet	4,375E-03	6,679E-04	2,305E-02	1,927E+01	8,799E+00	1,800E+00	1,374E-01	2,306E-05	2,925E-05	3,798E-05	4,994E-05
Août	4,035E-04	7,119E-04	8,845E-02	1,893E+01	8,656E+00	6,670E+00	5,380E-01	2,418E-05	2,983E-05	3,324E-05	5,537E-05
Septembre	1,275E-04	6,600E-04	3,217E-02	2,070E+01	9,259E+00	3,597E-02	1,510E-01	2,547E-05	3,066E-05	3,366E-05	5,040E-05
Octobre	1,275E-04	7,114E-04	1,742E-02	1,779E+01	8,272E+00	4,329E-01	1,054E-01	2,510E-05	3,295E-05	3,761E-05	4,897E-05
Novembre	1,117E-04	6,984E-04	3,689E-02	1,689E+01	7,818E+00	7,750E-01	2,207E-01	2,183E-05	2,945E-05	3,161E-05	4,553E-05
Décembre	5,252E-04	6,261E-04	2,410E-02	1,753E+01	7,953E+00	1,918E+00	1,258E-01	1,964E-05	2,608E-05	2,996E-05	4,254E-05
TOTAL ANNUEL	6,49E-03	7,95E-03	3,90E-01	2,20E+02	1,01E+02	1,98E+01	2,18E+00	2,72E-04	3,51E-04	4,01E-04	5,84E-04

	Volumes rejetés (m ³)	Iodes (GBq)	Gaz rares (GBq)	Autres PF et PA (GBq)	Tritium (GBq)	Carbone 14 (GBq)
Janvier	1,87E+08	6,685E-04	2,763E+01	1,203E-04	2,542E+01	1,902E+01
Février	1,71E+08	6,502E-04	2,553E+01	1,230E-04	3,052E+01	
Mars	2,01E+08	8,733E-04	3,043E+01	1,354E-04	3,228E+01	
Avril	1,97E+08	8,963E-04	2,753E+01	1,417E-04	4,150E+01	1,058E+02
Mai	2,05E+08	8,413E-04	2,976E+01	1,453E-04	5,512E+01	
Juin	1,84E+08	7,653E-04	2,691E+01	1,282E-04	6,030E+01	
Juillet	1,97E+08	5,043E-03	3,003E+01	1,402E-04	6,801E+01	7,580E+01
Août	1,98E+08	1,115E-03	3,488E+01	1,426E-04	7,791E+01	
Septembre	1,85E+08	7,875E-04	3,017E+01	1,402E-04	7,504E+01	
Octobre	1,87E+08	8,389E-04	2,662E+01	1,446E-04	5,360E+01	3,257E+01
Novembre	1,80E+08	8,101E-04	2,574E+01	1,284E-04	4,550E+01	
Décembre	1,74E+08	1,151E-03	2,755E+01	1,182E-04	3,918E+01	
TOTAL ANNUEL	2,27E+09	1,44E-02	3,43E+02	1,61E-03	6,04E+02	2,33E+02

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.

Pour Saint-Laurent A, les cumuls mensuels sont donnés dans le tableau suivant.

	¹³⁴ Cs (GBq)	¹³⁷ Cs (GBq)	⁵⁸ Co (GBq)	⁶⁰ Co (GBq)
Janvier	7,529E-06	9,406E-06	1,064E-05	1,471E-05
Février	7,355E-06	8,852E-06	1,107E-05	1,534E-05
Mars	9,021E-06	1,145E-05	1,325E-05	1,861E-05
Avril	7,140E-06	8,860E-06	1,011E-05	1,535E-05
Mai	7,474E-06	9,436E-06	1,053E-05	1,508E-05
Juin	7,215E-06	9,463E-06	1,033E-05	1,414E-05
Juillet	7,483E-06	9,542E-06	1,045E-05	1,514E-05
Août	7,398E-06	9,355E-06	1,095E-05	1,516E-05
Septembre	7,435E-06	9,444E-06	1,109E-05	1,460E-05
Octobre	7,227E-06	9,544E-06	1,181E-05	1,516E-05
Novembre	7,231E-06	9,365E-06	1,060E-05	1,502E-05
Décembre	/	7,387E-06	/	1,135E-05
TOTAL ANNUEL	8,25E-05	1,12E-04	1,21E-04	1,80E-04

	Volumes rejetés (m³)	Autres PF et PA (GBq)	Tritium (GBq)	Emetteurs Alpha (GBq)	Carbone 14 (GBq)
Janvier	3,11E+07	4,228E-05	9,214E-01	6,536E-07	1,019E-01
Février	2,83E+07	4,262E-05	1,792E+00	7,046E-07	
Mars	4,13E+07	5,234E-05	2,890E+00	1,075E-06	
Avril	3,34E+07	4,147E-05	1,897E+00	8,656E-07	1,113E-01
Mai	3,35E+07	4,252E-05	2,442E+00	8,228E-07	
Juin	3,17E+07	4,114E-05	3,209E+00	8,203E-07	
Juillet	3,29E+07	4,261E-05	3,290E+00	6,316E-07	1,076E-01
Août	3,03E+07	4,286E-05	3,493E+00	7,091E-07	
Septembre	3,09E+07	4,257E-05	4,360E+00	7,763E-07	
Octobre	3,39E+07	4,374E-05	4,386E+00	9,660E-07	1,128E-01
Novembre	3,29E+07	4,222E-05	3,696E+00	7,793E-07	
Décembre	3,78E+07	1,873E-05	3,015E+00	8,228E-07	
TOTAL ANNUEL	3,98E+08	4,95E-04	3,54E+01	9,63E-06	4,24E-01

d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2022 pour Saint-Laurent B.

Année	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)				
	Gaz rares	Tritium	Carbone 14	Iodes	Autres produits de fission et d'activation
2020	344	688	282	0,01035	0,00182
2021	340	687	215	0,0258	0,00159
2022	343	604	233	0,0144	0,00161
Prévisionnel 2022	400	800	300	0,01	0,002

Commentaires : Les ordres de grandeur des rejets radioactifs à l'atmosphère sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2022.

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2022 pour les installations en déconstruction de Saint-Laurent A.

Année	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)			
	Tritium	Carbone 14	Autres produits de fission et d'activation	Emetteurs Alpha
2020	37,4	0,612	0,00107	0,00000971
2021	29,8	0,669	0,00101	0,00000922
2022	35,4	0,424	0,000495	0,00000963
Prévisionnel 2022	50	2	0,02	0,00003

Commentaires : Les rejets radioactifs à l'atmosphère sont globalement cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2022.

e. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n°2015-DC-0498 pour Saint-Laurent B.

Paramètres	Limites annuelles de rejet		Rejet	
	Prescriptions	Valeur	Valeur maximale	Valeur moyenne
Gaz rares	Activité annuelle rejetée (GBq)	30 000	343 *	S.O.
	Débit instantané (Bq/s)	10 ⁸	3,15E+06	1,95E+06
Carbone 14	Activité annuelle rejetée (GBq)	1 100	233 *	S.O.
Tritium	Activité annuelle rejetée (GBq)	4 000	604 *	S.O.
	Débit instantané (Bq/s)	10 ⁷	4,98E+04	1,90E+04
Iodes	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,6	0,0144 *	S.O.
	Débit instantané (Bq/s)	1 000	4,62E+00	4,59E-01
Autres produits de fission et produits d'activation	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,4	0,00161 *	S.O.
	Débit instantané (Bq/s)	900	6,76E-02	5,19E-02

**Correspond à l'activité annuelle rejetée*

Commentaires : Les rejets radioactifs à l'atmosphère de Saint-Laurent B respectent les valeurs limites de rejets de la décision ASN n°2015-DC-0498. Les débits instantanés ont respecté les valeurs de la décision ASN n°2015-DC-0498 tout au long de l'année 2022.

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2015-DC-0498 pour les installations en déconstruction de Saint-Laurent A.

Paramètres	Localisation prélèvement	Limites annuelles de rejet		Rejet	
		Prescriptions	Valeur	Valeur maximale	Valeur moyenne
Carbone 14	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	30	0,424 *	S.O.
Tritium	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	4 000	35,4 *	S.O.
	Cheminée SLA-BPA1	Débit instantané (Bq/s)	3,00E+03	3,74E+01	1,21E+01
	Cheminée SLA-BPA2	Débit instantané (Bq/s)	1,00E+06	1,58E+03	9,09E+02
	Cheminée SLA-BIC/SCE	Débit instantané (Bq/s)	8,00E+02	5,07E+00	3,14E+00
	Cheminée SLA-BCI	Débit instantané (Bq/s)	4,00E+04	3,20E+02	1,92E+02
Autres produits de fission et produits d'activation	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,1	4,95E-04 *	S.O.
	Cheminée SLA-BPA1	Débit instantané (Bq/s)	75	7,73E-03	6,04E-03
	Cheminée SLA-BPA2	Débit instantané (Bq/s)	75	2,00E-02	6,31E-03
	Cheminée SLA-BIC/SCE	Débit instantané (Bq/s)	40	3,75E-03	2,87E-03
	Cheminée SLA-BCI	Débit instantané (Bq/s)	20	1,15E-03	7,84E-04
Alpha	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	5,00E-05	9,63E-06 *	S.O.

*Correspond à l'activité annuelle rejetée

Commentaires : Les rejets radioactifs à l'atmosphère de Saint-Laurent A respectent les valeurs limites de rejets de la décision ASN n°2015-DC-0498. Les débits instantanés ont respecté les valeurs de la décision ASN n°2015-DC-0498 tout au long de l'année 2022.

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

Les rejets radioactifs diffus ont notamment pour origine :

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

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

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

	Volume (m³)	Rejets de vapeur du circuit secondaire		Rejets au niveau des événements des réservoirs d'eau de refroidissement des piscines et d'entreposage des effluents liquides	
		Tritium (Bq)	Iodes (Bq)	Tritium (Bq)	Iodes (Bq)
Janvier	1,63E+04	/	/	3,137E+07	0,000E+00
Février	1,20E+04	/	/	2,279E+07	0,000E+00
Mars	1,40E+04	/	/	4,772E+07	0,000E+00
Avril	7,01E+03	/	/	1,670E+07	0,000E+00
Mai	9,31E+03	/	/	8,732E+06	0,000E+00
Juin	1,22E+04	/	/	4,676E+07	0,000E+00
Juillet	1,53E+04	/	/	6,972E+07	0,000E+00
Août	1,39E+04	/	/	3,861E+07	0,000E+00
Septembre	1,29E+04	/	/	2,909E+07	0,000E+00
Octobre	1,34E+04	/	/	1,919E+07	0,000E+00
Novembre	2,20E+04	/	/	2,874E+07	0,000E+00
Décembre	1,49E+04	/	/	1,837E+07	0,000E+00
TOTAL ANNUEL	1,63E+05	/	/	3,78E+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 (SO_2 , NO_x) de ces matériels de petites puissances sont faibles sachant qu'ils ne fonctionnent que peu de temps (moins de 50 h/an par diesel) lors des essais périodiques ou d'incidents.
- Les émissions de fluides frigorigènes. En effet, un CNPE est équipée de groupes frigorifiques pour assurer la production d'eau glacée et pour la réfrigération des locaux techniques et administratifs. Ces matériels utilisent des produits pouvant accroître l'effet de serre. Le fonctionnement des matériels et les opérations de maintenance conduisent à des émissions de fluides frigorigène. Ces émissions sont réglementairement déclarées et comptabilisées et des actions sont prises pour remédier à la situation.
- Les opérations de maintenance effectuées dans les bâtiments réacteur des CNPE : Lors de ces opérations, une quantité plus ou moins importante de calorifuges est changée par des produits neufs. Pendant les phases de montée en température correspondant à la remise en service des installations, certains types de calorifuges émettent, par dégradation thermique, des vapeurs formolées dans l'enceinte, qui peuvent être à l'origine de rejets de monoxyde de carbone.
- Le conditionnement de circuit à l'arrêt : à l'occasion des arrêts de tranche pour une durée supérieure à une semaine, la conservation humide des générateurs de vapeur permet de s'affranchir du risque de corrosion des matériaux constitutifs et de disposer d'une barrière biologique (écran d'eau) pour réaliser des travaux environnants. Les générateurs de vapeur sont alors remplis avec de l'eau déminéralisée conditionnée à l'hydrazine et additionnée avec de l'ammoniaque dans des proportions définies dans les spécifications chimiques de conservation à l'arrêt.

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

La quantité annuelle évaluée d'oxyde de soufre (SO_x) rejetée dans l'atmosphère lors du fonctionnement périodique des groupes électrogènes de secours (moteurs Diesels) ayant fonctionné pendant 113 heures et diesels d'ultime secours (DUS) ayant fonctionné pendant 15 heures, au total sur les 2 tranches pour 2022 est de :

Paramètre	Unité	Groupes électrogènes	DUS	TOTAL
SO_x	kg	1	0	1

b. Rejets de formaldéhyde et de monoxyde de carbone

Les calorifuges utilisés dans les bâtiments réacteurs ne dégagent pas de formaldéhyde ou de monoxyde de carbone. Par conséquent, il n'y a pas eu de rejet de formaldéhyde et de monoxyde de carbone via les circuits ETY ou EBA.

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	68,5
Ethanolamine		5,2

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 Saint-Laurent.

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
Chloro-fluoro-carbone (CFC)	0	0
Hydrogéo-chloro-fluor-carbone (HCFC)	0	0
Hydrogéo-fluoro-carbone (HFC)	44,94	86,76
Hexafluorure de soufre (SF ₆)	0	0
Total des émissions de GES en tonne équivalent CO ₂		86,76

Dans le respect de la réglementation relative aux systèmes d'échanges de quota d'émissions de gaz à effet de serre, le CNPE déclare chaque année les émissions de CO₂ 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 2022, les émissions liées à cette activité représentent 272 tonne équivalent CO₂.

L'équivalent CO₂ total des émissions de GES du CNPE constituées des pertes de fluides frigorigène et SF₆ et de la combustion des diesels de secours, représente 0,038 10⁻³ gCO₂ / kWh électrique produit, la production annuelle nette d'électricité ayant été de 9,4 TWh sur l'année 2022.

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

L'année 2022 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 Saint-Laurent n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de rejets d'effluents à l'atmosphère en 2022.

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 (résiduaire, chimiques, planchers, servitudes), le traitement de ces effluents, approprié à leurs caractéristiques physico-chimiques, peut se faire :

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

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

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

Pour les autres installations nucléaires (déconstruction notamment), des effluents liquides radioactifs peuvent être générés par les procédés mis en œuvre. Ces effluents sont récoltés, stockés, traités et contrôlés avant rejet. Les rejets sont surveillés en continu et réalisés en concertation avec les autres rejets pour l'ensemble du CNPE.

Les rejets liquides de démantèlement et d'exploitation générés par Saint-Laurent A sont transférés vers le réseau des effluents liquides radioactifs de Saint-Laurent B lorsqu'ils sont compatibles, ou sont traités en déchets.

a. Règles spécifiques de comptabilisation

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

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

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

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).

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

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

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

c. Cumul mensuel

Le cumul mensuel des rejets d'effluents radioactifs liquides pour Saint-Laurent B est donné dans le tableau suivant :

	¹³¹ I (MBq)	^{110m} Ag (MBq)	^{123m} Te (MBq)	¹²⁴ Sb (MBq)	¹²⁵ Sb (MBq)	¹³⁴ Cs (MBq)	¹³⁷ Cs (MBq)	⁵⁴ Mn (MBq)	⁵⁸ Co (MBq)	⁶⁰ Co (MBq)	²⁴ Na (MBq)
Janvier	6,63E-01	7,37E+00	8,89E-01	1,26E+00	2,00E+00	6,99E-01	9,15E-01	8,89E-01	9,04E-01	6,26E+00	/
Février	3,05E-01	5,29E+00	7,86E-01	3,50E-01	9,13E-01	3,48E-01	4,15E-01	4,08E-01	3,88E-01	2,65E+00	/
Mars	5,13E-01	9,02E+00	3,10E-01	5,80E-01	1,56E+00	5,81E-01	7,47E-01	6,93E-01	7,10E-01	2,23E+00	/
Avril	2,56E-01	8,36E+00	2,43E-01	4,00E-01	8,00E-01	3,02E-01	3,70E-01	3,44E-01	3,55E-01	4,14E+00	/
Mai	1,49E-01	5,06E+00	3,73E-01	1,89E-01	4,70E-01	1,80E-01	2,12E-01	2,04E-01	1,97E-01	2,84E+00	/
Juin	3,34E-01	4,28E+00	2,08E-01	3,95E-01	1,06E+00	3,91E-01	4,63E-01	4,74E-01	6,93E-01	2,30E+00	/
Juillet	1,07E+00	1,45E+01	7,58E-01	1,79E+00	3,25E+00	1,14E+00	2,06E+00	1,28E+00	2,51E+00	1,35E+01	/
Août	6,60E-01	7,11E+00	4,49E-01	7,76E-01	3,38E+00	7,42E-01	1,21E+00	8,45E-01	1,34E+00	5,91E+00	/
Septembre	6,41E-01	1,03E+01	8,61E-01	2,57E+01	5,99E+00	6,91E-01	8,54E-01	8,31E-01	5,21E+00	2,45E+00	1,04E+00
Octobre	6,78E-01	2,49E+01	1,74E+00	1,10E+01	3,22E+00	7,52E-01	9,20E-01	8,30E-01	8,27E+00	3,58E+00	/
Novembre	1,06E+00	4,43E+01	1,87E+00	2,77E+00	3,17E+00	1,14E+00	1,37E+00	1,26E+00	5,90E+00	4,35E+00	/
Décembre	5,17E-01	9,13E+00	1,26E+00	8,16E-01	1,53E+00	5,70E-01	7,01E-01	6,60E-01	7,85E-01	3,491	/
TOTAL ANNUEL	6,85E+00	1,50E+02	9,75E+00	4,60E+01	2,73E+01	7,54E+00	1,02E+01	8,72E+00	2,73E+01	5,37E+01	1,04E+00

	Volumes rejetés (m³)	Activité Iodes (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)	Activités Tritium (GBq)	Activités Carbone 14 (GBq)
Janvier	1,63E+04	6,628E-04	2,209E+01	1,638E+03	2,699E-01
Février	1,20E+04	3,053E-04	1,230E+01	1,536E+03	5,877E-01
Mars	1,37E+04	5,129E-04	1,781E+01	2,899E+03	2,412E+00
Avril	7,01E+03	2,559E-04	1,577E+01	1,306E+03	4,184E-01
Mai	9,34E+03	1,489E-04	1,003E+01	3,096E+02	2,954E-02
Juin	1,22E+04	3,337E-04	1,095E+01	1,917E+03	5,456E-01
Juillet	1,53E+04	1,073E-03	4,356E+01	4,272E+03	2,080E+00
Août	1,32E+04	6,600E-04	2,351E+01	1,691E+03	3,287E+00
Septembre	1,12E+04	6,405E-04	5,746E+01	7,873E+02	8,958E-01
Octobre	1,33E+04	6,781E-04	5,739E+01	1,230E+03	6,070E-01
Novembre	2,20E+04	1,062E-03	6,613E+01	1,718E+03	6,739E-01
Décembre	1,49E+04	5,169E-04	1,985E+01	1,040E+03	4,549E-01
TOTAL ANNUEL	1,60E+05	6,85E-03	3,41E+02	2,03E+04	1,23E+01

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

d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejet de l'année 2022 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2022 pour les tranches en fonctionnement.

	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)			
	Tritium	Carbone 14	Iodes	Autres PA et PF
2020	22 793	14,9	0,00848	0,322
2021	15 175	10,8	0,00791	0,663
2022	20 300	12,3	0,00685	0,341
Prévisionnel 2022	22 000	10	0,01	0,5

Commentaires : Les ordres de grandeur des rejets radioactifs liquides sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2022 (méthode d'élaboration du prévisionnel sur 3 ou 5 ans arrondi à la centaine de GBq).

e. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2015-DC-0498 pour les tranches en fonctionnement.

Paramètres	Limites annuelles de rejet		Rejet
	Prescriptions	Valeur	Valeur (GBq)
Tritium	Activité annuelle rejetée (GBq)	45 000	20 300
Carbone 14	Activité annuelle rejetée (GBq)	130	12,3
Iodes	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,2	0,00685
Autres PA et PF	Activité annuelle rejetée (GBq)	20	0,341

Commentaires : Les limites réglementaires de rejets ont été respectées.

f. Surveillance des eaux de surface

Des prélèvements d'eau de fleuve sont réalisés lors de chaque rejet d'effluents liquides radioactifs (à mi-rejet). Des prélèvements journaliers sont également réalisés en dehors des périodes de rejet. Plusieurs analyses sont réalisées sur ces échantillons d'eau filtrée (mesure de l'activité alpha globale, 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 2022 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 2022	Valeur maximale mesurée en 2022	Limite réglementaire	Valeur moyenne mesurée en 2022	Valeur maximale mesurée en 2022	Limite réglementaire
Eau filtrée	Activité alpha globale	0,04 Bq/L	0,05 Bq/L	-	-	-	-
	Activité bêta globale	0,18 Bq/L	0,33 Bq/L	2 Bq/L	-	-	-
	Tritium	40,3 Bq/L	79,8 Bq/L	280 Bq/L	34,35 Bq/L	80,20 Bq/L	140 ⁽¹⁾ / 100 ⁽²⁾ Bq/L
	Potassium	3,92 mg/L	4,9 mg/L	-	-	-	-
Matières en suspension	Activité bêta globale	0,03 Bq/L	0,07 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 2022 sont cohérentes avec les valeurs attendues du fait des rejets d'effluents autorisés du CNPE. Les mesures d'activité bêta globale et de l'activité en tritium dans l'eau sont très inférieures aux limites réglementaires.

2. Rejets d'effluents liquides chimiques

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

Ces rejets d'effluents chimiques sont issus :

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

Les principales substances utilisées sont :

- l'acide borique (H_3BO_3) : le bore contenu dans cet acide est « avide » des neutrons produits lors de la réaction nucléaire. C'est une substance neutrophage, qui permet donc le contrôle de la réaction de fission et donc le pilotage du réacteur. Ce bore est dissous dans l'eau du circuit primaire.
- la lithine (LiOH) : ce produit est utilisé pour maintenir le pH du circuit primaire. En effet, le bore est sous forme acide. Pour éviter les effets de corrosion liés à cet acide, de la lithine est ajoutée à l'eau du circuit primaire afin d'ajuster le pH à celui de moindre corrosion. La concentration en lithine est donc directement liée à celle du bore.
- l'hydrazine (N_2H_4) : ce produit est utilisé principalement dans le circuit secondaire comme un agent anti-oxydant. Il permet d'éliminer l'oxygène dissous dans le mélange eau-vapeur, et ainsi maintenir là aussi un pH de moindre corrosion du circuit secondaire.
- La morpholine ($\text{C}_4\text{H}_9\text{NO}$), l'éthanolamine ($\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}$) 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 ($\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}$), 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.

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

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

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

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

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

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

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

- L'éthanolamine a des propriétés irritantes (oculaire, cutané, brûlure d'œsophage dans le cas de l'ingestion) et corrosives. Aucune Valeur Toxicologique de Référence (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 1^{er} janvier 2015 pour la comptabilisation des quantités de substances chimiques rejetées. Cette nouvelle règle consiste à retenir par convention une valeur de concentration égale à la limite de quantification divisée par deux lorsque le résultat de la mesure est en dessous de la limite de quantification des moyens métrologiques employés pour effectuer l'analyse.

c. Rejets d'effluents liquides chimiques via l'ouvrage de rejet principal

i. Cumul mensuel

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

	Acide borique (kg)	Ammonium (kg)	Azote (kg)	Détergents (kg)	Ethanolamine (kg)	Morpholine (kg)	Hydrazine (kg)	Nitrates (kg)	Nitrites (kg)	Phosphates (kg)
Janvier	1,55E+02	1,00E+02	1,64E+02	1,98E+00	8,36E+00	0	9,12E-02	1,03E+02	2,06E+02	1,57E+00
Février	2,87E+02	6,97E+01	1,53E+02	1,14E+00	3,01E-01	0	5,57E-02	9,42E+01	2,53E+02	2,49E+00
Mars	1,20E+02	5,54E+01	1,14E+02	1,98E+00	3,42E-01	0	6,13E-02	9,54E+01	1,64E+02	5,45E+00
Avril	1,12E+02	4,40E+01	8,45E+01	9,54E-01	1,75E-01	0	2,18E-02	7,33E+01	1,11E+02	6,68E+00
Mai	3,00E+02	4,33E+01	9,52E+01	5,31E-01	2,33E-01	0	3,30E-02	6,76E+01	1,52E+02	2,86E+00
Juin	1,42E+02	4,42E+01	9,17E+01	1,32E+00	2,50E-01	0	7,98E-02	9,31E+01	1,19E+02	5,08E+00
Juillet	2,96E+02	1,07E+02	1,36E+02	1,63E+01	3,83E-01	0	8,33E-02	1,04E+02	9,71E+01	6,09E+00
Août	1,57E+02	6,68E+01	8,41E+01	3,49E+00	2,09E+00	0	1,18E-01	6,68E+01	5,60E+01	1,75E+01
Septembre	1,08E+02	1,00E+01	1,36E+01	2,88E+00	1,52E+00	0	9,95E-02	2,33E+01	1,82E+00	6,12E+00
Octobre	4,66E+02	6,18E+01	8,72E+01	2,85E+00	3,40E-01	0	9,30E-02	5,42E+01	8,84E+01	3,35E+00
Novembre	7,72E+02	4,70E+01	8,37E+01	3,42E+00	7,81E-01	0	1,80E-01	8,37E+01	9,28E+01	2,40E+00
Décembre	4,15E+02	8,35E+01	1,23E+02	1,84E+00	3,74E-01	0	7,51E-02	9,97E+01	1,16E+02	6,60E+00
TOTAL ANNUEL	3,33E+03	7,33E+02	1,23E+03	3,86E+01	1,53E+01	0	9,92E-01	9,58E+02	1,46E+03	6,62E+01

	Métaux totaux (kg)	Cuivre (kg)	Zinc (kg)	Manganèse (kg)	Nickel (kg)	Titane (kg)	Chrome (kg)	Fer (kg)	Aluminium (kg)	Sulfates (kg)
Janvier	2,51E+00	7,52E-02	5,74E-02	4,06E-02	4,06E-02	8,13E-02	4,06E-02	1,35E+00	8,19E-01	8,59E+03
Février	9,42E-01	1,86E-01	3,87E-02	3,01E-02	3,01E-02	6,02E-02	3,01E-02	1,20E-01	4,45E-01	5,59E+03
Mars	1,57E+00	3,51E-01	5,30E-02	4,61E-02	3,42E-02	6,84E-02	3,42E-02	7,89E-01	1,92E-01	6,44E+03
Avril	7,76E-01	6,68E-02	9,68E-02	5,77E-02	1,75E-02	3,50E-02	1,75E-02	3,96E-01	8,82E-02	5,81E+03
Mai	9,03E-01	1,11E-01	6,38E-02	6,59E-02	2,33E-02	4,67E-02	2,33E-02	4,69E-01	9,97E-02	6,16E+03
Juin	2,42E+00	8,04E-01	8,37E-02	8,99E-02	2,90E-02	5,80E-02	2,90E-02	1,18E+00	1,49E-01	9,48E+03
Juillet	4,29E+00	8,87E-01	1,03E-01	1,27E-01	3,83E-02	7,66E-02	3,83E-02	1,38E+00	1,64E+00	1,39E+04
Août	1,53E+00	3,62E-01	6,46E-02	6,46E-02	3,30E-02	6,60E-02	3,30E-02	5,18E-01	3,87E-01	1,15E+04
Septembre	1,83E+00	5,71E-01	2,51E-01	1,24E-01	2,79E-02	5,58E-02	2,79E-02	6,13E-01	1,59E-01	8,60E+03
Octobre	2,30E+00	5,38E-01	1,24E-01	1,30E-01	3,16E-02	6,31E-02	3,16E-02	1,23E+00	1,49E-01	9,65E+03
Novembre	1,98E+00	2,67E-01	9,76E-02	9,76E-02	5,49E-02	1,10E-01	5,49E-02	1,01E+00	2,81E-01	1,36E+04
Décembre	1,18E+00	1,14E-01	5,85E-02	1,21E-01	3,74E-02	7,47E-02	3,74E-02	5,61E-01	1,77E-01	6,77E+03
TOTAL ANNUEL	2,22E+01	4,33E+00	1,09E+00	9,95E-01	3,98E-01	7,96E-01	3,98E-01	9,62E+00	4,59E+00	1,06E+05

Le cumul mensuel des rejets chimiques liés au traitement biocide à la monochloramine est donné dans le tableau suivant :

	Ammonium (kg)	Nitrites (kg)	Nitrates (kg)	CRT (kg)	Chlore libre (si chloration massive) (kg)	Sulfates (si chloration massive) (kg)
Janvier	0	0	0	0	0	0
Février	0	0	0	0	0	0
Mars	0	0	0	0	0	0
Avril	15,4	5,5	5640	125	0	0
Mai	31,8	0	12600	273	0	0
Juin	10,9	0	11500	273	0	0
Juillet	16,7	82,2	20200	514	0	0
Août	14,1	103	8960	232	0	0
Septembre	3,58	10,3	649,5	55,2	0	0
Octobre	61,7	152	3310	154	0	0
Novembre	0	0	0	0	0	0
Décembre	0	0	0	0	0	0
TOTAL ANNUEL	154,2	353	62859,5	1626,2	0	0

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 2022 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2022 pour Saint-Laurent B.

Substances	Unité	2020	2021	2022	Prévisionnel 2022
Acide borique	kg	3025	3057	3331	3 000
Ethanolamine	kg	18,8	13,8	15,3	25
Hydrazine	kg	0,51	0,65	0,99	1,1
Détergents	kg	38,8	36,4	38,6	40
Azote	kg	1181	1061	1230	1 100
Phosphates	kg	47,2	188,8	66,2	200
Métaux totaux	kg	27,2	30	22,2	30
Sulfates	kg	79 804	72 667	106071	83 000

Commentaires : Les rejets d'effluents liquides chimiques issus des réservoirs T, S et Ex sont cohérents avec le prévisionnel 2022.

Pour l'azote, le dépassement de l'objectif est dû au volume plus important d'effluents de type Ex rejetés au cours de l'année 2022. Concernant l'acide borique, le dépassement de l'objectif est dû à la stratégie de pilotage des effluents borés (équilibre entre enfûtage et production d'effluents liquides). Enfin, pour les sulfates le dépassement de l'objectif est dû à une production d'eau déminéralisée plus importante.

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets d'effluents non radioactifs liquides issus du traitement biocide à la monochloramine de l'année 2022 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2022 pour Saint-Laurent B.

Substances	Unité	2020	2021	2022	Prévisionnel 2022
Chlorures	kg	63 704	56 901	79 803	62 000
Sodium	kg	41 273	36 866	53 175	40 000
AOX	kg	183	289	243	300
THM	kg	0	0	0	0
CRT	kg	707	945	1626	800
Ammonium	kg	118	512	62	500
Nitrites	kg	1 021	1 045	353	1 000
Nitrates	kg	57 194	50 967	62859	56 000
Chlore libre (si chloration massive)	kg	0	0	0	0
Sulfates (si chloration massive)	kg	0	0	0	0

Commentaires : Les dépassements en chlorures, sodium, CRT et nitrates sont dus à un nombre de jours de traitement à la monochloramine supérieur à celui utilisé pour le calcul du prévisionnel (148 jours pour le calcul du prévisionnel pour 164 réalisés). Concernant l'ammonium et les nitrites, le prévisionnel de l'année n est calculé à partir des résultats de l'année n-1. L'optimisation du traitement au cours de l'année 2022 a permis de réduire significativement les rejets de ces deux espèces par rapport au prévisionnel.

i. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2015-DC-0498 pour les tranches en fonctionnement.

	Limite	Rejet		Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet
Substances	Concentration maximale ajoutée (mg/L)	Valeur maximale calculée	Valeur moyenne calculée	Flux 24h (kg)	Valeur maximale calculée	Flux 2h (kg)	Valeur maximale calculée	Flux annuel ajouté (kg)	Flux annuel calculé
Acide borique	29	0,84	0,07	1 400	179	250	20	10 000	3331
Morpholine	0,71	0	0	11	0	-	-	500	0
Ethanolamine	1,7	0,039	0,001	9,5	2,2	-	-	400	15,3
Hydrazine	0,1	0,001	0,0001	1,5	0,04	-	-	16	0,99
Détergents	3,5	0,16	0,001	100	5	30	2,42	1 500	38,69
Azote	3,5	0,61	0,1	54	21	-	-	6 000	1230
Phosphates	1,2	0,094	0,003	90	6	10	1,7	710	66,19
Métaux totaux	0,14	0,005	0,001	-	-	-	-	62	22,23
Sulfates	41	32,8	10,2	1 925	964	-	-	-	-

L'article 5.3.1 de la décision ASN n°2017-DC-0588 demande une évaluation de la quantité annuelle de lithine rejetée. En 2022, la quantité de lithine rejetée par le CNPE de Saint-Laurent est évaluée à 0,117 kg.

Commentaires : Les rejets liquides chimiques respectent les valeurs limites annuelles de rejet de la décision ASN n° 2015-DC-0498.

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets liés au traitement biocide à la monochloramine de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2015-DC-0498 pour les tranches en fonctionnement.

	Limite	Rejet		Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet
Substances	Concentration maximale ajoutée (mg/L)	Valeur maximale calculée	Valeur moyenne calculée	Flux 24h (kg)	Valeur maximal calculée	Flux 2h (kg)	Valeur maximale calculée	Flux annuel ajouté (kg)	Flux annuel calculé
Chlorures	14	6,54	2,43	1 740	1079	-	-	-	-
Sodium	20	4,32	1,61	1 900	712	-	-	-	-
AOX	0,11	0,02	0,01	15	4,1	-	-	1 000	243
THM	0,3	0	0	9,5	0	2,5	0	-	-
CRT	0,31	0,11	0,05	45	23	-	-	4 500	1626
Ammonium	3,5 ⁽¹⁾	1,23	0,44	70	5,5	-	-	-	-
Nitrites				70	14,7	-	-	-	-
Nitrates				1 470	896	-	-	-	-
Chlore libre (si chloration massive)	0,1	0	0	-	-	-	-	-	-
Sulfates (si chloration massive)	41	0	0	1 925	0	-	-	-	-

(1) Les concentrations sont exprimées en azote

Commentaires : Les rejets liquides chimiques liés au traitement biocide à la monochloramine respectent les valeurs limites annuelles de rejet de la décision ASN n° 2015-DC-0498.

d. Rejets d'effluents liquides chimiques via l'ouvrage de rejet secondaire

Ce paragraphe présente les rejets de substances chimiques transitant par l'ouvrage de rejet secondaire du CNPE de Saint-Laurent pour l'année 2022.

i. Mesures mensuelles

Le tableau ci-dessous présente les mesures mensuelles réalisées en 2022.

	Concentration en Hydrocarbures (mg/L)	pH
Janvier	<1,00E-01	7
Février	<1,00E-01	6,9
Mars	<1,00E-01	6,7
Avril	<1,00E-01	6,9
Mai	<1,00E-01	7,1
Juin	<1,00E-01	7,5
Juillet	<1,00E-01	7
Août	<1,00E-01	7,4
Septembre	<1,00E-01	7,5
Octobre	<1,00E-01	8,4
Novembre	<1,00E-01	7,8
Décembre	<1,00E-01	7

ii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs des rejets de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2015-DC-0498.

	Limite	Rejet	Limite	Rejet	
Paramètre	Concentration maximale ajoutée (mg/L)	Valeur maximale mesurée (mg/L)	pH	Valeur maximale mesurée	Valeur minimale mesurée
Hydrocarbures	5	<1,00E-01	-	-	-
pH	-	-	Entre 6 et 9	8,4	6,7

Commentaires : Les limites réglementaires sont respectées.

e. Rejets d'effluents liquides chimiques via l'ouvrage SEO-SLA

Ce paragraphe présente les rejets de substances chimiques transitant par l'ouvrage SEO-SLA du CNPE de Saint-Laurent pour l'année 2022.

i. Mesures mensuelles

Le tableau ci-dessous présente les mesures mensuelles réalisées en 2022.

	Concentration en Hydrocarbures (mg/L)
Janvier	<1,00E-01
Février	<1,00E-01
Mars	<1,00E-01
Avril	<1,00E-01
Mai	1,00E-01
Juin	<1,00E-01
Juillet	<1,00E-01
Août	<1,00E-01
Septembre	<1,00E-01
Octobre	<1,00E-01
Novembre	<1,00E-01
Décembre	<1,00E-01

ii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs des rejets de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2015-DC-0498.

	Limite	Rejet
Paramètre	Concentration maximale ajoutée (mg/L)	Valeur maximale mesurée (mg/L)
Hydrocarbures	5	0,1

Commentaires : La limite réglementaire en hydrocarbures est respectée.

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

L'année 2022 n'a pas été concernée par des actions de maintenance (hors maintenance programmée) et aucune intervention ou opération de maintenance anticipée n'ont été nécessaires.

4. Opérations exceptionnelles de rejets d'effluents liquides

Le CNPE de Saint-Laurent n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de rejet d'effluents liquides chimiques en 2022.

III. Rejets thermiques

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

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

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

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

L'échauffement de l'eau (écart de température entre la sortie et l'entrée : $\Delta T^{\circ}\text{C}$) est lié à la puissance thermique (P_{th}) à évacuer au condenseur et du débit d'eau brute au condenseur (Q).

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

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

1. En conditions climatiques normales

Les rejets thermiques issus du circuit de refroidissement du CNPE de Saint-Laurent et des différents circuits secondaires nécessaires à son fonctionnement doivent respecter les limites fixées dans la décision ASN n°2015-DC-0498.

Le CNPE de Saint-Laurent réalise en continu des mesures de températures en amont, au rejet et en aval du CNPE et un suivi des rejets thermiques conformément aux autorisations de rejet en vigueur. Le bilan des valeurs mensuelles de ces différents paramètres pour l'année 2022 sont présentés dans les tableaux suivants :

	Température amont (°C)			Echauffement amont-aval calculé (°C)			Température aval après mélange (°C)		
	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy
Janvier	9,6	3,8	5,7	0,15	0,01	0,06	9,6	4,4	6,1
Février	10,2	5,5	7,9	0,16	0,05	0,09	10	5,9	8
Mars	14,9	7	10,6	0,18	0	0,11	14,2	7,6	10,5
Avril	17,9	7,4	13,9	0,29	0,01	0,11	17	7,8	13,6
Mai	25,6	14,9	20,2	0,38	0,07	0,17	24,1	15,1	19,6
Juin	28,2	19	22,8	0,4	0,02	0,2	27,2	19	22,4
Juillet	27,3	19,7	24	0,41	0,02	0,15	26,7	19,9	23,7
Août	27,3	20,7	23,2	0,54	0	0,26	27,2	11,6	23,0
Septembre	23,7	13,8	19,1	0,55	0	0,13	23,7	14,5	19,3
Octobre	18,6	14,7	16,7	0,63	0,19	0,39	18,8	15	17
Novembre	16,6	8,1	11,2	0,67	0,18	0,36	16,8	9	11,8
Décembre	10,7	2	6,6	0,31	0,01	0,17	10,7	3	7,1

2. Comparaison aux limites

Les rejets thermiques doivent respecter les limites fixées à l'article [EDF-SLT-242] de la décision ASN n° 2015-DC-0498.

Paramètre	Unité	Limite en vigueur	Valeur maximale
Echauffement amont-aval calculé	°C	1	0,67

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 2022.

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

L'année 2022 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 Saint-Laurent peut être confronté au risque de prolifération de micro-organismes pathogènes pour l'homme, comme les amibes ou les légionelles, qui sont naturellement présents dans les cours d'eau en amont des installations et transitent par les circuits de refroidissement.

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

Afin de limiter ces proliférations, le CNPE de Saint-Laurent applique un traitement biocide à l'eau des circuits de refroidissement depuis l'année 2010. Dans l'objectif de limiter l'impact sur l'environnement de ce traitement par injection de monochloramine, le CNPE de Saint-Laurent 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. Toutefois, ce type de traitement n'a pas pu être mis en place en 2022 du fait des conditions climatiques (période d'étiage cumulée à une température de Loire supérieure ou égale à 24°C).

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 2022 en *Legionella pneumophila* mesurées en bassin et en *Naegleria fowleri* calculées en aval dans le fleuve sont détaillées dans le tableau ci-dessous.

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

Paramètre	Valeur maximale observée en 2022	Seuil d'action
<i>Legionella pneumophila</i>	3 200	10 000 UFC / L
<i>Naegleria fowleri</i>	19	100 <i>N.fowleri</i> / L

Pendant toute la durée du suivi microbiologique, la concentration en *Naegleria fowleri* calculée dans la Loire 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 18 heures par jour. 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 2022 :

Paramètres	Unités de production	
	N°1	N°2
Date de démarrage et d'arrêt du traitement préventif	Du 17 avril au 19 août puis du 27 septembre au 16 octobre	Du 7 juillet au 10 août
Date d'arrêt de Tranche (début et fin)	Du 20 août au 26 septembre (Arrêt Simple pour Rechargement)	Du 12 mars au 7 juillet (arrêt fortuit en prévision de la visite décennale) et du 10 août au 1 ^{er} décembre (arrêt pour économie combustible suite au décalage de la visite décennale en 2023)
Nombre de jour de traitement continu	145	35
Nombre de jour de traitement séquentiel	0	0
Date de mise en œuvre du traitement renforcé	Du 27 avril au 5 mai, puis du 12 mai au 3 juin, du 17 juin au 18 juillet et enfin du 10 août au 19 août	/
Nombre de jours de Chloration massive	0	0
CRT moyen sortie condenseur (mg/L)	0,27	0,25
Consommation réelle d'eau de Javel (m³)	475	
Consommation réelle d'ammoniaque (m³)	85	

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, plusieurs milliers d'analyses dont les résultats sont transmis à l'administration et publiés par EDF sur le site internet du CNPE. Les résultats des mesures de radioactivité réalisées dans le cadre de la surveillance réglementaire de l'environnement sont également 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.

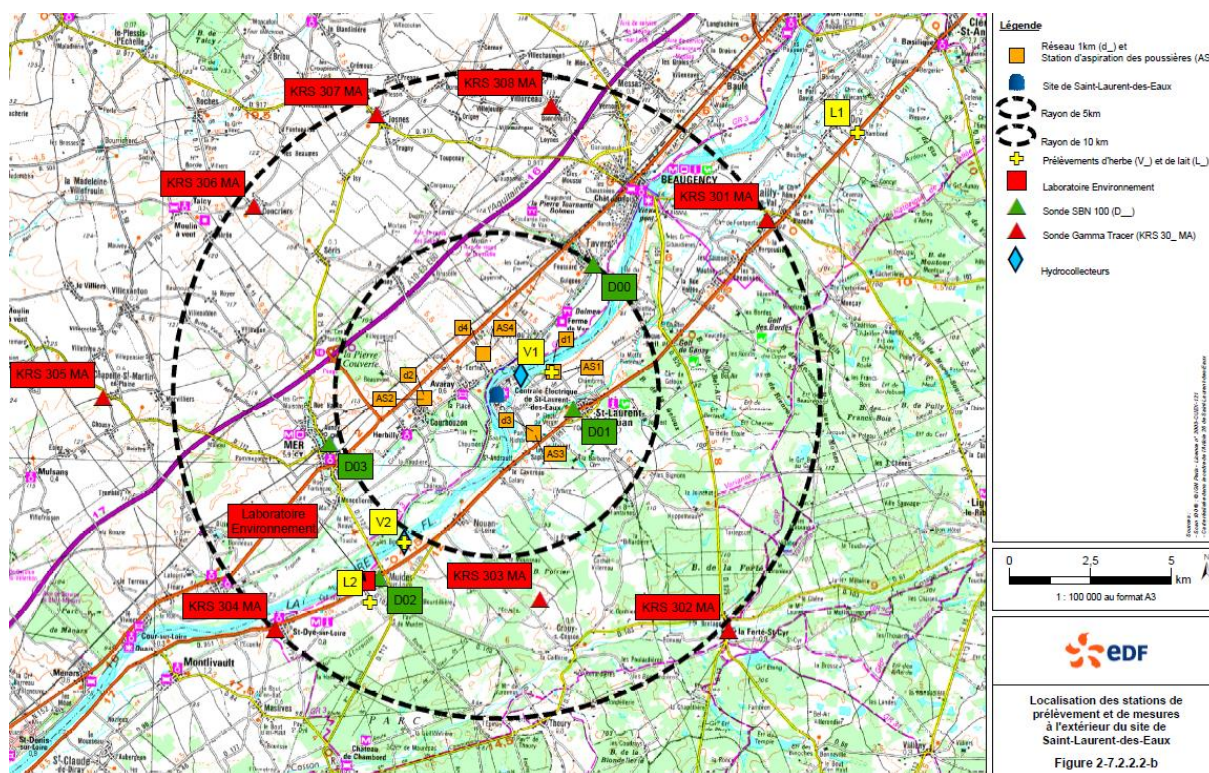
Les stations de prélèvements sont choisies en fonction de la rose des vents locale, des conditions hydrologiques, de la répartition de la population et de la disponibilité des échantillons dans l'environnement du CNPE. Les prélèvements collectés dans l'environnement terrestre sont répartis en distinguant 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.



Carte du réseau des balises radiamétriques

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 2022 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 2022 (nSv/h)	Débit de dose max année 2022 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2021 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2020 (nSv/h)
Clôture	121	305	121,1	117,4
1 km	121	276	120,3	116,9
5 km	123	216	123	124,3
10 km	115	197	114	114

Commentaires : Pour les quatre réseaux, les débits de dose moyens enregistrés pour l'année 2022 sont de l'ordre de grandeur du bruit de fond et cohérents avec les résultats des années antérieures.

2. Surveillance du compartiment atmosphérique

Quatre stations d'aspiration en continu des poussières atmosphériques (aérosols) sont implantées dans un rayon de 1 km autour du CNPE. Des analyses journalières de l'activité alpha globale 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 1^{er} au 7, du 8 au 14, du 15 au 21 et du 22 à la fin du mois).

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

Les résultats des mesures réalisées sur le compartiment atmosphérique pour l'année 2022 sont donnés dans le tableau suivant.

Compartiment	Paramètres	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée	Limite réglementaire (pour chaque analyse)
Poussières atmosphériques	Alpha globale (Bq/m ³)	3,10E-05	3,10E-05	-
	Bêta globale (Bq/m ³)	6,09E-04	2,16E-03	0,01 Bq/m ³
	Spectrométrie gamma (Bq/m ³)	⁵⁸ Co	9,65E-06	1,20E-05
		⁶⁰ Co	6,99E-06	9,30E-06
		¹³⁴ Cs	7,70E-06	8,90E-06
		¹³⁷ Cs	6,49E-06	7,60E-06
		⁴⁰ K	1,15E-04	1,60E-04
		¹³¹ I	6,60E-04	1,40E-03
	⁷ Be	7,29E-03	7,42E-03	-
Tritium atmosphérique (Bq/m ³)		1,50E-01	2,30E-01	50 Bq/m ³
Eau de pluie	Alpha globale (Bq/L)	2,32E-02	7,90E-02	-
	Bêta globale (Bq/L)	1,86E-01	3,90E-01	-
	Tritium (Bq/L)	4,69E+00	5,00E+00	-

Commentaires : Les mesures de surveillance du compartiment atmosphérique pour l'année 2022 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 2022 sont donnés dans le tableau suivant. Concernant les résultats des analyses par spectrométrie gamma, seules les activités relatives aux radionucléides d'origine artificielle et supérieures aux seuils de décision sont présentées.

Nature du prélèvement	Radionucléide		Périodicité	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée
Végétaux terrestres (Bq/kg sec)	Spectrométrie gamma	⁵⁸ Co	Mensuelle	< 4,15E-01	< 5,50E-01
		⁶⁰ Co		< 4,46E-01	< 6,60E-01
		¹³⁴ Cs		< 3,93E-01	< 5,00E-01
		¹³⁷ Cs		< 3,90E-01	< 4,80E-01
		⁴⁰ K		8,39E+02	2,09E+03
Lait (Bq/L)	Spectrométrie gamma	⁵⁸ Co	Mensuelle	< 3,30E-01	< 4,10E-01
		⁶⁰ Co		< 3,87E-01	< 4,80E-01
		¹³⁴ Cs		< 3,81E-01	< 4,50E-01
		¹³⁷ Cs		< 3,63E-01	< 4,40E-01
		⁴⁰ K		5,16E+01	5,90E+01
		^{110m} Ag		< 4,16E-01	< 4,70E-01
		⁵⁴ Mn		< 3,19E-01	< 4,00E-01

Commentaires : Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment terrestre ainsi que leur interprétation pour l'année 2021 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 2021 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	3,20E+01
Bêta global	Bq/L	5,10E-01
Potassium	mg/L	1,84E+01
Bêta global MES	Bq/L	1,06E-01

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 16 piézomètres du CNPE.

Paramètres	Unité	Valeur maximale mesurée
pH	-	7,60E+00
Conductivité	μS / cm	6,00E+02
Hydrocarbures totaux	mg / L	1,00E-01
NTK		6,50E-01
Métaux totaux		1,12E+01
Phosphates		2,40E-01
Nitrates		1,80E+01
Chlorures		1,80E+01
Sulfates		2,30E+01
Sodium		1,51E+01
AOX		4,00E-02
COV		5,00E-04

Sur Saint-Laurent A, suite à la découverte d'un marquage des sols au niveau de la zone des anciens transformateurs de SLA2 en 2014, un plan de gestion des sols a été transmis à l'ASN fin 2018. Il a été amendé en 2020 et 2021 suite à des demandes de compléments de l'ASN. Fin 2022, le dossier était toujours en cours d'instruction par l'ASN.

Les résultats du suivi de la qualité des eaux souterraines réalisé en 2022 au droit et en aval hydrogéologique de cette zone respectent la limite de qualité des eaux brutes fixée pour les hydrocarbures totaux par l'arrêté du 11/01/07 (1 mg/L en HCT C10-C40). La surveillance de la nappe alluviale au droit et en aval hydrogéologique de la zone sera maintenue jusqu'à la mise en œuvre de la solution retenue dans le plan de gestion des sols et a minima pendant une période de 4 ans après les travaux de réhabilitation en aval immédiat de la zone.

Par ailleurs, également sur Saint-Laurent A, l'ancienne chaudière auxiliaire a connu des événements d'exploitation du temps de son fonctionnement ayant entraîné un marquage aux hydrocarbures du sous-sol de cette zone.

Une gestion des sols et des eaux souterraines de la zone a été réalisée entre 2009 et 2011 afin de retirer la partie du marquage accessible à un traitement, suivi par une phase d'observations jusqu'en 2013. La surveillance de la zone est assurée depuis 2013 à l'aide du réseau piézométrique de Saint-Laurent A. Une réapparition de phase libre à la surface des eaux souterraines a été observée fin 2018 au droit de quelques piézomètres situés au niveau de l'ancienne centrale auxiliaire. Un plan de surveillance a été mis en place pour comprendre ces réapparitions. Il a permis de confirmer que ces apparitions d'hydrocarbures au niveau de l'ancienne centrale auxiliaire sont très localisées et principalement observées en période de basses eaux (notamment de septembre à décembre).

Depuis 2020, des écrémeurs passifs jetables (boudins oléophiles) sont mis en place au niveau des piézomètres de la zone afin de récupérer les hydrocarbures apparaissant dans ces ouvrages en période de basses eaux. Ces écrémeurs sont suivis et remplacés régulièrement. Aucune réapparition de phase libre n'a été observée depuis leur mise en place et environ 5 kg d'hydrocarbures (quantité relativement faible) ont été récupérés. Il apparaît donc que l'utilisation d'écrémeurs passifs est la solution adaptée au regard des observations réalisées. Le dispositif et son suivi seront maintenus sur l'année 2023.

La surveillance piézométrique réalisée en aval hydrogéologique de la zone a démontré le caractère localisé de ce marquage à la zone concernée par les événements d'exploitation. En effet aucun transfert de substances en direction de la Loire (concentrations en hydrocarbures totaux dissous inférieures à 1 mg/L (limite de qualité des eaux brutes de l'arrêté du 11/01/07), absence d'irisation en berge, ...) n'a été mis en évidence.

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 2022 pour les stations amont, rejet et aval.

Station amont	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Oxygène dissous (mg/L)	11,9	11,2	10,9	11,1	9,8	9	8,3	8,7	9,4	8,9	10,2	11,4
Conductivité (µS/cm)	252	268	270	263	290	287	293	333	348	346	350	304
pH	7,9	7,9	8,1	8,6	8,5	8,3	8	8	8,2	8	8,1	7,9
Température	5,7	7,9	10,6	13,9	20,2	22,8	24	23,2	19,1	16,7	11,2	6,6

Commentaires :

- Indisponibilité des données de conductivité, pH et oxygène dissous du 01/01/2022 au 05/01/2022, puis le 09/01/2022 et le 12/01/2022 suite à des défauts de pompage.
- Indisponibilité des données de conductivité, pH et oxygène dissous le 27/12/2022 suite à un défaut de pompage.

Station rejet	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Oxygène dissous (mg/L)	9,3	8,7	8,9	8,9	8	7,9	7,5	7,7	8,8	8,4	8,9	9,2
Conductivité (µS/cm)	320	372	351	337	378	350	425	394	346	404	426	372
pH	8,4	8,5	8,5	8,6	8,6	8,5	8,5	8,3	8,2	8,4	8,4	8,3
Température	18,7	21,7	21,4	21,8	26,3	27,8	29,4	27,7	21,2	25,5	22,2	20,2

Station aval	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Oxygène dissous (mg/L)	11,7	11,3	10,9	10,6	8,7	8,7	8,8	8,4	8,9	8,1	9,8	11,1
Conductivité (µS/cm)	231	256	266	282	315	308	285	325	349	350	348	288
pH	7,9	8	8,1	8,5	8,4	8	8	8	8,2	7,8	8	7,8
Température	6,1	8	10,5	13,6	19,6	22,4	23,7	23,1	18,5	17	11,8	7,2

Commentaires :

- Anomalies sur la mesure de conductivité entre le 01/01/2022 et le 14/02/2022 liées à des encrassements du capteur. Une maintenance du système de pompage entre le 14/02 et le 16/02/2022 a permis de lever cette anomalie.
- Indisponibilité des mesures de température, pH et oxygène dissous entre le 27/04/2022 et le 28/04/2022 suite à un problème de compresseur.
- Indisponibilité de la mesure d'oxygène dissous entre le 08/06 et le 22/06/2022 suite à une anomalie de mesure.
- Indisponibilité de la mesure de température entre le 31/08 et le 05/09/2022 suite à une avarie sur le système de pompage.

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 réalise un suivi à la maille mensuelle de certains paramètres physico-chimiques soutenant la vie biologique aux stations amont et aval. Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants :

Station amont	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
DBO5 (mg/L)	8,00E-01	6,00E-01	2,00E+00	3,00E+00	2,00E+00	2,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	<5,00E-01	<5,00E-01	9,00E-01	7,00E-01
DCO (mg/L)	2,30E+01	1,10E+01	1,00E+01	1,40E+01	1,30E+01	1,10E+01	1,70E+01	<1,00E+01	<1,00E+01	1,20E+01	<1,00E+01	1,40E+01
MES (mg/L)	4,10E+01	1,20E+01	7,00E+00	7,00E+00	2,00E+00	7,00E+00	1,30E+01	<2,00E+00	2,00E+00	2,00E+00	<2,00E+00	1,60E+01
Aluminium (mg/L)	1,52E+00	2,14E-01	4,02E-01	4,80E-02	4,40E-02	2,30E-02	1,49E-01	1,60E-02	2,70E-02	1,70E-02	1,40E-02	2,19E-01
Aluminium dissous (mg/L)	4,80E-02	1,00E-02	1,30E-02	7,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	7,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	9,00E-03
Chrome (mg/L)	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03
Chrome dissous (mg/L)	3,00E-04	<2,00E-04	<2,00E-04	<2,00E-04	<2,00E-04	<2,00E-04	<2,00E-04	<2,00E-04	<2,00E-04	<2,00E-04	<2,00E-04	2,00E-04
Cuivre (mg/L)	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	6,00E-03
Cuivre dissous (mg/L)	4,50E-03	2,90E-03	2,70E-03	2,50E-03	3,00E-03	4,30E-03	4,30E-03	3,80E-03	3,90E-03	3,70E-03	3,60E-03	4,20E-03
Fer (mg/L)	1,29E+00	2,67E-01	3,74E-01	6,70E-02	4,80E-02	2,60E-02	1,70E-01	1,80E-02	3,10E-02	2,20E-02	2,00E-02	2,67E-01
Fer dissous (mg/L)	8,80E-02	3,50E-02	3,50E-02	2,10E-02	1,10E-02	6,00E-03	2,00E-02	6,00E-03	6,00E-03	9,00E-03	6,00E-03	4,50E-02

Station amont	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Manganèse (mg/L)	2,30E-02	9,00E-03	1,10E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	1,60E-02	<1,00E-02	9,00E-03	5,00E-03	<1,00E-02	2,60E-02
Manganèse dissous (mg/L)	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03
Nickel (mg/L)	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03
Nickel dissous (mg/L)	1,10E-03	7,00E-04	6,00E-04	6,00E-04	6,00E-04	7,00E-04	1,20E-03	<8,00E-04	8,00E-04	1,00E-03	<9,00E-04	1,00E-03
Titane (mg/L)	2,90E-02	7,00E-03	1,80E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02
Titane dissous (mg/L)	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03
Zinc (mg/L)	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	5,00E-03	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02
Zinc dissous (mg/L)	3,00E-03	<2,00E-03	<2,00E-03	3,00E-03	2,00E-03	4,00E-03	2,00E-03	<3,00E-03	3,00E-03	3,00E-03	<2,00E-03	2,00E-03

Station aval	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
DBO5 (mg/L)	8,00E-01	<5,00E-01	8,00E-01	3,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	5,00E-01	4,00E+00	<5,00E-01	<5,00E-01	1,00E+00	6,00E-01
DCO (mg/L)	2,30E+01	1,00E+01	<1,00E+01	1,50E+01	1,10E+01	1,10E+01	1,40E+01	<1,00E+01	<1,00E+01	1,40E+01	<1,00E+01	1,50E+01
MES (mg/L)	4,10E+01	1,30E+01	7,00E+00	1,10E+01	2,00E+00	5,00E+00	1,40E+01	2,00E+00	2,00E+00	<2,00E+00	2,00E+00	1,10E+01
Aluminium (mg/L)	1,68E+00	2,98E-01	6,70E-01	9,80E-02	5,60E-02	4,40E-02	4,47E-01	5,90E-02	2,70E-02	6,50E-02	3,30E-02	3,40E-01
Aluminium dissous (mg/L)	4,20E-02	1,30E-02	1,60E-02	8,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	8,00E-03	7,00E-03	<5,00E-03	6,00E-03	<5,00E-03	1,10E-02
Chrome (mg/L)	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03
Chrome dissous (mg/L)	4,00E-04	<2,00E-04	<2,00E-04	<2,00E-04	<2,00E-04	<2,00E-04	2,00E-04	<2,00E-04	<2,00E-04	<2,00E-04	<2,00E-04	2,00E-04
Cuivre (mg/L)	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	6,00E-03
Cuivre dissous (mg/L)	2,80E-03	2,60E-03	2,20E-03	2,20E-03	2,60E-03	3,60E-03	3,70E-03	3,20E-03	3,20E-03	3,20E-03	3,20E-03	3,90E-03
Fer (mg/L)	1,43E+00	3,56E-01	5,78E-01	1,05E-01	6,70E-02	4,20E-02	4,31E-01	5,10E-02	3,00E-02	6,70E-02	3,90E-02	3,89E-01
Fer dissous (mg/L)	1,07E-01	3,90E-02	3,70E-02	2,10E-02	1,00E-02	7,00E-03	2,60E-02	6,00E-03	8,00E-03	8,00E-03	6,00E-03	4,60E-02
Manganèse (mg/L)	2,60E-02	1,20E-02	1,70E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	3,20E-02	<1,00E-02	8,00E-03	1,80E-02	9,00E-03	3,80E-02

Station aval	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Manganèse dissous (mg/L)	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03
Nickel (mg/L)	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03
Nickel dissous (mg/L)	1,20E-03	7,00E-04	6,00E-04	7,00E-04	6,00E-04	8,00E-04	1,20E-03	9,00E-04	9,00E-04	1,00E-03	8,00E-04	1,20E-03
Titane (mg/L)	3,30E-02	1,10E-02	3,40E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	1,80E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	1,40E-02
Titane dissous (mg/L)	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03	<5,00E-03
Zinc (mg/L)	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02	<1,00E-02
Zinc dissous (mg/L)	3,00E-03	<2,00E-03	<2,00E-03	4,00E-03	4,00E-03	3,00E-03	<2,00E-03	<2,00E-03	3,00E-03	<2,00E-03	9,00E-03	3,00E-03

Commentaires : Les résultats du suivi de l'année 2022 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 les micro-organismes ;
- de l'usure normale des matériaux ;
- du lavage du linge utilisé en zone contrôlée.

Ces rejets font l'objet d'une surveillance des concentrations présentes dans le milieu récepteur. A cet effet, des mesures de substances chimiques sont effectuées trimestriellement dans le fleuve en amont et en aval du CNPE. Les tableaux suivants présentent les valeurs mesurées aux deux stations amont et aval sur l'année 2022.

Paramètres Station amont	Unité	T1	T2	T3	T4
Acides chloroacétiques	mg/L	<2,00E-02	<2,00E-02	<2,00E-02	<2,00E-02
AOX		2,20E-02	2,50E-02	3,10E-02	2,30E-02
Bore		1,60E-02	2,40E-02	3,40E-02	3,40E-02
Chloroforme		<5,00E-04	<5,00E-04	<5,00E-04	<5,00E-04
Chlore résiduel total		<5,00E-02	<5,00E-02	<5,00E-02	<5,00E-02
Détergents		<5,00E-02	<5,00E-02	<5,00E-02	<5,00E-02
Ethanolamine		<5,00E-02	<5,00E-02	<5,00E-02	<5,00E-02
Hydrazine		<5,00E-02	<5,00E-02	<5,00E-02	<5,00E-02
Hydrocarbures		<1,00E-01	<1,00E-01	<1,00E-01	<1,00E-01

Paramètres Station aval	Unité	T1	T2	T3	T4
Acides chloroacétiques	mg/L	<2,00E-02	<2,00E-02	<2,00E-02	<2,00E-02
AOX		2,10E-02	1,60E-02	8,10E-02	2,80E-02
Bore		1,70E-02	2,30E-02	3,10E-02	3,40E-02
Chloroforme		<5,00E-04	<5,00E-04	<5,00E-04	<5,00E-04
Chlore résiduel total		<5,00E-02	<5,00E-02	<5,00E-02	<5,00E-02
Détergents		<5,00E-02	<5,00E-02	<5,00E-02	<5,00E-02
Ethanolamine		<5,00E-02	<5,00E-02	<5,00E-02	<5,00E-02
Hydrazine		<5,00E-01	<5,00E-02	<5,00E-02	<5,00E-02
Hydrocarbures		<1,00E-01	<1,00E-01	<1,00E-01	<1,00E-01

IV. Physico-chimie et Hydrobiologie

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.

Pour l'année 2022, les prélèvements et les analyses physico-chimiques ont été réalisés par IANESCO. Les prélèvements et analyses hydrobiologiques ont été confiés à AQUASCOP.

La synthèse du rapport de surveillance, réalisée par IANESCO, est présentée ci-après. Le rapport complet est disponible sur demande auprès du CNPE de Saint-Laurent.

« Cette étude s'inscrit dans le cadre du suivi hydro-écologique réglementaire du Centre Nucléaire de Production d'Electricité (CNPE) de SAINT LAURENT DES EAUX, décidé par l'Autorité de Sûreté Nucléaire, afin de suivre l'évolution naturelle du milieu récepteur et de déceler une évolution anormale qui proviendrait du fonctionnement de la centrale. »

Ce suivi hydro-écologique 2022 intègre un programme d'échantillonnage mensuel à biannuel selon les paramètres pour la caractérisation physico-chimique des eaux de la Loire et saisonnier de mars à novembre pour l'expertise du phytoplancton et du zooplancton, la réalisation de 4 campagnes pour le peuplement des diatomées benthiques et des macro-invertébrés benthiques (périodes avril, juin, août et octobre) et d'une campagne pour la communauté des macrophytes aquatiques effectuée en conditions estivales (septembre).

Le suivi hydrobiologique 2022 s'est inscrit dans un contexte hydrologique très déficitaire tout au long de l'année, l'hydraulicité est souvent inférieure aux références interannuelles. Des conditions de basses eaux dès le mois de mai et se prolongent jusqu'au mois d'octobre.

- *Après une caractérisation des principaux paramètres physico-chimiques, utilisés pour évaluer la qualité des eaux de surface, une comparaison interstationnelle des résultats des indicateurs physico-chimiques déterminés à l'amont et à l'aval du CNPE de SAINT LAURENT DES EAUX est réalisée.*

Très peu de différences de la qualité physico-chimique de l'eau de la LOIRE sont constatées en 2022 en amont et en aval de la centrale. Globalement, les caractéristiques physico-chimiques sont équivalentes aux deux stations pour la période considérée de janvier à décembre 2022. Quelques différences sont parfois observées au cours des campagnes pour les 6 paramètres suivants : température, MES, DBO, nitrates, ammonium et orthophosphates. Cependant, les valeurs moyennes obtenues en amont et en aval pour ces 6 paramètres sont assez voisines. La comparaison interannuelle 2018/2019/2020/2021/2022 montre que les résultats physico-chimiques obtenus en 2022 sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus ces cinq dernières années.

L'analyse spatio-temporelle à partir des indicateurs physico-chimiques déterminés à l'amont et à l'aval du CNPE de SAINT LAURENT DES EAUX ne met pas en évidence de différences particulières.

- *Les concentrations en pigments chlorophylliens actifs (chlorophylle a) ou bien celles issues de la dégradation des molécules de chlorophylles (phéopigments) sont globalement identiques au cours de ce suivi 2022 en amont et en aval du CNPE. Les*

teneurs moyennes obtenues à partir de 9 campagnes en amont et en aval sont respectivement en chlorophylle a de 8 µg/l en amont et en aval ; en phéopigments de 6 µg/l en amont et en aval. La comparaison interannuelle 2018/2019/2020/2021/2022 ne met pas en évidence de différences particulières.

- Le phytoplancton a été expertisé selon la méthodologie de référence proposée par l'IRSTEA et intitulée « protocole standardisé d'échantillonnage et de conservation du phytoplancton en grands cours d'eau applicable aux réseaux de mesure DCE » (version 2, décembre 2010). L'échantillonnage s'est déroulé mensuellement, avec 9 campagnes successives de mars à novembre 2022.

Bien que peu productif, ce compartiment biologique apparaît néanmoins diversifié. Sa dynamique saisonnière présente un pic de biomasse algal printanier, dû au développement des diatomées (Bacillariophyta), puis une concentration cellulaire estivale avec un essor des algues vertes (Chlorophyta). Les espèces répertoriées sont communes aux grands cours d'eau, les quelques différences interstationnelles peuvent s'expliquer par des différences mésologiques (luminosité, influence de la végétation aquatique, hauteur d'eau, ...).

L'analyse du phytoplancton permet donc de conclure à l'absence d'impact du fonctionnement du CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux sur cette communauté.

- Un échantillonnage du zooplancton a été réalisé en même temps que le phytoplancton. La période entre août et octobre a été la plus favorable pour le développement du zooplancton, probablement en lien avec un réchauffement de la température de l'eau et une disponibilité en ressources nutritives importante. Les peuplements des deux stations apparaissent globalement proches lors du suivi annuel.

Les résultats du suivi du zooplancton permettent de conclure à l'absence d'influence du CNPE de Saint Laurent sur cette communauté biologique.

- Les algues diatomées sont échantillonnées à fréquence saisonnière (avril, juin, août et octobre) de part et d'autre du CNPE de St-Laurent-les-Eaux selon le protocole de la norme IBD NF T90 -354 (avril 2016). Cette expertise révèle une évolution saisonnière similaire aux 2 stations du suivi. L'état biologique exprimé par l'élément diatomées s'avère moyen au début du printemps (avril) puis s'améliore au cours des campagnes suivantes en juin, août et en octobre (état bon à très bon).

Même si certaines différences de notations indicelles sont observées entre les 2 stations, l'examen des listes floristiques permet de conclure à l'absence d'influence avérée du CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux sur les communautés de diatomées benthiques de ce secteur de la Loire.

- La végétation macrophytique présente à l'amont et à l'aval du CNPE est expertisée par la méthode IBMR (norme NF T90-395), en condition d'étiage estival (7 et 8 septembre 2022). Ce suivi des macrophytes révèle un niveau de trophie élevé dans le secteur de ce CNPE, en conformité avec la typologie de ce niveau de la Loire. L'état biologique peut être qualifié de bon à la station amont et de très bon à la station aval. Cette hétérogénéité des résultats entre les 2 stations du suivi est liée principalement aux caractéristiques mésologiques des stations.

La confrontation des résultats avec ceux des cinq dernières campagnes de suivi montre une variabilité interannuelle du peuplement végétal ligérien tant sur le plan qualitatif (richesse spécifique) que quantitatif (taux de recouvrement du lit) en lien avec l'influence du contexte hydrologique annuel (importante végétalisation au cours des années à étiage précoce ou prolongé).

L'expertise des macrophytes permet de conclure à l'absence d'influence du fonctionnement de ce CNPE sur la flore aquatique.

- *L'expertise des peuplements des macro-invertébrés benthiques met en oeuvre le protocole MGCE qui s'appuie sur les normes de prélèvements (XP T90-337) et d'analyses (NF T90-388). Les prélèvements ont été réalisés de part et d'autre du CNPE lors de 4 campagnes (avril, juin, août et octobre).*

La bio-indication fournie par cette communauté benthique exprime une très bonne qualité biologique tout au long du suivi annuel.

Aucune différence réellement significative n'est perçue entre l'amont et l'aval du CNPE, permettant de conclure à l'absence d'influence du fonctionnement de cette installation sur les macro-invertébrés de la Loire.

Sur la base de ces différentes expertises, et comme pour le suivi annuel précédent, ce suivi hydro-écologique 2022 ne permet pas de déceler une évolution anormale de l'hydrosystème ligérien et de la qualité physico-chimique de l'eau de la LOIRE qui résulterait du fonctionnement du CNPE SAINT LAURENT DES EAUX. »

V. Acoustique environnementale

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

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

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

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

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

La Mission Communication du CNPE de Saint-Laurent 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 site de Saint-Laurent dans le cadre du programme de surveillance réglementaire et du suivi radioécologique du site (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 site est principalement d'origine naturelle. Les niveaux de radioactivité artificielle mesurés dans l'environnement du site 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 SUBATECH, 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 efficace³ est calculée en tenant compte des mécanismes de transfert de l'environnement jusqu'à l'homme. Cette dose permet de « mesurer » le niveau d'exposition attribuable aux rejets d'effluents radioactifs liquides et atmosphériques d'une installation et de le positionner par rapport à la limite réglementaire pour l'exposition de la population aux rayonnements ionisants conformément à l'article R1333-11 du Code de la Santé Publique.

Le calcul de dose efficace annuelle tient compte de données spécifiques à chaque site 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 site ;
- 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 site est toujours influencé par les rejets d'effluents liquides de l'installation ;

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

- 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 sites est supposée systématique, sans exclure les zones de pêche interdite.

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

L'échelle suivante présente des ordres de grandeur de doses résultant de situations courantes :

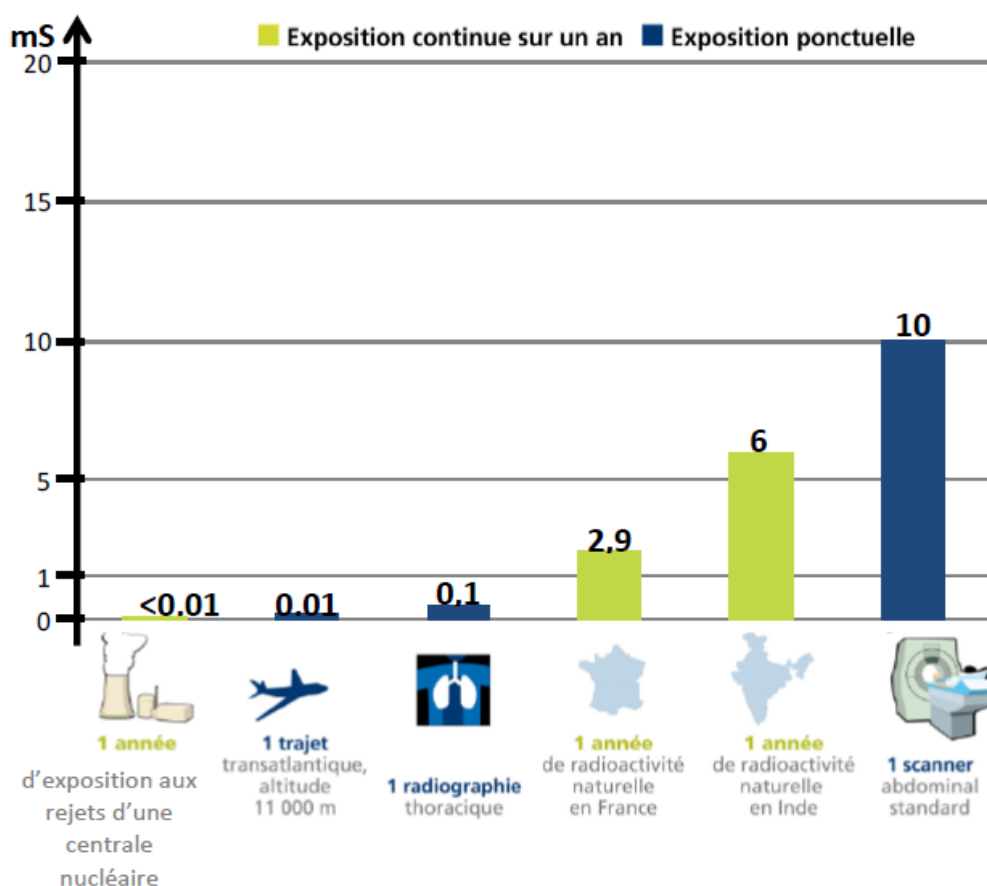


Figure 2 : Echelle des ordres de grandeur de doses résultant de situations courantes et comparaison aux seuils réglementaires (Source : EDF)

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

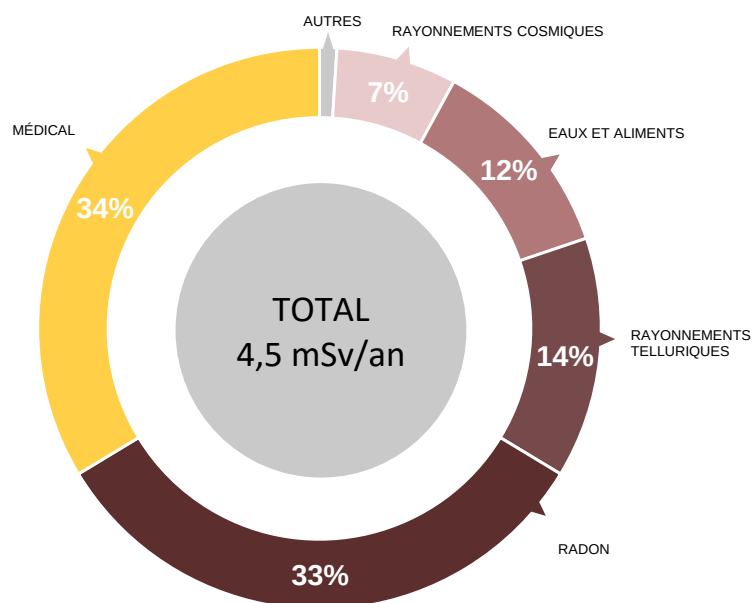


Figure 3 : Part relative des différentes sources d'expositions de la population française aux rayonnements ionisants (Source : Bilan IRSN 2021)

Les tableaux suivants fournissent les valeurs de dose efficace totale calculées à partir des rejets radioactifs réels de l'année 2022 effectués par le site de Saint-Laurent-des-Eaux, pour la personne représentative. Cette personne représente les individus pouvant recevoir la dose efficace annuelle maximale induite par les rejets d'effluents radioactifs autorisés du site.

ADULTE	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	5,8E-07	7,2E-06	7,7E-06
Rejets d'effluents liquides	3,9E-06	8,9E-05	9,3E-05
Total	4,5E-06	9,6E-05	1,0E-04

ENFANT DE 10 ANS	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	5,9E-07	6,8E-06	7,4E-06
Rejets d'effluents liquides	s.o.	8,4E-05	8,4E-05
Total	5,9E-07	9,1E-05	9,2E-05

ENFANT DE 1 AN	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	5,8E-07	1,1E-05	1,2E-05
Rejets liquides	s.o.	1,1E-04	1,1E-04
Total	5,8E-07	1,2E-04	1,3E-04

Les valeurs de doses calculées sont inférieures à 1.10^{-3} mSv/an pour l'adulte et pour l'enfant de 1 an et à 1.10^{-4} mSv/an pour l'enfant de 10 ans.

Les valeurs de doses calculées pour l'adulte, l'enfant de 10 ans et l'enfant de 1 an, attribuables aux rejets d'effluents radioactifs de l'année 2022 sont plus de 1 000 fois inférieures à la limite d'exposition fixée à 1 mSv par an pour la population, par l'article R1333-11 du Code de la Santé Publique. L'ensemble des populations résidant de manière permanente ou temporaire autour du site est exposé à une dose efficace inférieure ou égale à la dose calculée pour la personne représentative, présentée ci-dessus.

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

Partie VIII - Gestion des déchets

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

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

La démarche industrielle repose sur 4 principes :

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

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

I. Les déchets radioactifs

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

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

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

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

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

1. Les catégories de déchets radioactifs

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

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

Ces déchets proviennent essentiellement :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2. Le transport des déchets

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

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

DE LA CENTRALE AUX CENTRES DE TRAITEMENT ET DE STOCKAGE

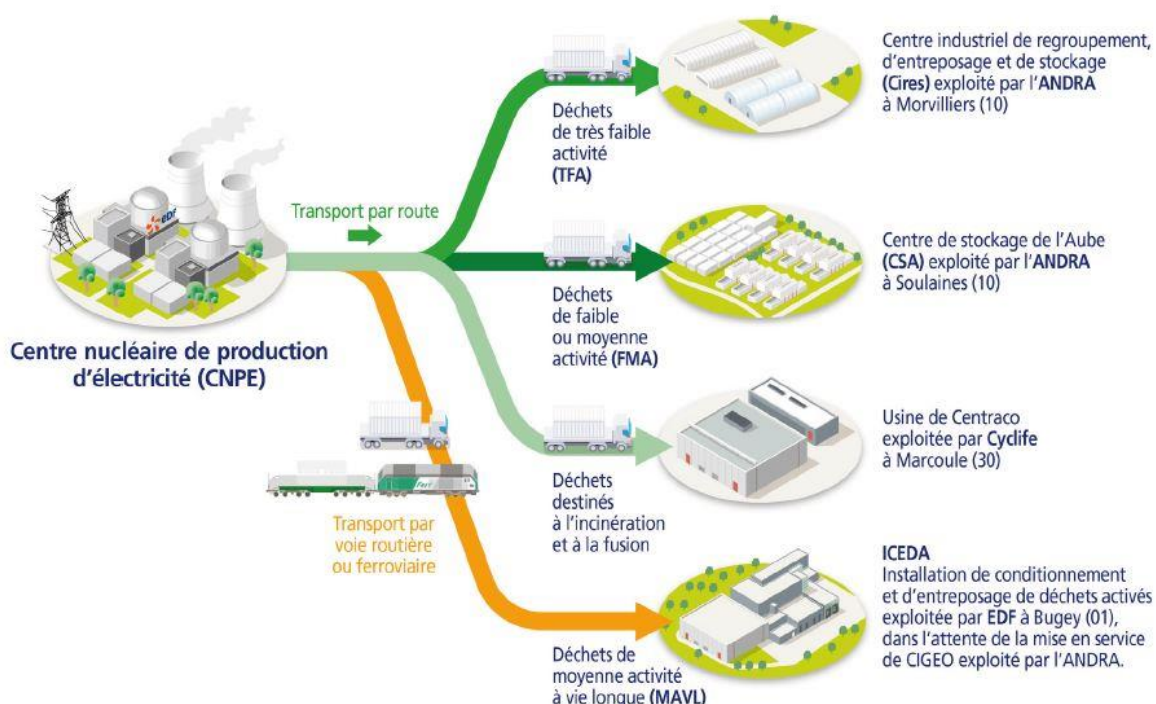


Figure 4 : Transport des déchets radioactifs (Source : EDF)

3. Les quantités de déchets entreposées au 31/12/2022

Le tableau suivant présente les quantités de déchets en attente de conditionnement au 31 décembre 2022 pour les 2 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Saint-Laurent.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2022	Commentaires
TFA	68 T	/
FMAVC (Liquides)	9 T	/
FMAVC (Solides)	85 T	/
FAVL	0 T	/
MAVL	212 objets	/

Le tableau suivant présente les quantités de déchets conditionnés en attente d'expédition au 31 décembre 2022 pour les 2 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Saint-Laurent.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2022	Type d'emballage
TFA	81 colis	Casiers, GRVS, fûts
FMAVC (Liquides)	2	Biémonts
FMAVC (Solides)	247	Coques, fûts, casiers, caissons
FAVL	0	/
MAVL	0	/

Le tableau suivant présente le nombre de colis évacués et les sites d'entreposage en 2022 pour les 2 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Saint-Laurent.

Site destinataire	Nombre de colis évacués
Cires à Morvilliers	153
CSA à Soulaines	183
Centraco à Marcoule	664

En 2022, 1000 colis ont été évacués vers les différents sites de traitement ou de stockage appropriés (Centraco et Andra).

Le tableau suivant présente les quantités de déchets en attente de conditionnement au 31 décembre 2022 pour les 2 réacteurs en déconstruction du CNPE de Saint-Laurent.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2022	Commentaires
TFA	131.6 tonnes	/
FMAVC (Liquides)	31 tonnes	/
FMAVC (Solides)	68.2 tonnes	/
FAVL	/	/
MAVL	3 objets	/

Le tableau suivant présente les quantités de déchets conditionnés en attente d'expédition au 31 décembre 2022 pour les 2 réacteurs en déconstruction du CNPE de Saint-Laurent.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2022	Type d'emballage
TFA	31	Tous types d'emballages confondus
FMAVC (incinération)	86	Fûts PEHD
FMAVC (fusion)	1	Caisses 2m ³
FAVL	/	/
MAVL	/	/

Le tableau suivant présente le nombre de colis évacués et les sites d'entreposage en 2022 pour les 2 réacteurs en déconstruction du CNPE de Saint-Laurent.

Site destinataire	Nombre de colis évacués
Cires à Morvilliers	119
CSA à Soulaines	156
Centraco à Marcoule	88

En 2022, 363 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 2022 par le CNPE.

Quantités 2022 en tonnes	Déchets dangereux		Déchets non dangereux non inertes		Déchets inertes		Total	
	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés
Exploitation	427	413	904	801	2751	2694	4082	3908
Déconstruction	135	44	964	878	1 618	1 618	2 717	2 540

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

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

La production de déchets inertes a été historiquement conséquente en 2022 du fait d'importants chantiers, en particulier les chantiers de modifications post Fukushima et l'aménagement de parkings ou bâtiments tertiaires. Les productions de déchets dangereux et de déchets non dangereux non 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 2022, les 2 unités de production du CNPE de Saint-Laurent ont produit 4082 tonnes de déchets conventionnels : 95,7 % de ces déchets ont été valorisés ou recyclés.

Concernant les unités en déconstruction, 578,72 tonnes de déchets conventionnels ont été produites en 2022. 100 % 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

VTR - Valeur Toxicologique de Référence

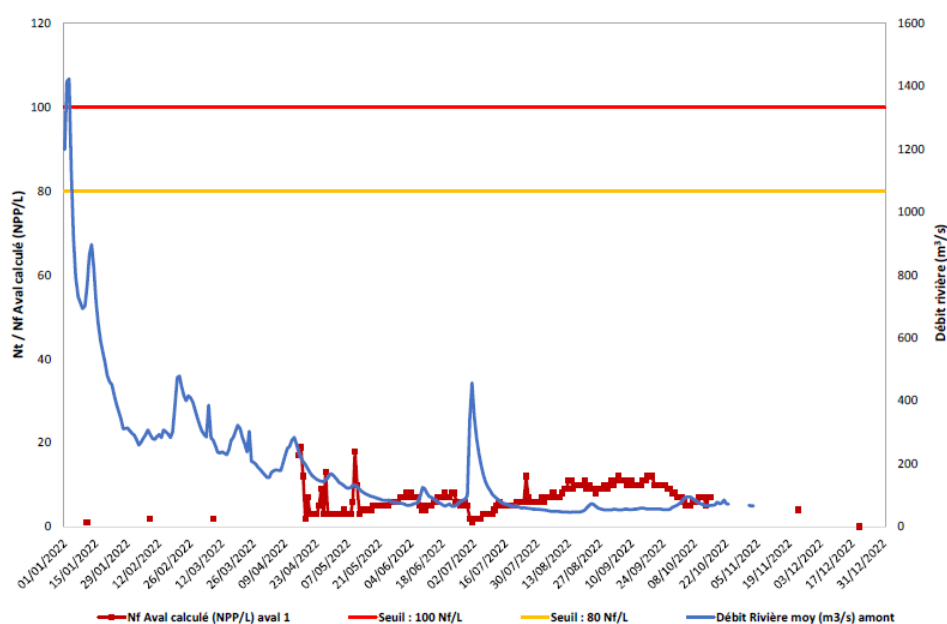
ANNEXE 1 : Suivi microbiologique du CNPE de Saint-Laurent Année 2022

RESULTATS LEGIONELLES 2022 Tranche 1 et Tranche 2

Mois	Tranche 1		Tranche 2	
	Résultats prélèvement 1 (UFC/L)	Résultats prélèvement 2 (UFC/L)	Résultats prélèvement 1 (UFC/L)	Résultats prélèvement 2 (UFC/L)
Janvier	<100	200	<100	<100
Février	100	600	200	500
Mars	100	<100	700	*
Avril	500	800	*	*
Mai	100	700	*	*
Juin	600	800	*	*
Juillet	400	400	100	<100
Août	300	200	<100	100
Septembre	*	<100	<100	<100
Octobre	<100	<100	*	<100
Novembre	3200	1400	<100	100
Décembre	100	1300	<100	300

* Arrêt de tranche en cours – Pas de prélèvement

RESULTATS AMIBES 2022 Aval calculé



ANNEXE 2 : Suivi radioécologique annuel du CNPE de Saint-Laurent Année 2021

Suivi radioécologique de l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Loire – Année 2021
Rapport SUB/RE/RC/21-L



Suivi radioécologique de l'environnement
proche des Centres Nucléaires
de Production d'Electricité

- Année 2021 -

Bassin de la Loire

Belleville-sur-Loire

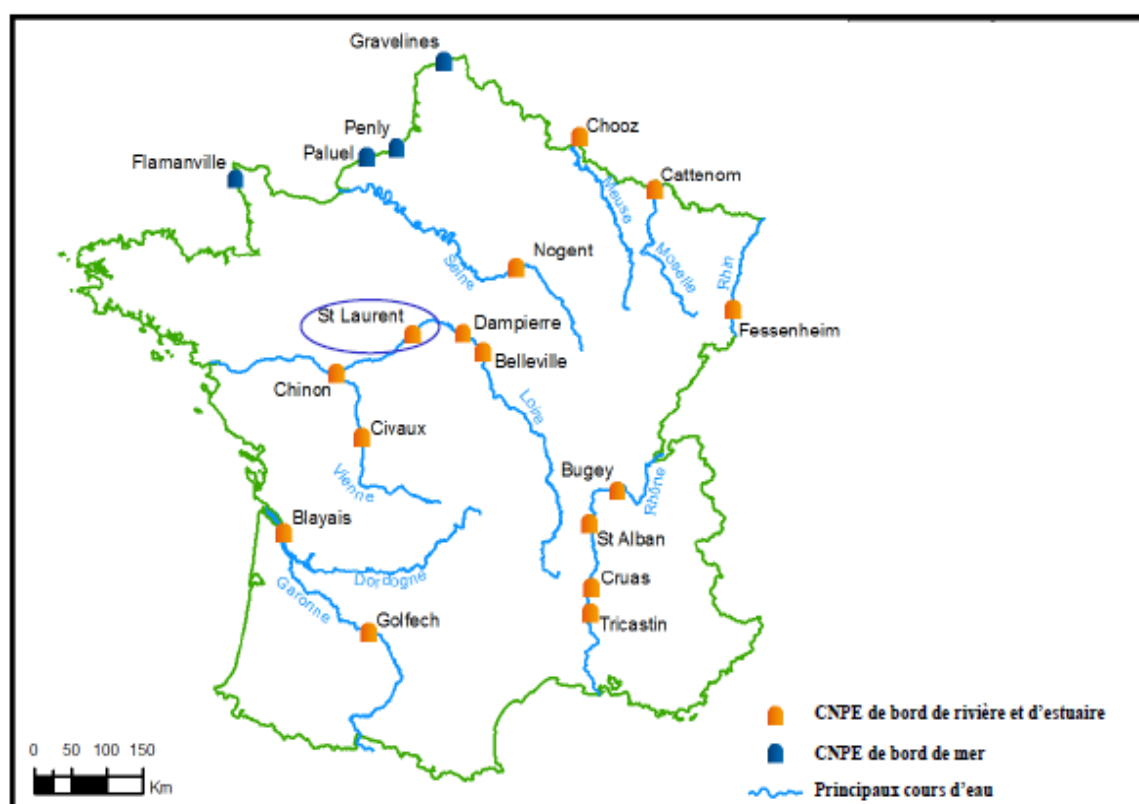
Dampierre-en-Burly

Saint-Laurent-des-Eaux

Chinon-Avoine

Civaux

C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux



Source : EDF/DIPDE.

Résumé	165
7. Etat radiologique de l'environnement du site de Saint-Laurent-des-Eaux	167
7.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques	167
7.2. Etat radiologique de l'environnement terrestre	169
7.2.1. Stratégie d'échantillonnage	169
7.2.2. Résultats et interprétation	172
7.2.2.1. Radionucléides émetteurs gamma	172
7.2.2.2. Radionucléides émetteurs bêta	174
7.2.2.3. Radionucléides émetteurs alpha	177
7.3. Etat radiologique de l'environnement aquatique	178
7.3.2. Stratégie d'échantillonnage	178
7.3.3. Résultats et interprétation	181
7.3.3.1. Radionucléides émetteurs gamma	181
7.3.3.2. Radionucléides émetteurs bêta	185
7.3.3.3. Radionucléides émetteurs alpha	187
7.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du site de Saint-Laurent-des-Eaux	188

LISTE DES FIGURES

Figure 7-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du site de Saint-Laurent-des-Eaux.....	168
Figure 7-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2021 du site de Saint-Laurent-des-Eaux.....	171
Figure 7-3. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du site de Saint-Laurent-des-Eaux lors des études menées depuis l'état de référence de 1978/1979 au suivi radioécologique de 2021.....	173
Figure 7-4. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux de 2011 à 2021. Les lignes rouges représentent la valeur et la gamme de référence du bruit de fond ambiant hors influence industrielle) [4,6].....	174
Figure 7-5. Activités en tritium organiquement lié détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux de 2011 à 2021. Les lignes rouges représentent la valeur et la gamme de référence du bruit de fond ambiant hors influence industrielle) [4,6].....	175
Figure 7-6. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux de 2011 à 2021.....	176
Figure 7-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2021 du site de Saint-Laurent-des-Eaux.....	180
Figure 7-8. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi radioécologique de 2021.....	182
Figure 7-9. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les phanérogames semi-aquatiques et immergées (toutes fractions confondues) prélevées dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi radioécologique de 2021.....	183
Figure 7-10. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi radioécologique de 2021.....	184
Figure 7-11. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2021.....	185
Figure 7-12. Activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux de 2011 à 2021.....	186
Figure 7-13. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux de 2011 à 2021.....	187

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 7-1. Identification des échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021.	170
Tableau 7-2. Identification des échantillons prélevés dans le milieu aquatique de l'environnement du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021.	179
Tableau 7-3. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les sols prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2021 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).	190
Tableau 7-4. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les mousses et les champignons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2021.	191
Tableau 7-5. Activités du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les lierres trimestriels prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux de 2015 à 2021 (^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).	192
Tableau 7-6. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les salades/choux prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2021 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).	193
Tableau 7-7. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les herbes prélevées dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2021 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).	194
Tableau 7-8. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les laits prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2021 (spectrométrie γ et ^3H : Bq.L^{-1} ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone).	195
Tableau 7-9. Activités du ^{14}C dans les échantillons trimestriels de lait prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux de 2015 à 2017 (Bq.kg^{-1} de carbone).	196
Tableau 7-10. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2021.	198
Tableau 7-11. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2021.	199
Tableau 7-12. Teneur en iode stable des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2021.	200
Tableau 7-13. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2021.	200
Tableau 7-14. Activité du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021.	200

Tableau 7-15. Activité du ^{14}C des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021.	201
Tableau 7-16. Activité du ^{90}Sr des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021.	201
Tableau 7-17. Activité du ^{55}Fe des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021.	201
Tableau 7-18. Activité des radionucléides émetteurs alpha dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021.	202
Tableau 7-19. Granulométrie et teneur en matières organiques de l'échantillon de sol prélevé dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021.	202
Tableau 7-20. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ et du ^3H libre dans les eaux prélevées dans l'environnement terrestre (eaux de boisson et d'irrigation) et aquatique (eau de rivière) du site de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2021 (Bq.L^{-1}).	204
Tableau 7-21. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ , du ^{14}C et du ^3H organiquement lié dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux de 2011 à 2021 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} frais ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).	205
Tableau 7-22. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les végétaux aquatiques prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux de 2011 à 2021 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).	206
Tableau 7-23. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2021 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} frais ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).	206
Tableau 7-24. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021.	208
Tableau 7-25. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021.	209
Tableau 7-26. Teneur en iode stable dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021.	210
Tableau 7-27. Activités du tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021.	210
Tableau 7-28. Activités du tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021.	211
Tableau 7-29. Activités du ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021.	211
Tableau 7-30. Activités du ^{63}Ni dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021.	212

Tableau 7-31. Activités du ^{55}Fe dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2021..... 212

Tableau 7-32. Activité des radionucléides émetteurs alpha dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021. 212

Tableau 7-33. Granulométrie et teneur en matières organiques des échantillons de sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2021. 213

Résumé

L'objectif du suivi radioécologique du site de Saint-Laurent-des-Eaux est de déterminer précisément dans quelle mesure l'exploitation de l'installation contribue à l'apport de radionucléides artificiels dans les principales matrices du milieu récepteur. Il s'agit, d'une part, de déterminer et de suivre l'influence spatiale et temporelle du fonctionnement normal du site en déterminant les variations de radioactivité en termes de qualité (radionucléides détectés) et de quantité (niveaux d'activité) dans l'environnement de l'installation et, d'autre part, de distinguer l'apport éventuel de radionucléides par le C.N.P.E. et les installations en démantèlement des autres sources possibles de radionucléides, qu'elles soient d'origine naturelle ou liées aux autres apports exogènes (essais aériens nucléaires, accidents de Tchernobyl et de Fukushima, rejets de centres hospitaliers...).

Le suivi radioécologique établi en 2021 montre que le niveau de radioactivité naturelle demeure similaire à celui constaté avant la mise en fonctionnement de l'installation de Saint-Laurent-des-Eaux.

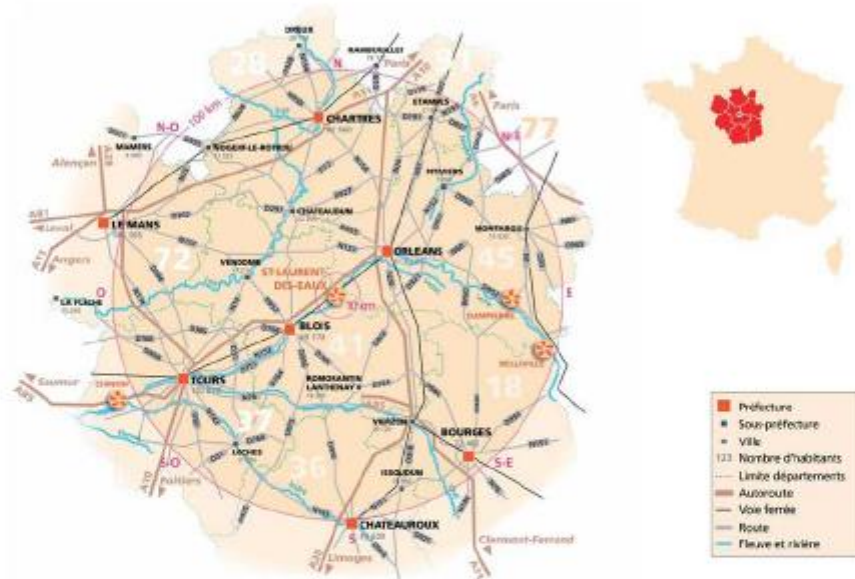
En 2021, la radioactivité artificielle détectée dans le milieu terrestre est due à la présence de traces de ^{137}Cs . Il provient principalement des retombées des anciens essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Les activités en ^3H (libre et organiquement lié) confortent les observations des années antérieures. En 2021, elles ne montrent pas de marquage lié aux rejets d'effluents tritiés du site sur le milieu terrestre. Les analyses du ^{14}C dans l'herbe, les salades et le lait montrent des activités cohérentes aux incertitudes de mesure près avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle.

Dans le milieu aquatique, le ^{137}Cs est présent dans tous les compartiments aussi bien en amont qu'en aval de l'installation à l'exception des poissons pêchés à l'amont. Les activités détectées dans ces matrices sont équivalentes entre l'amont et l'aval. En 2021, la présence de ^{137}Cs résulte donc principalement de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. On constate par ailleurs la présence de traces de ^{60}Co et de ^{110m}Ag à l'amont de l'installation. Cette observation montre l'influence sur le milieu aquatique des rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly et de Belleville-sur-Loire situés à l'amont. Ce marquage masque une éventuelle contribution de ceux du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux. En 2021, les analyses de ^3H libre et organiquement lié et de ^{14}C dans les phanérogames sont équivalentes entre l'amont et l'aval. Ces résultats mettent en évidence l'influence des rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire et de Dampierre-en-Burly situés en amont sur la Loire qui masque l'éventuelle contribution de ceux du site de Saint-Laurent-des-Eaux pour ce radionucléide. En revanche, dans les poissons, l'augmentation des activités du ^3H libre et du ^{14}C constatée à l'aval par rapport à celles mesurées à l'amont montre le marquage lié aux rejets d'effluents liquides du site de Saint-Laurent-des-Eaux. Enfin, l'activité mesurée dans l'eau de boisson de la ville de Blois proche de 20 Bq.L^{-1} , traduit une influence des rejets du site, tout en étant inférieure à la référence de qualité de 100 Bq.L^{-1} définie dans la réglementation européenne relative à l'eau potable appliquée par la France.

7. Etat radiologique de l'environnement du site de Saint-Laurent-des-Eaux

7.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques

Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité (C.N.P.E.) de Saint-Laurent-des-Eaux est implanté sur la commune de Saint-Laurent-Nouan à l'est du département de Loir-et-Cher (41), à 23 km de Blois et 30 km d'Orléans. L'installation se situe sur la rive gauche de la Loire à environ 90 et 130 km en aval des C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly et de Belleville-sur-Loire [1-2153].



Carte 1. Implantation géographique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux.



Photo 1. C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux. Crédit : www.edf.fr.

La Figure 7-1 (page 168) présente la chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du site de Saint-Laurent-des-Eaux depuis 1977.

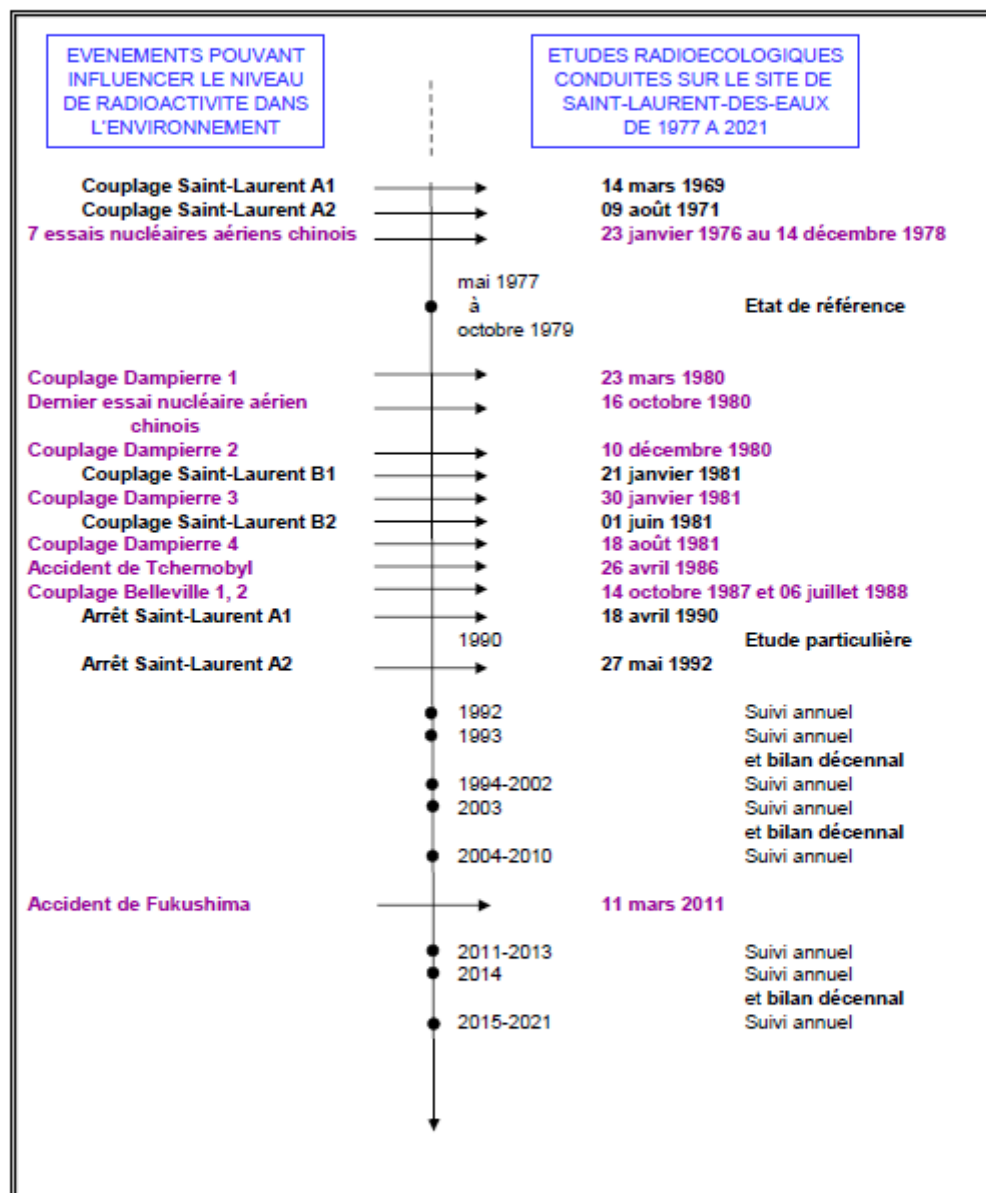


Figure 7-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du site de Saint-Laurent-des-Eaux.

7.2. Etat radiologique de l'environnement terrestre

7.2.1. Stratégie d'échantillonnage

Le Tableau 7-1 (page 170) regroupe l'identification des échantillons (station, nature, date de prélèvement...) ainsi que leurs rapports masse fraîche/masse sèche et masse sèche/masse cendres. La Figure 7-2 (page 171) présente les stations de prélèvement et la nature des échantillons prélevés en 2021.

Le choix des stations et de la nature des prélèvements a été défini dans l'objectif de comparer les résultats obtenus avec ceux des études radioécologiques antérieures. La localisation des stations de prélèvement a été définie en fonction du contexte environnemental et géographique local.

D'après la rose des vents, présentée sur la Figure 7-2 (page 171), les zones hors vents et donc non influencées par les rejets d'effluents atmosphériques du site (désignées par « ZHV » dans la suite du texte) sont situées au Nord-Ouest, au Sud-Est et au Sud Sud-Ouest de l'installation. Les zones sous les vents dominants et donc potentiellement influencées (« ZSV » dans la suite du texte) se situent le long de la Loire, au Sud-Ouest et au Nord-Est du site.

Les échantillons sont des indicateurs végétaux (mousse), des vecteurs directs ou indirects de transfert de radionucléides à la chaîne alimentaire (salade, herbe et lait) et des milieux d'accumulation (sol). Les natures d'échantillons prélevés sur les zones hors vents (ZHV) et sous les vents dominants (ZSV) par rapport aux rejets d'effluents atmosphériques sont, dans la mesure du possible, identiques.

En 2021, quatre prélèvements de feuilles de lierre ont été réalisés par le C.N.P.E. à la station AS1 du site dans le cadre des mesures trimestrielles réglementaires de carbone 14. Ils ont été transmis à SUBATECH pour traitement et analyse.

Tous les échantillons prélevés sont traités et conservés au laboratoire. En revanche, seuls les échantillons issus des zones sous les vents sont systématiquement analysés. Ainsi, les échantillons non mesurés sont conservés afin d'en disposer en cas de découverte d'activité atypique dans les échantillons issus des zones sous les vents dominants.

Station	Situation par rapport à la centrale	Coordonnées WGS84		Nature	Espèces	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Rapport finalisé	Rapport en cours
		Latitude	Longitude							
La Ferté-Saint-Cyr	8,1 km SE	47,00000	1,06444	Mousse terrestre	Mousse El. <i>Amygdalum affinale</i>	Entier	11/01/21	Spectrométrie	5,00	12,05
Courbouzon	1,9 km SO	47,70472	1,07083	Mousse terrestre	Mousse El. <i>Amygdalum affinale</i>	Entier	10/01/21	Spectrométrie en trois bords (21) Sondeur 10 Sondeur 15 Spectrométrie	5,77	7,05
Mer	6,1 km SO	47,60361	1,01026	Production agricole	Salade (chou) Légumes autres L.	Feuilles	10/01/21	Spectrométrie Carbone 14 Titre organique	2,250	4,10
Chenay	27,0 km SO	47,48447	1,48022	Sol minéral	Sol de plaine Herminio - 5cm	Chenets inférieur à 2cm	10/01/21	Spectrométrie Carbone 14 Titre organique	1,33	1,32
Station A51	1,7 km E	47,72067	1,00020	Sol minéral	Sol de plaine Herminio - 5cm	Chenets inférieur à 2cm	11/01/21	Spectrométrie Sondeur 10 Sondeur 15 Carbone 14 Titre organique	1,27	1,26
Station A51	1,7 km E	47,72067	1,00020	Plantes, herbes, légumes	Herbes de plaine	Parties aériennes	11/01/21	Spectrométrie Titre organique	3,00	11,05
Moulin-sur-Loire	7,9 km SO	47,00111	1,02444	Lait	Lait de vache	Entier	12/01/21	Spectrométrie Carbone 14 Titre organique	7,50	21,64

Tableau 7-1. Identification des échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021.

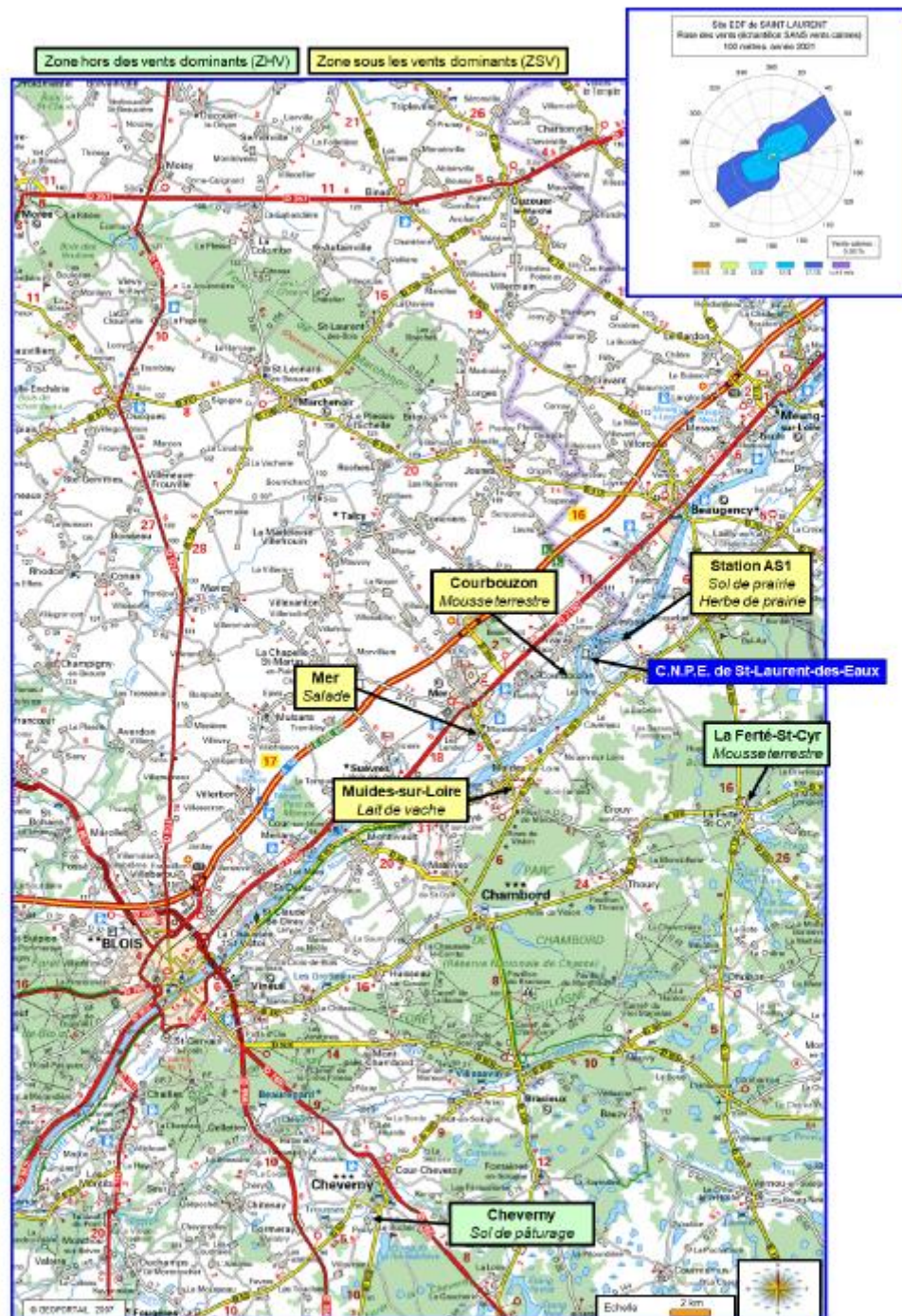


Figure 7-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2021 du site de Saint-Laurent-des-Eaux.

7.2.2. Résultats et interprétation

7.2.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

7.2.2.2.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

En 2021, les mesures réalisées en spectrométrie gamma montrent que la radioactivité d'origine naturelle des différents compartiments du milieu terrestre est comparable à celle observée lors des études radioécologiques menées depuis l'état de référence de 1978-1979 (Tableau 7-10, page 198). La radioactivité d'origine tellurique est essentiellement due au ^{40}K dans l'ensemble des matrices, et à un degré moindre aux chaînes naturelles du ^{232}Th (^{228}Ac) et de ^{238}U ($^{234\text{m}}\text{Pa}$ et ^{210}Pb). Les activités mesurées sont cohérentes avec le bruit de fond naturel observé en France [4].

Dans le lait, le ^{40}K est le seul radionucléide naturel détecté et son activité est conforme aux valeurs mesurées antérieurement (proche de 50 Bq.L^{-1}).

Le ^7Be est détecté dans la mousse terrestre, les salades et l'herbe de prairie. Naturellement produit en haute atmosphère, le ^7Be retombe de manière plus ou moins homogène sur les sols et les végétaux. En particulier, la forte capacité des mousses terrestres à capter les dépôts atmosphériques de ce type de radionucléides montre l'intérêt d'analyser des bryophytes.

7.2.2.2.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Dans les échantillons terrestres analysés en 2021, la radioactivité d'origine artificielle est due uniquement à la présence de ^{137}Cs dans deux des cinq échantillons prélevés (Tableau 7-11, page 199). Les niveaux d'activité sont cohérents avec les observations des années antérieures. La présence de traces de ^{137}Cs est liée à la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. En 2021, les mesures des radionucléides artificiels émetteurs gamma réalisées dans le milieu terrestre ne montrent pas d'influence des rejets atmosphériques du site de Saint-Laurent-des-Eaux.

Les études menées lors de l'état de référence (1978-1979) mettaient en évidence la présence de ^{137}Cs dans l'ensemble des compartiments échantillonnés (Figure 7-3, page 173). Elle était liée aux retombées des essais aériens nucléaires. De 1992 à 1996, la présence de ^{134}Cs était liée aux retombées de l'accident de Tchernobyl. Depuis 1997, les études radioécologiques mettent en évidence la présence de ^{137}Cs dans toutes les matrices du milieu terrestre et à des niveaux d'activité comparables quelle que soit la zone de prélèvement (hors et sous les vents dominants). En 2011, la détection de ^{134}Cs et d' ^{131}I était cohérente avec sa mise en évidence dans les retombées de l'accident de Fukushima en France métropolitaine [5]. Depuis 2012, ces deux radionucléides ne sont plus détectés.

Aucun autre radionucléide artificiel mesurable en spectrométrie gamma n'a été détecté en 2021, ce qui est cohérent avec les observations menées depuis 1992.

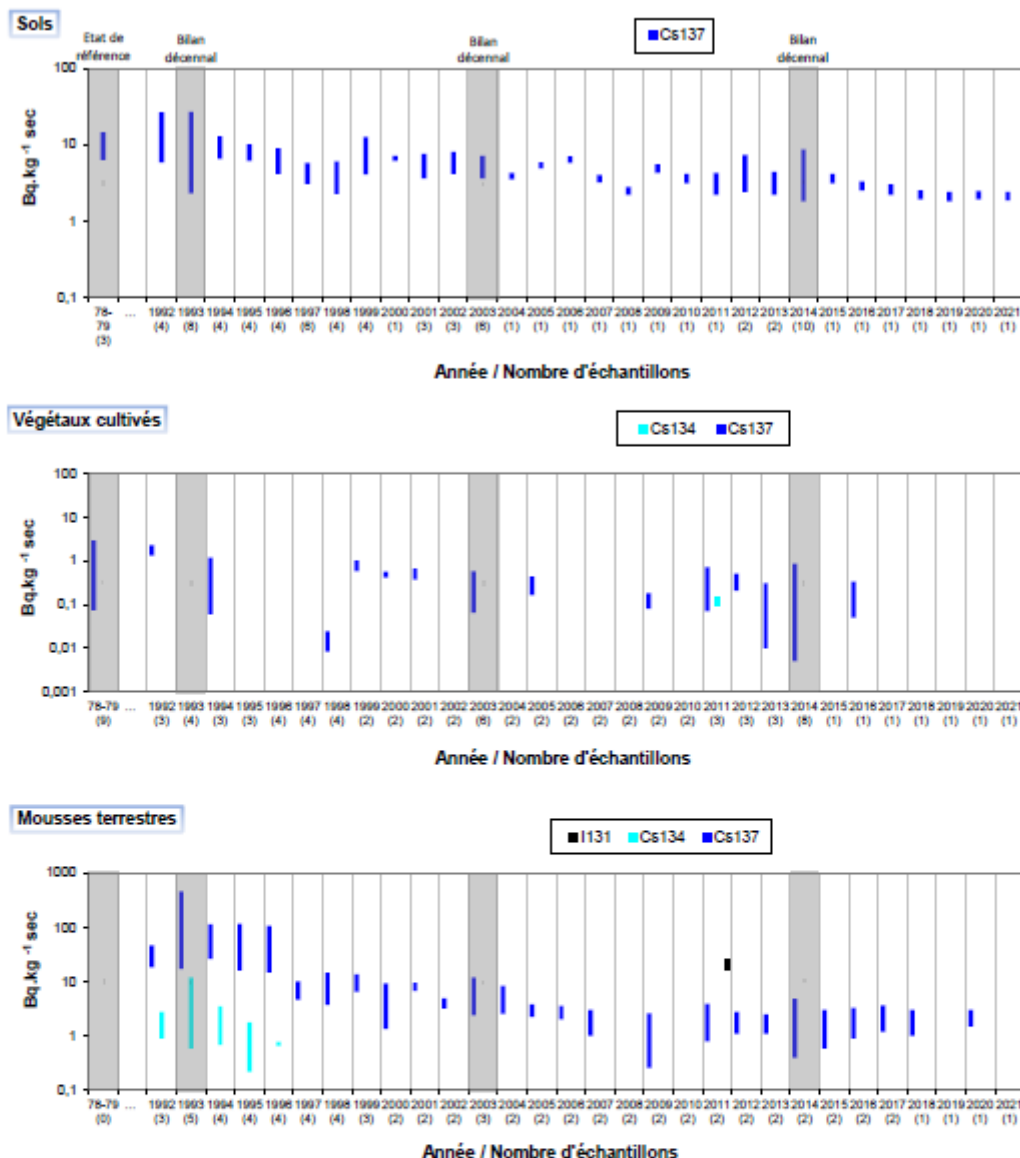


Figure 7-3. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du site de Saint-Laurent-des-Eaux lors des études menées depuis l'état de référence de 1978/1979 au suivi radioécologique de 2021.

(*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

7.2.2.3. Radionucléides émetteurs bêta

7.2.2.3.1. Tritium

En 2021, les activités en ^3H libre et organiquement lié mesurées dans les salades, l'herbe de prairie et le lait sont inférieures aux seuils de décision ou proches aux incertitudes de mesure près de 2 Bq.L^{-1} (Tableau 7-13 et Tableau 7-14, page 200). Elles demeurent aux incertitudes de mesure près dans la variabilité environnementale ($< 2 \text{ Bq.L}^{-1}$) [4,6]. En 2021, elles ne montrent pas d'influence des rejets atmosphériques du site de Saint-Laurent-des-Eaux sur le milieu terrestre pour ces radionucléides.

Ces résultats sont cohérents avec les mesures de ^3H libre et organiquement lié réalisées lors des études antérieures (Figure 7-4, page 174 et Figure 7-5, page 175)

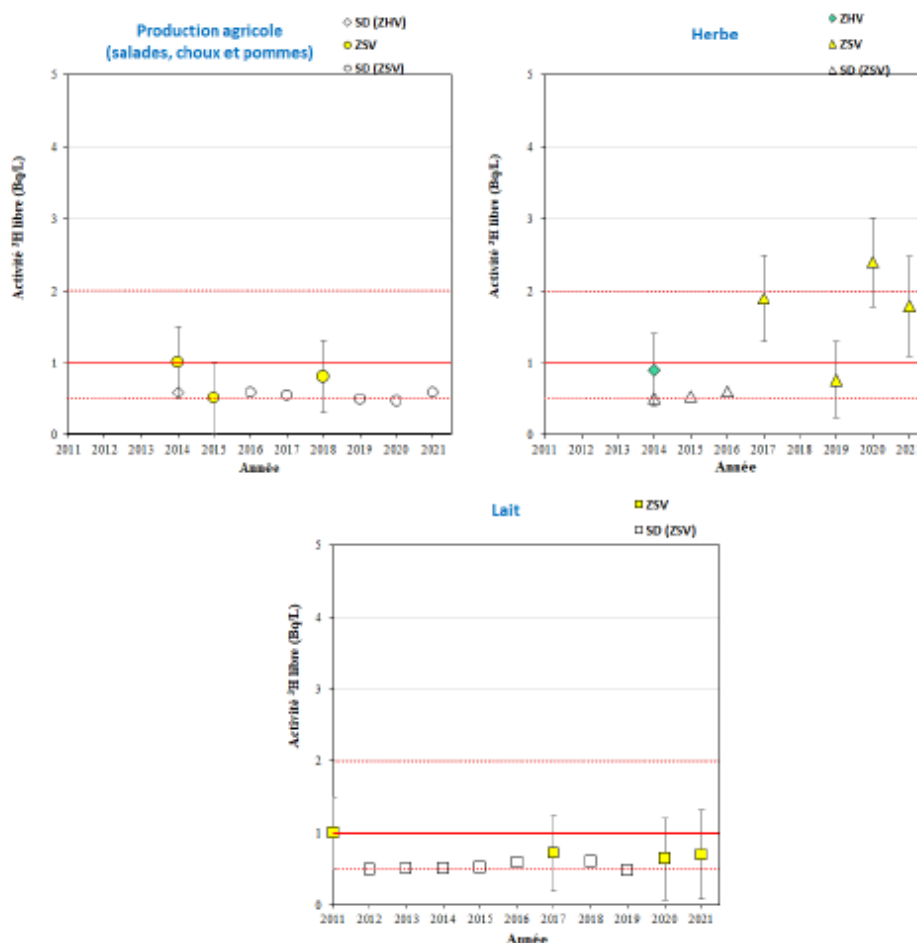


Figure 7-4. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux de 2011 à 2021. Les lignes rouges représentent la valeur et la gamme de référence du bruit de fond (hors influence industrielle) [4,6].

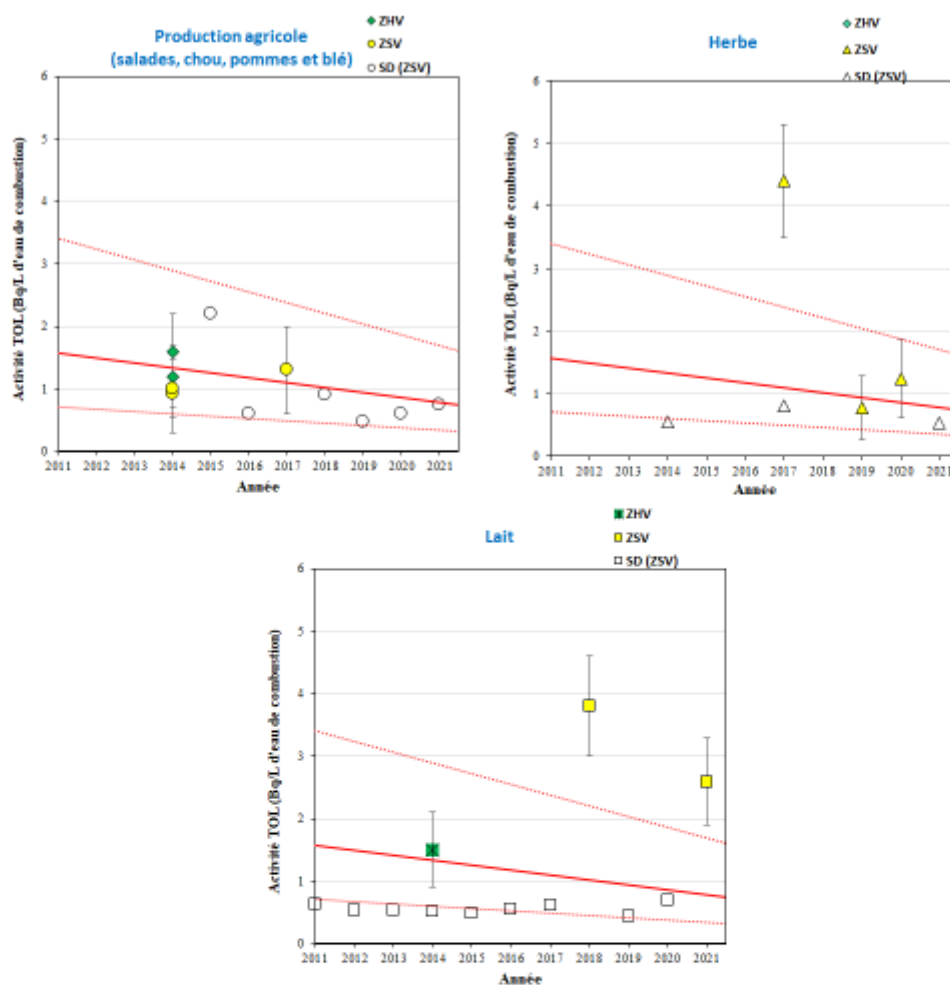


Figure 7-5. Activités en tritium organiquement lié détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux de 2011 à 2021. Les lignes rouges représentent la valeur et la gamme de référence du bruit de fond ambiant hors influence industrielle) [4,6].

7.2.2.3.2. Carbone 14

En 2021, les résultats d'analyse du ^{14}C dans les salades à Mer et dans le lait prélevé à Muides-sur-Loire montrent une activité cohérente aux incertitudes de mesure près avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle ($223 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de carbone en 2021 (Tableau 7-15, page 201) [4]. Aucune influence des rejets atmosphériques de ^{14}C n'est mise en évidence en 2021.

Les résultats des années antérieures montraient des activités cohérentes avec le bruit de fond ambiant, à l'exception du prélèvement d'herbe réalisé lors du suivi radiologique de 2012 qui témoignait d'un marquage en ^{14}C lié aux rejets d'effluents atmosphériques de l'installation. (Figure 7-6, page 176).

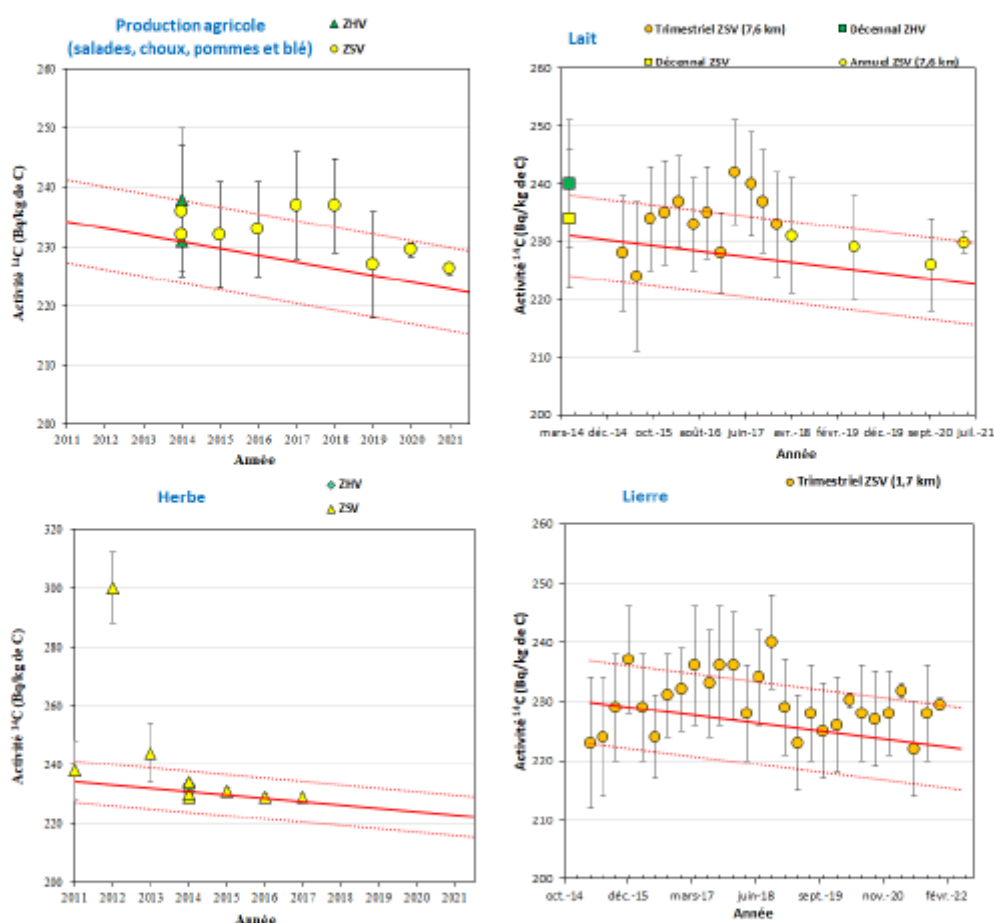


Figure 7-6. Activités spécifiques en ^{14}C mesurées dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux de 2011 à 2021.

La courbe en pointillés représente l'évolution du bruit de fond hors influence industrielle ($223 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de carbone en 2021 [4]). Les valeurs ont été mesurées par le Centre de Datation par le RadioCarbone (CDRC) et l'IPNL.

7.2.2.3.3. Strontium 90

En 2021, les résultats d'analyse du ^{90}Sr dans la mousse terrestre ($1,41 \pm 0,33 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) et le sol de prairie ($1,28 \pm 0,35 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) prélevés sous les vents dominants montrent des activités cohérentes avec les niveaux observés habituellement en lien avec les retombées atmosphériques des essais aériens nucléaires (Tableau 7-16, page 201) [8]. Ils sont cohérents avec ceux obtenus depuis 2018 dans le cadre du suivi radioécologique annuel.

7.2.2.3.4. Fer 55

Les résultats de ^{55}Fe sont inférieurs aux seuils de décision (mousse terrestre : $< 1,2 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; sol non cultivé : $< 12 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) (Tableau 7-17, page 201).

7.2.2.4. Radionucléides émetteurs alpha

Le ^{238}Pu , le $^{239+240}\text{Pu}$ et l' ^{241}Am sont systématiquement détectés dans les mousses terrestres et les sols non cultivés (Tableau 7-18, page 202). Les rapports d'activités $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ permettent de préciser l'origine de ces radionucléides avec des rapports isotopiques respectifs de l'ordre de 0,03-0,08 et d'environ 0,4-0,5 pour les retombées des essais aériens nucléaires et supérieur à 1 pour les rejets d'effluents industriels (retraitement du combustible) [9]. Les rapports $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ déterminés en 2021 dans les prélèvements de sols non cultivés et de mousses sont caractéristiques aux incertitudes de mesure près de l'unique influence des essais aériens nucléaires. Ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus lors des bilans décennaux de 1993, 2003 et 2014.

7.3. Etat radiologique de l'environnement aquatique

7.3.1. Stratégie d'échantillonnage

La Figure 7-1 (page 168) regroupe l'identification des échantillons (station, nature, date de prélèvement...) ainsi que leurs rapports masse fraîche/masse sèche et masse sèche/masse cendres. La Figure 7-7 (page 180) présente les stations de prélèvement et la nature des échantillons prélevés en 2021.

Les stations de prélèvement et la nature des matrices prélevées sont déterminées dans le but de comparer les résultats avec les études antérieures. Les prélèvements ont lieu en amont, en aval proche de l'ouvrage de rejet et en aval lointain. Afin de garantir leur comparaison, les échantillons prélevés en amont et en aval sont, si possible, de même nature. Dans la continuité des études antérieures, les prélèvements à l'aval ont lieu sur la rive gauche de la Loire.

Trois prélèvements d'eaux sont réalisés sous influence potentielle des rejets d'effluents liquides du site. Dans la continuité des années antérieures, les eaux de boisson proviennent de la mairie de Muides-sur-Loire et de la mairie de Blois. A Muides-sur-Loire, les forages sont réalisés dans la nappe des calcaires de Beauce à 45 et 67 mètres de profondeur. Cette nappe communique avec la nappe alluviale et elle est donc potentiellement soumise à l'influence des rejets d'effluents du C.N.P.E. Dans la continuité des études antérieures, un second prélèvement est réalisé à la mairie de Blois pour laquelle l'eau distribuée est produite à partir d'eau prélevée en Loire ainsi que, potentiellement, dans la nappe alluviale sur la commune de Vineuil. Ce prélèvement a débuté en 2005 à l'occasion d'une étude hydrogéologique sur la vulnérabilité des captages d'alimentation en eau potable. En 2021, le plan d'échantillonnage intègre également une eau d'irrigation prélevée à l'aval du site. Le prélèvement a été réalisé sur la commune de Courbouzon.

Les autres échantillons sont des bioindicateurs (phanérogame, poisson) et des milieux d'accumulation (sédiment).

Tous les échantillons prélevés sont traités et conservés au laboratoire.

Station	Situation par rapport à la centrale	Coordonnées WGS84		Nature	Espace	Fraction	Prélèvement	Type de mesure	Rapport final (act)	Rapport sans corrections
		Latitude	Longitude							
Tosse Rive droite	4,2 km aval	47° 43'33"	1° 01'44"	Sédiment	Sédiment	Charbon actif < 2mm	21/06/21	Spectrométrie Gamma, TMO	204	-
Pré de la Jolie Rive gauche	6,5 km aval	47° 47'30"	1° 02'07"	Sédiment	Sédiment	Charbon actif < 2mm	21/06/21	Spectrométrie Gamma, TMO	203	-
Maison Rive gauche	17,3 km aval	47° 46'33"	1° 00'00"	Sédiment	Sédiment	Charbon actif < 2mm	22/06/21	Spectrométrie Gamma, TMO	215	-
Beaugency Rive droite	6,7 km aval	47° 49'44"	1° 01'11"	Phytobenthos Intrigue	Auake rive gauche Lacage à jayssais	Parties solides	21/06/21	Spectrométrie en faisceau 131I Spectrométrie à NaI(Tl) Spectrométrie à Fe 55 Carbon 14 Titration	11,95	7,95
Pré de la Jolie Rive gauche	6,5 km aval	47° 47'30"	1° 02'07"	Phytobenthos Intrigue	Auake rive gauche Lacage à jayssais	Parties solides	21/06/21	Spectrométrie en faisceau 131I Spectrométrie à NaI(Tl) Spectrométrie à Fe 55 Carbon 14 Titration	7,45	12,36
Maison Rive gauche	17,3 km aval	47° 46'33"	1° 00'00"	Phytobenthos Intrigue	Auake rive gauche Lacage à jayssais	Parties solides	22/06/21	Spectrométrie Titration	654	13,20
Tosse Rive gauche et droite	4,2 km aval	47° 43'33"	1° 01'44"	Poisson	Cape commune Cyprien cappe	Muscle	05/10/21	Spectrométrie à NaI(Tl) Titration	413	13,02
Pré de la Jolie Rive gauche et droite	6,5 km aval	47° 47'30"	1° 02'07"	Poisson	Cape commune Cyprien cappe	Muscle	04/10/21	Spectrométrie à NaI(Tl) Carbon 14 Titration	386	14,52
Molennes-Léon	7,1 km aval	47° 49'17"	1° 02'00"	Eau	Eau de baignade	Ether	11/06/21	Titration	-	-
Elbe	23,3 km aval	47° 50'01"	1° 00'04"	Eau	Eau de baignade	Ether	10/06/21	Titration	-	-
Courbezon	2,0 km aval	47° 40'00"	1° 00'14"	Eau	Eau de baignade	Ether	21/06/21	Titration	-	-

Tableau 7-2. Identification des échantillons prélevés dans le milieu aquatique de l'environnement du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021.

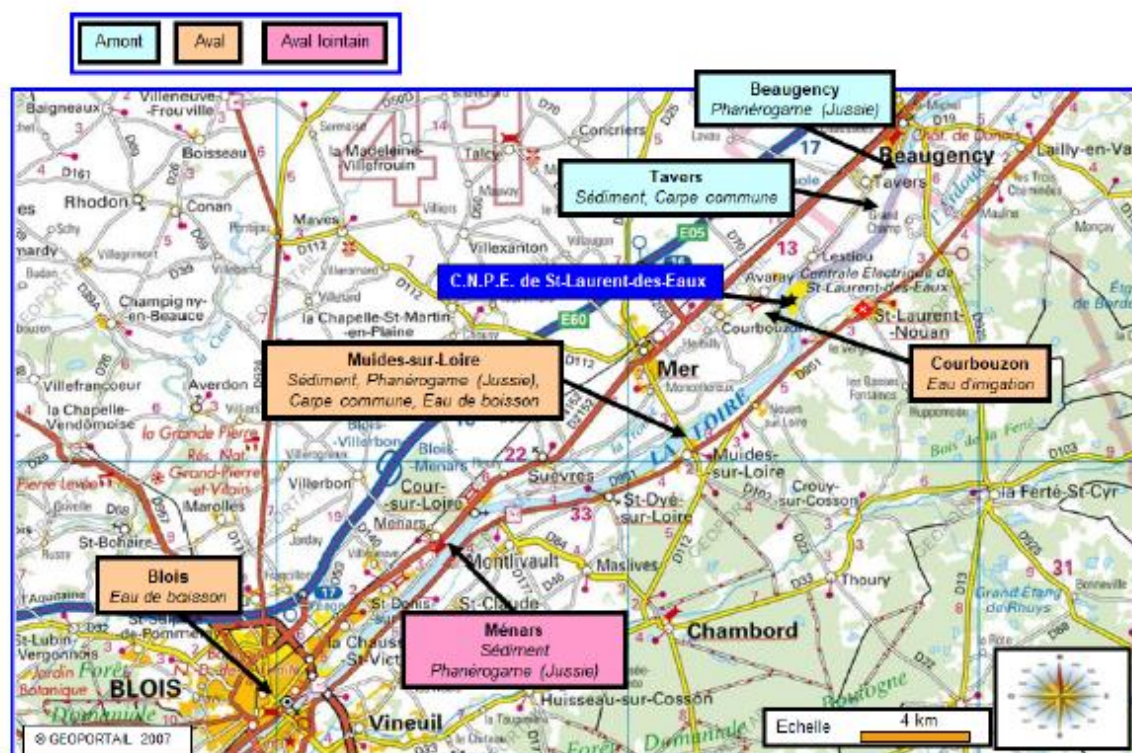


Figure 7-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2021 du site de Saint-Laurent-des-Eaux.

7.3.2. Résultats et interprétation

7.3.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

7.2.2.4.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

En 2021, le niveau de radioactivité d'origine naturelle observé dans les différents compartiments du milieu aquatique est similaire à celles observées lors des études menées les années antérieures (Tableau 7-24, page 208). Elle est cohérente avec celle mesurée lors de l'état de référence (1977-1978). Dans l'ensemble des matrices, la radioactivité naturelle d'origine tellurique est principalement due au ^{40}K et à un degré moindre aux chaînes naturelles du ^{232}Th et de ^{238}U . Les activités mesurées sont cohérentes avec le bruit de fond naturel observé en France [4].

Dans les poissons, le ^{40}K est le seul radionucléide naturel détecté. Les activités sont conformes aux valeurs attendues (environ 100 Bq.kg⁻¹ frais), la teneur en potassium étant physiologiquement régulée.

D'origine cosmique, le ^7Be est systématiquement détecté dans les sédiments et les végétaux.

7.2.2.4.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

La radioactivité artificielle se caractérise en 2021 par la détection de traces de ^{137}Cs , de ^{60}Co et d' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux (Tableau 7-25, page 209).

En 2021, le ^{137}Cs est présent dans l'ensemble des échantillons du milieu aquatique (sédiments, végétaux et poissons) à l'exception des poissons pêchés à l'amont. Les niveaux d'activités mesurés dans les sédiments et les phanérogames ne montrent aucun lien avec les rejets d'effluents liquides du site. Par ailleurs, l'activité mesurée dans les poissons pêchés à l'aval est proche du seuil de décision déterminé à l'amont. La présence de ^{137}Cs résulte en 2021 de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. En 2021, la radioactivité artificielle est également caractérisée par la détection de traces de ^{60}Co dans les sédiments amont et aval lointain, avec une activité plus forte à l'amont du site ($2,20 \pm 0,46$ Bq.kg⁻¹ sec) qu'à l'aval ($0,79 \pm 0,24$ Bq.kg⁻¹ sec), ainsi que les phanérogames immergées (jussies) prélevées à l'amont ($0,114 \pm 0,089$ Bq.kg⁻¹ sec). L' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ est également détecté dans le sédiment prélevé à l'amont du site ($1,10 \pm 0,17$ Bq.kg⁻¹ sec). La détection de traces de ^{60}Co dans les sédiments à l'amont de l'installation ne permet pas de distinguer avec certitude l'éventuelle contribution des rejets d'effluents liquides du site de Saint-Laurent-des-Eaux pour ce radionucléide. Ces résultats montrent l'influence des rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly et/ou de Belleville-sur-Loire situés en amont sur la Loire. En 2021, aucune contribution de ceux du site de Saint-Laurent-des-Eaux n'est mise en évidence.

Lors de l'état de référence, plusieurs radionucléides d'origine artificielle ont été détectés dans le milieu aquatique, ^{134}Cs , ^{137}Cs , $^{144}\text{Ce-Pr}$, ^{95}Nb , ^{95}Zr , ^{65}Zn , ^{125}Sb , $^{106}\text{Ru-Rh}$, liés aux retombées des essais aériens nucléaires et, ^{60}Co et ^{54}Mn , dus à l'influence des rejets d'effluents du site de Saint-Laurent-des-Eaux A (Figure 7-8, page 182, Figure 7-9, page 183, et Figure 7-10, page 184). Depuis 1992, l'influence des rejets d'effluents liquides du site a été mise en évidence par l'augmentation de l'activité du ^{137}Cs à l'aval et par la détection régulière de ^{60}Co et de façon plus sporadique de ^{134}Cs , de ^{58}Co et d' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ dans les sédiments et les végétaux aquatiques prélevés en aval de l'installation. Par ailleurs, la détection en amont des radiocésiums, en 1993 et en 1994, avec des rapports d'activités $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ inférieurs au rapport caractéristique des retombées de l'accident de Tchernobyl démontrait l'influence des rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire et de Dampierre-en-Burly situés en amont du site de Saint-Laurent-des-Eaux. Cette influence des C.N.P.E. situés en amont sur la Loire est régulièrement mise en évidence par la détection de ^{134}Cs , de ^{60}Co , d' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et/ou de ^{54}Mn . En 2011, la spectrométrie gamma mettait également en évidence la présence de ^{134}Cs dans le sédiment prélevé à Tavers à l'amont du site liée aux retombées de l'accident de Fukushima.

En 2021, les analyses d' ^{131}I dans les végétaux aquatiques immergés montrent des activités inférieures aux seuils de décision à l'amont et l'aval. Depuis 1997, les activités de ^{131}I sont mesurées ponctuellement dans les phanérogames immergées (renoncules, myriophylles, jussies) prélevées en amont et en aval du site. Cette présence ponctuelle en amont et en aval du site provient probablement d'installations de médecine nucléaire ou universitaires de l'agglomération d'Orléans.

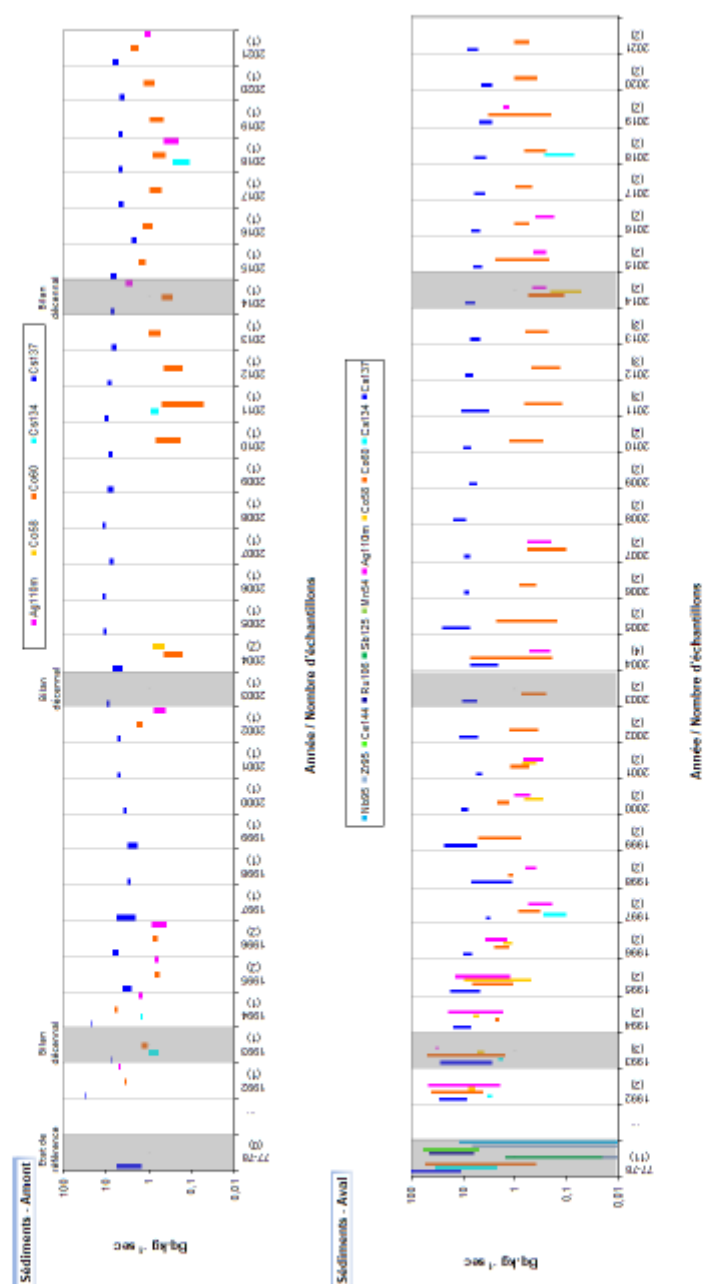


Figure 7-8. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi radioécologique de 2021.

(*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

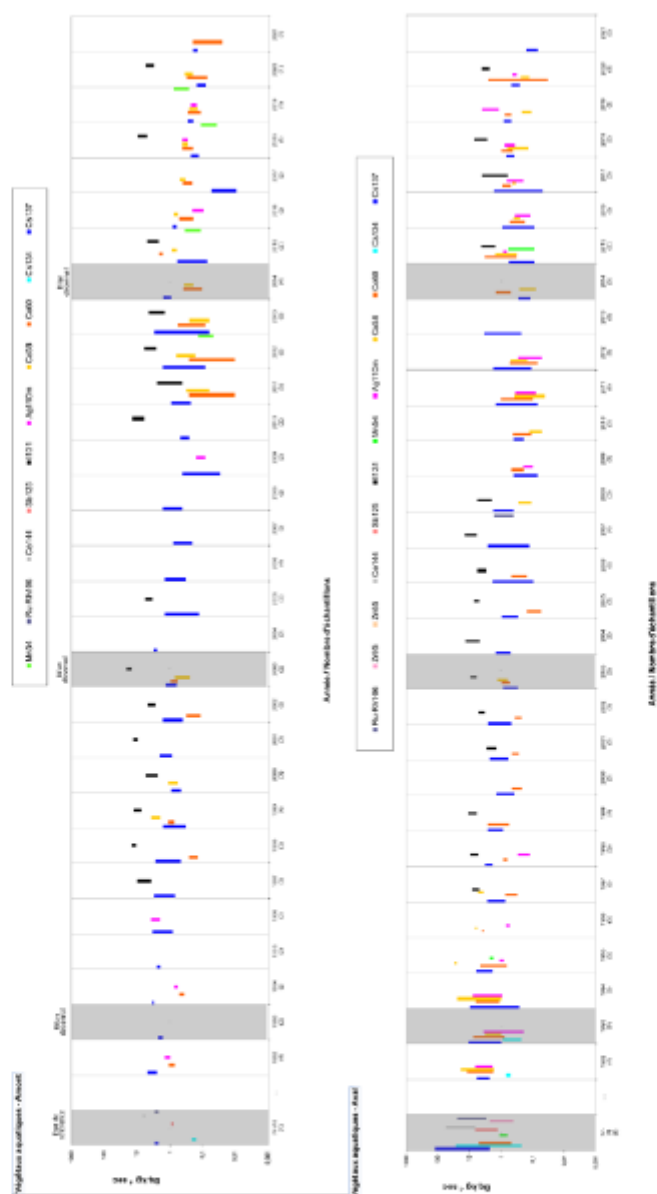


Figure 7-9. Gammas de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les phanérogames semi-aquatiques et immergées (toutes fractions confondues) prélevées dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi radioécologique de 2021.
(*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

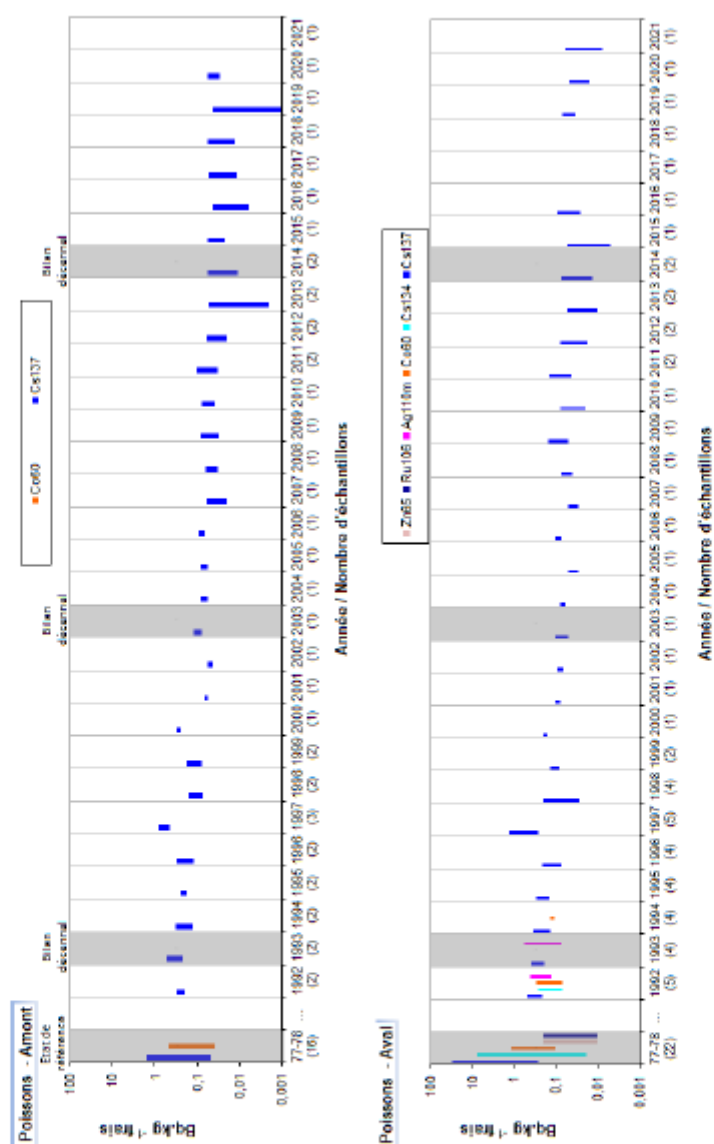


Figure 7-10. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi radioécologique de 2021.

(*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude.

7.3.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

7.2.2.4.3. Tritium

En 2021, les activités volumiques du ^3H libre mesurées dans les phanérogames immergées (jussies) et les poissons varient de $3,23 \pm 0,83$ à $6,0 \pm 1,1 \text{ Bq.L}^{-1}$ (Tableau 7-27, page 210). Les activités mesurées à l'amont sont liées à l'apport des rejets d'effluents liquides tritiés des C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire et de Dampierre-en-Burly et l'augmentation observée à l'aval dans les poissons témoigne de l'apport spécifique de ceux du site de Saint-Laurent-des-Eaux. Dans les jussies, le marquage constaté en amont masque l'éventuelle contribution des rejets du site dans cette matrice. La détection de ^3H libre dans les matrices aquatiques dépend fortement de la concomitance des rejets et des prélèvements en raison de la dilution et du transfert rapide du ^3H au sein de ces milieux récepteurs [6]. En 2021, les activités sont cohérentes avec les données obtenues dans le cadre des études radioécologiques antérieures (Figure 7-11, page 185).

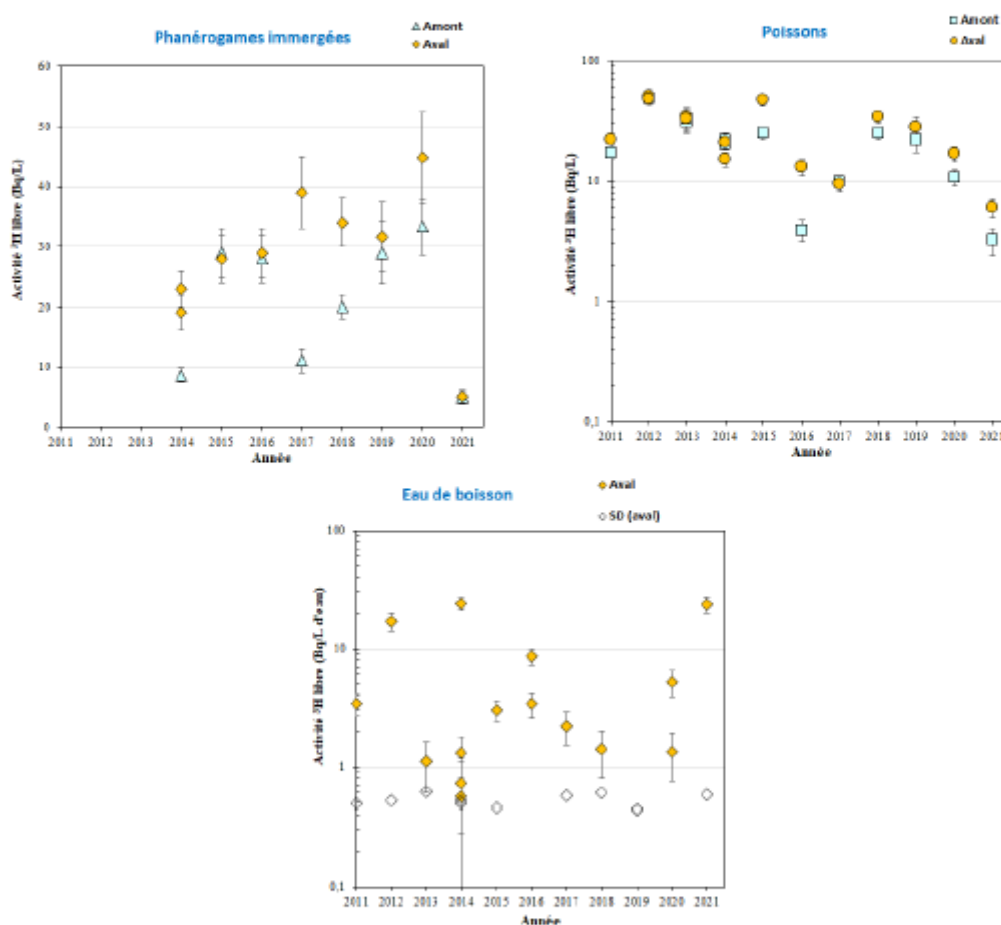


Figure 7-11. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux de 2011 à 2021.

Dans l'eau de boisson de Muides-sur-Loire et l'eau d'irrigation, les activités volumiques du ^3H libre sont inférieures aux seuils de décision. Elles sont cohérentes avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle [4]. L'activité est de $23,5 \pm 3,6 \text{ Bq.L}^{-1}$ dans l'eau de boisson de Blois. Depuis 2005, la présence de ^3H libre est régulièrement mise en évidence dans cette eau à des niveaux d'activité qui fluctuent entre le seuil de décision analytique et la vingtaine de Bq.L^{-1} en fonction de la concomitance du prélèvement avec une période de rejet ou non. Ce marquage temporaire en tritium libre est lié aux rejets d'effluents liquides tritiés du site de Saint-Laurent-des-Eaux. Pour rappel, la valeur-guide dans l'eau potable recommandée par l'OMS est de 10000 Bq.L^{-1} . La réglementation européenne relative à l'eau potable appliquée par la France fixe par ailleurs une référence de qualité de 100 Bq.L^{-1} , au-delà de laquelle des investigations complémentaires doivent être menées pour rechercher la présence de radionucléides artificiels.

En 2021, les activités du ^3H organiquement lié dans les phanérogame immergées sont équivalentes entre l'amont et l'aval (Tableau 7-28, page 211). Dans les poissons, les activités mesurées à l'amont ($12,9 \pm 2,3 \text{ Bq.L}^{-1}$) et à l'aval ($16,4 \pm 2,8 \text{ Bq.L}^{-1}$) sont similaires aux incertitudes de mesure près. Ces activités montrent le marquage du milieu aquatique par les rejets de tritium des C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly et de Belleville-sur-Loire situés en amont sur la Loire et probablement par ceux du site de Saint-Laurent-des-Eaux.

Ces résultats sont cohérents avec les données obtenues dans le cadre des études radioécologiques antérieures (Figure 7-12, page 186).

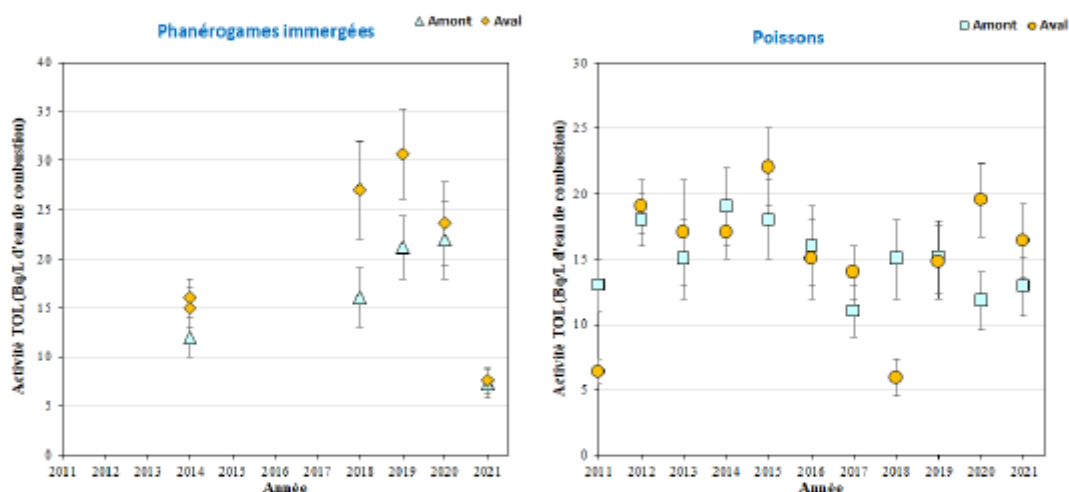


Figure 7-12. Activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux de 2011 à 2021.

7.2.2.4.4. Carbone 14

Les résultats sont présentés dans le Tableau 7-29 (page 211). En 2021, les activités en ^{14}C mesurées dans les jussies sont similaires aux incertitudes de mesures près à la valeur du bruit de fond ambiant hors influence industrielle ($200\text{--}220\text{ Bq.kg}^{-1}$ de C) [4], tandis que celles mesurées dans les poissons sont supérieures avec une activité de $630\pm 16\text{ Bq.kg}^{-1}$ de C à l'amont et de $744\pm 18\text{ Bq.kg}^{-1}$ de C à l'aval. Ces résultats montrent, d'une part, l'influence des rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly et de Belleville-sur-Loire situé en amont sur la Loire et, d'autre part, celle des rejets du site de Saint-Laurent-des-Eaux mise en évidence par l'augmentation constatée à l'aval dans les poissons.

Ces observations sont cohérentes avec les données des années antérieures pour les poissons.

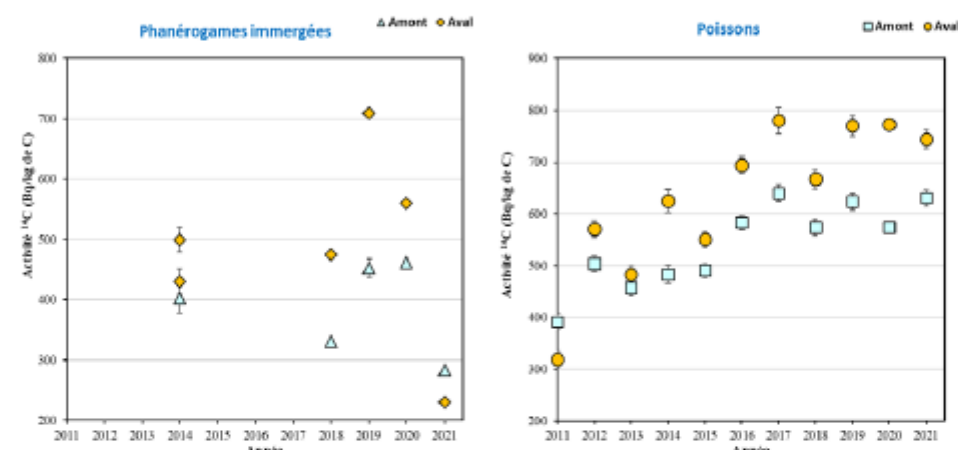


Figure 7-13. Activités spécifiques en ^{14}C mesurées dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux de 2011 à 2021.

7.2.2.4.5. Nickel 63 et Fer 55

En 2021, les analyses de ^{63}Ni et de ^{55}Fe montrent des activités inférieures aux seuils de décision dans les jussies (Tableau 7-30, page 212, et Tableau 7-31, page 212).

7.3.2.3. Radionucléides émetteurs alpha

Dans les jussies, les activités du ^{238}Pu , du $^{239+240}\text{Pu}$ et de l' ^{241}Am sont toutes inférieures aux seuils de décision (Tableau 7-32, page 212). Les rapports d'activités $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$, lorsqu'ils sont calculables, permettent de préciser l'origine de ces éléments, avec des rapports isotopiques respectifs de l'ordre de $0,03\text{--}0,08$ et d'environ $0,4\text{--}0,5$ pour les retombées des essais aériens nucléaires et supérieur à 1 pour les rejets d'effluents industriels (retraitement du combustible) [9]. En 2021, aucun de ces radionucléides émetteurs alpha n'est détecté.

7.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du site de Saint-Laurent-des-Eaux

Le suivi radioécologique établi en 2021 montre que le niveau de radioactivité naturelle demeure similaire à celui constaté avant la mise en fonctionnement de l'installation de Saint-Laurent-des-Eaux.

En 2021, la radioactivité artificielle détectée dans le milieu terrestre est due à la présence de traces de ^{137}Cs . Il provient principalement des retombées des anciens essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Les activités en ^3H (libre et organiquement lié) confortent les observations des années antérieures. En 2021, elles ne montrent pas de marquage lié aux rejets d'effluents tritiés du site sur le milieu terrestre. L'analyse du ^{14}C dans le lait montre une activité cohérente aux incertitudes de mesure près avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle.

Dans le milieu aquatique, le ^{137}Cs est présent dans tous les compartiments aussi bien en amont qu'en aval de l'installation à l'exception des poissons pêchés à l'amont. Les activités détectées dans ces matrices sont équivalentes entre l'amont et l'aval. En 2021, la présence de ^{137}Cs résulte donc principalement de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. On constate par ailleurs la présence de traces de ^{60}Co et de ^{110m}Ag à l'amont de l'installation. Cette observation montre l'influence sur le milieu aquatique des rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly et de Belleville-sur-Loire situés à l'amont. Ce marquage masque une éventuelle contribution de ceux du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux. En 2021, les analyses de ^3H libre et organiquement lié et de ^{14}C dans les phanérogames sont équivalentes entre l'amont et l'aval. Ces résultats mettent en évidence l'influence des rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire et de Dampierre-en-Burly situés en amont sur la Loire qui masque l'éventuelle contribution de ceux du site de Saint-Laurent-des-Eaux pour ce radionucléide. En revanche, dans les poissons, l'augmentation des activités du ^3H libre et du ^{14}C constatée à l'aval par rapport à celles mesurées à l'amont montre le marquage lié aux rejets d'effluents liquides du site de Saint-Laurent-des-Eaux. Enfin, l'activité mesurée dans l'eau de boisson de la ville de Blois proche de 20 Bq.L^{-1} , traduit une influence des rejets du site, tout en étant inférieure à la référence de qualité de 100 Bq.L^{-1} définie dans la réglementation européenne relative à l'eau potable appliquée par la France.

Tableau 7-3. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les sols prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2021 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	mai/oct. 2011	avril 2012	avril 2013	avril/juil. 2014	juin 2015	mai 2016	juin 2017	avril 2018	mai 2019	oct. 2020	mai 2021
Distance par rapport au site	1,7 et 7,6 km	1,7 et 7,6 km	1,7 et 7,6 km	1,7 à 27 km	7,6 km	7,6 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	2,6-3,7 (2/2)	2,7-6,4 (2/2)	2,5-3,9 (2/2)	2,5-7,6 (3/3)	3,6 (1/1)	2,9 (1/1)	2,6 (1/1)	2,2 (1/1)	2,07 (1/1)	2,19 (1/1)	2,12 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β											
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	237-244 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^3H libre	n.a.	n.a.	n.a.	1,7 (1/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	5,8-30 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

Tableau 7-4. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les mousses et les champignons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2021 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	avril 2011	avril 2012	avril 2013	avril/oct. 2014		juin 2015	mai 2016	juin 2017	avril 2018	mai 2019	oct. 2020	mai 21
Distance par rapport au site	1 et 9,1 km	1 et 9,1 km	1 et 9,1 km	1,9 et 9,1 km	8,2 km	1,9 et 9,1 km	1,9 et 9,1 km	1,9 et 9,1 km	1,9 km	1 km	1 km	1 km
Nature	mousse	mousse	mousse	mousse	champignon	mousse	mousse	mousse	mousse	mousse	mousse	mousse
Emetteurs γ d'origine artificielle												
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	1,7-2,4 (2/2)	1,5-2,0 (2/2)	1,8 (1/2)	1,2-4,0 (2/2)	38 (1/1)	1,3-2,3 (2/2)	2,1 (1/2)	1,9-2,9 (2/2)	2,0 (1/1)	-	2,28 (1/1)	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{131}I	19-22 (2/2)	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β												
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	235 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^3H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

Tableau 7-5. Activités du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les lièvres trimestriels prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux de 2015 à 2021 (^{14}C : Bq.kg⁻¹ de carbone ; ^3H : Bq.L⁻¹).

Année de prélèvement	avril 2015	jul. 2015	oct. 2015	janv. 2016	avril 2016	jul. 2016	oct. 2016	janv. 2017	avril 2017	jul. 2017	oct. 2017	janv. 2018	avril 2018	jul. 2018	oct. 2018	janv. 2019
Distance par rapport au site	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km
Emetteurs β																
^{14}C	223 (1/1)	224 (1/1)	229 (1/1)	237 (1/1)	229 (1/1)	234 (1/1)	231 (1/1)	232 (1/1)	236 (1/1)	233 (1/1)	236 (1/1)	236 (1/1)	228 (1/1)	234 (1/1)	240 (1/1)	229 (1/1)
^3H 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.	1,3 (1/1)	n.a.
^3H organiquement lié	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.

Année de prélèvement	avril 2019	jul. 2019	oct. 2019	janv. 2020	avril 2020	jul. 2020	oct. 2020	janv. 2021	avril 2021	jul. 2021	oct. 2021	janv. 2022
Distance par rapport au site	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km
Emetteurs β												
^{14}C	223 (1/1)	228 (1/1)	225 (1/1)	226 (1/1)	230,2 (1/1)	228 (1/1)	227 (1/1)	228 (1/1)	231,8 (1/1)	222 (1/1)	228 (1/1)	229,5 (1/1)
^3H 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.
^3H organiquement lié	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

Suivi radiocologique de l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Loire - Année 2021
C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux
Rapport SUB/RE/RC/21-L



Tableau 7-6. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les salades/choux prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2021 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	juil. 2011	sept. 2012	juil. 2013	sept. 2014	août 2015	juil. 2016	juin 2017	oct. 2018	juin 2019	oct. 2020	oct 2021
Distance par rapport au site	6,1 et 32,1 km	6,1 et 32,1 km	6,1 et 32,1 km	6,1 et 32,1 km	6,1 km	6,1 km	6,1 km	6,1 km	6,1 km	6,1 km	6,1 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,28-0,54 (2/2)	0,36 (1/2)	0,16 (1/2)	0,25-0,70 (2/2)	-	0,19 (1/1)	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β											
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	232 (1/1)	233 (1/1)	237 (1/1)	237 (1/1)	227,0 (1/1)	229,5 (1/1)	226,3 (1/1)
^3H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,5 (1/1)	-	-	0,8 (1/1)	-	-	-
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	1,3 (1/1)	-	-	-	-

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

Tableau 7-7. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les herbes prélevées dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2021 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	mai 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	juin 2015	mai 2016	juin 2017	avr 2018	mai 2019	oct. 2020	mai 2021
Distance par rapport au site	7,6 km	7,6 km	7,6 km	7,6 et 27 km	7,6 km	7,6 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	0,12 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,12 (1/1)	-	-	0,072 (1/2)	0,078 (1/1)	0,11 (1/1)	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β											
^{14}C	238 (1/1)	300 (1/1)	244 (1/1)	229-231 (3/3)	231 (1/1)	229 (1/1)	229 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^3H libre	n.a.	n.a.	n.a.	0,9 (1/2)	-	-	1,9 (1/1)	n.a.	0,77 (1/1)	2,40 (1/1)	1,79 (1/1)
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	4,4 (1/2)	n.a.	0,77 (1/1)	1,24 (1/1)	-

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

Tableau 7-8. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les laits prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2021 (spectrométrie γ et ^3H : Bq.L⁻¹ ; ^{14}C : Bq.kg⁻¹ de carbone).

Année de prélèvement	mai 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	juin 2015	mai 2016	juin 2017	avril 2018	mai 2019	oct. 2020	mai 2021
Distance par rapport au site	7,6 km	7,6 km	7,6 km	7,6 et 27,0 km	7,6 km	7,6 km	7,6 km	7,6 km	7,6 km	7,6 km	7,6 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,015 (1/1)	0,017 (1/1)	0,012 (1/1)	0,023 (1/2)	0,013 (1/1)	0,015 (1/1)	0,0088 (1/1)	0,0150 (1/1)	0,0155 (1/1)	0,0200 (1/1)	0,0137 (1/1)
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{65}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β											
^{14}C	-	-	-	234-240 (2/2)	-	-	-	231 (1/1)	229,0 (1/1)	226,0 (1/1)	229,8 (1/1)
^3H libre	1,0 (1/1)	-	-	-	-	-	0,72 (1/1)	-	-	0,64 (1/1)	0,70 (1/1)
^3H organiquement lié	-	-	-	1,5 (1/2)	-	-	-	3,8 (1/1)	-	-	2,59 (1/1)

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

Tableau 7-9. Activités du ^{14}C dans les échantillons trimestriels de lait prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux de 2015 à 2017 (Bq.kg^{-1} de carbone).

Année de prélèvement	avril 2015	juil. 2015	oct. 2015	janv. 2016	avril 2016	juil. 2016	oct. 2016	janv. 2017	avril 2017	juil. 2017	oct. 2017	janv. 2018
Distance par rapport au site	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km
Emetteurs β												
^{14}C	229 (1/1)	219 (1/1)	234 (1/1)	234 (1/1)	237 (1/1)	233 (1/1)	235 (1/1)	228 (1/1)	242 (1/1)	240 (1/1)	237 (1/1)	233 (1/1)

Tableau 7-10. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2021.

Sous les vents							Emetteurs γ d'origine naturelle					
							Activité Bq.kg ⁻¹ sec (sol, végétaux), Bq.L ⁻¹ (lait)					
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	⁴⁰ K	Famille de ²³² Th	Famille de ²³⁸ U			²³² Th
								²³² Th	^{234m} Pa	²¹⁴ Pb	²¹⁴ Bi	
Courbouzon	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	10/05/21	11/05/21	Frais	250 ± 40	< 3,0	< 11	n.a.	168 ± 34	285 ± 34
Mer	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa</i> L.	Feuilles	19/10/21	29/11/21	Cendres	2670 ± 380	1,27 ± 0,60	< 1,4	n.a.	7,7 ± 3,2	57,8 ± 6,7
Station AS 1	Sol non cultivé	Sol de prairie Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	11/05/21	31/05/21	Sec	930 ± 130	66,7 ± 8,6	n.a.	72 ± 24	n.a.	< 2,1
Station AS 1	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	11/05/21	21/05/21	Cendres	666 ± 95	< 0,16	< 0,51	n.a.	11,5 ± 1,9	139 ± 16
Muldes-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	12/05/21	01/06/21	Cendres	42,6 ± 6,1	< 0,033	< 0,075	n.a.	< 0,11	< 0,066

« n.a. » : non analysé. Les activités sont présentées $\pm$ l'incertitude ou <SD.

Tableau 7-11. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2021.

Suivi radiocécologique de l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Loire - Année 2021
C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux
Rapport SUBRE/RC/21-L

Sous les vents							Emetteurs γ d'origine artificielle						
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Activité Bq.kg ⁻¹ sec (sois, végétaux), Bq.L ⁻¹ (lait)						
							¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁶⁰ Co	⁵⁷ Co	^{110m} Ag	⁹⁰ Y	¹³⁷ I
Courbouzon	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	10/05/21	11/05/21	Frais	< 0,84	< 0,79	< 0,70	< 0,79	< 0,88	< 0,72	< 0,77
Mer	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	19/10/21	29/11/21	Cendres	< 0,12	< 0,12	< 0,19	< 0,17	< 0,16	< 0,14	n.a.
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	11/05/21	31/05/21	Sec	< 0,24	2,12 ± 0,26	< 0,20	< 0,19	< 0,25	< 0,24	n.a.
Station AS1	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	11/05/21	21/05/21	Cendres	< 0,036	< 0,036	< 0,040	< 0,045	< 0,042	< 0,037	n.a.
Mudes-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	12/05/21	01/06/21	Cendres	< 0,0080	0,0137 ± 0,0082	< 0,0094	< 0,0095	< 0,0094	< 0,0083	n.a.

< n.a. > : non analysé. Les activités sont présentées $\pm$ l'incertitude ou <SD.



Sous les vents							¹²⁷ I
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	mg.kg ⁻¹ frais
Courbouzon	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	10/05/21	16/02/22	sec	< 50,0

Tableau 7-12. Teneur en iode stable des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2021.

Sous les vents							³ H libre	
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L ⁻¹	Bq.kg ⁻¹ frais (végétaux) Bq.L ⁻¹ de lait
Mer	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa</i> L.	Feuilles	19/10/21	03/12/21	Eau de lyophilisation	< 0,59	< 0,56
Station AS1	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	11/05/21	29/06/21	Eau de lyophilisation	1,79 ± 0,69	1,34 ± 0,52
Muldes-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	12/05/21	27/06/21	Eau de lyophilisation	0,70 ± 0,62	0,59 ± 0,52

Les activités sont présentées ± l'incertitude ou <SD.

Tableau 7-13. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2021.

Sous les vents							³ H organiquement lié		
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion	Bq.kg ⁻¹ frais (végétaux) Bq.L ⁻¹ de lait	Bq.kg ⁻¹ MO
Mer	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa</i> L.	Feuilles	19/10/21	28/12/21	Lyophilisée	< 0,74	< 0,022	< 0,49
Station AS1	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	11/05/21	29/06/21	Lyophilisée	< 0,54	< 0,077	< 0,32
Muldes-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	12/05/21	21/06/21	Lyophilisée	2,59 ± 0,70	0,248 ± 0,072	2,00 ± 0,58

Les activités sont présentées ± l'incertitude ou <SD.

Tableau 7-14. Activité du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	¹⁴ C		C tot	¹³ C/ ¹² C	PMC
							Bq.kg ⁻¹ de C	Bq.kg ⁻¹ frais (végétaux) Bq.L ⁻¹ de lait		‰	‰
Mer	Production agricole	Salade Batavia Lactuca sativa L.	Feuilles	19/10/21	03/11/22	Lyophilisé	226,3 ± 1,0	4,923 ± 0,032	22	-29,61	101
Muldes-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	12/05/21	21/10/21	Lyophilisé	229,8 ± 1,8	14,91 ± 0,12	65	-22,58	101

Tableau 7-15. Activité du ¹⁴C des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	⁹⁰ Sr	⁹⁰ Sr/Ca	Ca
							Bq.kg ⁻¹ seo	Bq.g ⁻¹ Ca	
Courbouzon	Mousse terrestre	Mousse Eurhynchium striatum	Entier	10/05/21	15/02/22	Cendres	1,41 ± 0,33	0,144 ± 0,034	9,8
Station A31	Sol non cultivé	Sol de prairie Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	11/05/21	29/03/22	Calciné	1,28 ± 0,35	0,295 ± 0,081	4,3

Les activités sont présentées ± l'incertitude ou <SD.

Tableau 7-16. Activité du ⁹⁰Sr des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	⁵⁵ Fe
							Bq.kg ⁻¹ seo
Courbouzon	Mousse terrestre	Mousse Eurhynchium striatum	Entier	10/05/21	10/02/22	Cendres	< 1,2
Station A31	Sol non cultivé	Sol de prairie Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	11/05/21	12/02/22	Calciné	< 12

Les activités sont présentées ± l'incertitude ou <SD.

Tableau 7-17. Activité du ⁵⁵Fe des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021.

Hors vents		Sous les vents											
								Emetteurs α					
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure		Qualité	mBq.kg ⁻¹ geo			Rapports		
					²³⁹ Pu ²³⁸⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am		²³⁹ Pu	²³⁸⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am	²³⁹ Pu/ ²³⁸⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am/ ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	
La Ferté Saint-Cyr	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	11/05/21	16/12/21	23/12/21	Cendres	9,0 ± 4,7	24,4 ± 7,9	6,9 ± 2,6	0,37 ± 0,31	0,28 ± 0,20	
Courbouzon	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	10/05/21	20/01/22	20/01/22	Cendres	5,3 ± 4,3	21,5 ± 8,8	6,1 ± 3,0	0,25 ± 0,16	0,28 ± 0,25	
Cheverny	Sol non cultivé	Sol de pâturage Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	10/05/21	08/12/21	08/11/21	Cendres	5,9 ± 2,2	226 ± 22	53 ± 16	0,026 ± 0,012	0,235 ± 0,095	
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	11/05/21	03/12/21	09/02/22	Cendres	4,0 ± 2,6	93,0 ± 14,6	20 ± 12	0,043 ± 0,035	0,22 ± 0,17	

Les activités sont présentées $\pm$ l'incertitude ou $<SD$.

Tableau 7-18. Activité des radionucléides émetteurs alpha dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021.

Sous les vents					
Station	Nature	Date de prélèvement	Date de mesure	Analyses	%
Station AS1	Sol de prairie Horizon 0 - 5 cm	11/05/21	10/08/21	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	14,05
				Limons fins	12,58
				Limons grossiers	10,27
				Sables fins	47,48
				Sables grossiers	15,62
				Teneur en matières organiques	4,10

Tableau 7-19. Granulométrie et teneur en matières organiques de l'échantillon de sol prélevé dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2021.

Tableau 7-20. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ et du ^3H libre dans les eaux prélevées dans l'environnement terrestre (eaux de boisson et d'irrigation) et aquatique (eau de rivière) du site de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2021 (Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	avril 2011	avril 2012	avril 2013	avril, juil. et août 2014	juin 2015	mai 2016	juin 2017	avril/juil. 2018	mai 2019	oct./nov. 2020	mai/sept. 2021
Distance par rapport au site	7,1 et 23,3 km	7,1 et 23,3 km	7,1 et 23,3 km	2,0 à 52,1 km	7,1 et 23,3 km	7,1 et 23,3 km	7,1 et 23,3 km	2,0 à 23,3 km	2,0 à 23,3 km	2,0 à 23,3 km	2,0 à 23,3 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{137}Cs	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{60}Co	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{60}Co	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{110m}Ag	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{54}Mn	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Emetteurs β											
^3H libre	3,4 (1/2)	17 (1/2)	1,1 (1/2)	0,56-24 (6/9)	3,0 (1/2)	3,4-8,6 (2/2)	2,2 (1/2)	0,8-1,4 (2/3)	1,10-28,9 (3/5)	0,63-5,2 (3/3)	23,5 (1/3)

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

Tableau 7-21. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ , du ^{14}C et du ^3H organiquement lié dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux de 2011 à 2021 (spectrométrie γ : Bq.kg $^{-1}$ frais ; ^{14}C : Bq.kg $^{-1}$ de carbone ; ^3H : Bq.L $^{-1}$).

Année de prélèvement	juil. 2011		juil. 2012		juil. 2013		sept. 2014		sept. 2015		sept. 2016		oct. 2017		oct. 2018		sept. 2019		sept. 2020		sept. 2021	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																						
^{134}Cs	0,75 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19 (1/1)	0,17 (1/2)	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	9,6 (1/1)	6,8-10 (3/3)	8 (1/1)	7,4-8,3 (3/3)	6,6 (1/1)	5,5-6,6 (3/3)	6,9 (1/1)	6,7-8,4 (2/2)	6,7 (1/1)	5,1-5,7 (2/2)	2,3 (1/1)	5,5-6,2 (2/2)	4,5 (1/1)	4,4-5,4 (2/2)	4,7 (1/1)	3,9-5,5 (2/2)	4,56 (1/1)	3,09-4,51 (2/2)	4,31 (1/1)	3,07-4,05 (2/2)	6,01 (1/1)	5,83-7,74 (2/2)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	0,13 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	0,28 (1/1)	0,31-0,42 (2/3)	0,31 (1/1)	0,31 (1/3)	0,79 (1/1)	0,42-0,45 (2/3)	0,36 (1/1)	0,29-0,37 (2/2)	1,5 (1/1)	0,42-2 (2/2)	1,1 (1/1)	0,77 (1/2)	0,73 (1/1)	0,72 (1/2)	0,62 (1/1)	0,47 (1/2)	0,71 (1/1)	0,30-2,74 (2/2)	1,06 (1/1)	0,69 (2/2)	2,2 (1/1)	0,79 (1/2)
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	0,37 (1/1)	0,36 (1/2)	-	0,36 (1/2)	-	0,29 (1/2)	-	-	0,32 (1/1)	-	-	1,51 (1/2)	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β																						
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	344 (1/1)	350-366 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	293,0 (1/1)	422,2 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^3H 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.	n.a.	n.a.
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	9,2 (1/1)	5,2-11 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,31 (1/1)	15,4 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

Tableau 7-22. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les végétaux aquatiques prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux de 2011 à 2021 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	mai/sept. 2011		juil./sept. 2012		juil./sept. 2013		juil./sept/oct. 2014		juil./sept. 2015		sept. 2016		oct. 2017		oct. 2018		sept. 2019		sept. 2020		sept/nov. 2021	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																						
^{137}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{134}Cs	0,28- 0,71 (4/5)	0,10-1,2 (6/6)	0,11-1,3 (5/5)	0,15-1,5 (6/6)	0,10-2,6 (5/5)	0,091- 3,0 (6/6)	1,0-1,3 (3/4)	0,16-1,5 (5/5)	0,13- 0,50 (2/2)	0,13- 0,49 (3/3)	0,72 (1/2)	0,78 (3/3)	0,25 (2/2)	1,4 (3/3)	0,18 (1/1)	0,44- 0,60 (2/2)	0,233 (1/1)	0,72 (2/2)	0,114 (1/1)	0,405 (2/2)	0,169 (1/1)	0,084- 0,142 (2/2)
^{60}Co	0,13- 0,29 (3/5)	0,13- 0,29 (4/5)	0,27- 0,52 (4/5)	0,25- 0,37 (3/5)	0,12- 0,16 (2/5)	-	0,25- 0,29 (2/4)	0,17 (1/5)	1,8 (1/2)	0,38-1,3 (2/3)	0,65 (1/2)	0,32 (1/3)	0,40 (1/2)	0,37 (1/1)	0,34 (1/1)	0,23- 0,55 (2/2)	0,189 (1/1)	0,161 (1/2)	0,270 (1/1)	0,181 (1/2)	-	-
^{60}Co	0,13 (1/5)	0,34- 0,85 (3/5)	0,13 (1/5)	0,20- 0,32 (3/5)	0,25- 0,39 (2/5)	-	0,22- 0,25 (2/4)	0,64-1,2 (3/5)	0,75 (1/2)	0,39-3 (2/3)	0,35 (1/2)	0,28- 0,43 (2/3)	0,30 (1/2)	0,75 (2/3)	0,30 (1/1)	0,85 (2/2)	0,188 (1/1)	0,63 (2/2)	0,18 (1/1)	2,14 (2/2)	0,114 (1/1)	-
^{110m}Ag	-	0,14- 0,27 (2/5)	-	0,11- 0,21 (2/5)	-	-	-	-	-	0,77 (1/3)	0,15 (1/2)	0,17- 0,29 (2/3)	-	0,25- 0,54 (2/3)	0,34 (1/1)	0,45- 0,59 (2/2)	0,193 (1/1)	1,43- 3,57 (2/2)	-	0,366 (1/2)	-	-
^{90}Sr	-	-	0,091 (1/5)	-	-	-	-	-	0,22 (1/2)	0,18- 0,39 (2/3)	-	-	-	-	0,073 (1/1)	-	0,50 (1/1)	-	-	-	-	-
^{131}I	1,4 (1/1)	-	4,3 (1/1)	-	2,9 (1/1)	-	-	-	3,5 (1/1)	2,9 (1/1)	-	-	-	2,3 (1/1)	6,9 (1/1)	4,9 (1/1)	-	-	4,2 (1/1)	3,21 (1/1)	-	-
Emetteurs β																						
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	402 (1/1)	430-499 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	331 (1/1)	474 (1/1)	452 (1/1)	709,2 (1/1)	461,4 (1/1)	559,0 (1/1)	238,3 (1/1)	229,7 (1/1)
^3H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	8,6 (1/1)	19-23 (2/2)	29 (1/1)	28 (1/1)	28 (1/1)	29 (1/1)	11 (1/1)	39 (1/1)	20 (1/1)	34 (1/1)	28,9 (1/1)	31,7 (1/1)	33,3 (1/1)	44,8 (1/1)	4,88 (1/1)	5,1 (1/1)
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	12 (1/1)	15-16 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	16 (1/1)	27 (1/1)	21,2 (1/1)	30,7 (1/1)	21,9 (1/1)	23,6 (1/1)	7,3 (1/1)	7,6 (1/1)

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

Tableau 7-23. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2021 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} frais ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	juin 2011		oct. 2012		sept. 2013		sept. 2014		sept./oct. 2015		sept. 2016		oct. 2017		oct. 2018		oct. 2019		oct. 2020		oct. 2021	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																						
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,060- 0,070 (2/2)	0,074- 0,11 (2/2)	0,041 (1/2)	0,041- 0,059 (2/2)	0,028 (1/2)	0,032 (1/2)	0,030- 0,033 (2/2)	0,039- 0,054 (2/2)	0,039 (1/1)	0,030 (1/1)	0,024 (1/1)	0,058 (1/1)	0,032 (1/1)	-	0,035 (1/1)	-	0,022 (1/1)	0,052 (1/1)	0,044 (1/1)	0,032 (1/1)	-	0,035 (1/1)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β																						
¹⁴ C	391 (1/1)	319 (1/1)	503 (1/1)	570 (1/1)	457 (1/1)	483 (1/1)	483 (1/1)	625 (1/1)	490 (1/1)	550 (1/1)	583 (1/1)	694 (1/1)	640 (1/1)	780 (1/1)	574 (1/1)	667 (1/1)	623 (1/1)	770 (1/1)	573,2 (1/1)	772,2 (1/1)	630 (1/1)	744 (1/1)
³ H libre	17 (2/2)	22 (2/2)	49 (2/2)	48-51 (2/2)	31-33 (2/2)	33-34 (2/2)	20-22 (2/2)	15-21 (2/2)	25 (1/1)	47 (1/1)	3,9 (1/1)	13 (1/1)	10 (1/1)	9,5 (1/1)	25 (1/1)	34 (1/1)	21,9 (1/1)	27,8 (1/1)	10,7 (1/1)	16,7 (1/1)	3,23 (1/1)	6,0 (1/1)
³ H organiquement lié	13 (1/1)	6,4 (1/1)	18 (1/1)	19 (1/1)	15 (1/1)	17 (1/1)	19 (1/1)	17 (1/1)	18 (1/1)	22 (1/1)	16 (1/1)	15 (1/1)	11 (1/1)	14 (1/1)	15 (1/1)	5,9 (1/1)	15,1 (1/1)	14,8 (1/1)	11,8 (1/1)	19,5 (1/1)	12,9 (1/1)	16,4 (1/1)

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

Tableau 7-24. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2021.

Amont			Aval			Aval lointain			Emetteurs γ d'origine naturelle					
									Activité Bq.kg ⁻¹ sec (sédiments, végétaux), Bq.kg ⁻¹ frais (poissons)					
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	⁴⁰ K	Famille de ²³² Th		Famille de ²³⁸ U			⁷ Be	
								²²⁸ Ao	²³⁴ Th	^{234m} Pa	²¹⁰ Pb			
Tavers Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	21/09/21	12/10/21	Sec	637 ± 91	78 ± 10	n.a.	82 ± 28	n.a.	79,4 ± 9,4		
Pont de Muldes Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	21/09/21	25/10/21	Sec	624 ± 89	73,5 ± 9,5	n.a.	99 ± 25	n.a.	5,8 ± 2,4		
Ménars Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	22/09/21	02/11/21	Sec	647 ± 93	73,4 ± 9,5	n.a.	87 ± 25	n.a.	31,2 ± 4,7		
Beaugency Rive droite	Phanérogame Immergée	Jussie rampante Ludwigia peploides	Partie aérienne	21/09/21	22/11/21	Cendres	900 ± 130	11,9 ± 1,5	9,0 ± 1,4	n.a.	11,5 ± 2,1	48,5 ± 5,5		
Pont de Muldes Rive gauche	Phanérogame Immergée	Jussie rampante Ludwigia peploides	Partie aérienne	21/09/21	19/10/21	Cendres	675 ± 97	5,00 ± 0,67	1,98 ± 0,78	n.a.	11,5 ± 1,9	72,4 ± 8,1		
Ménars Rive gauche	Phanérogame Immergée	Jussie rampante Ludwigia peploides	Partie aérienne	22/09/21	05/11/21	Cendres	540 ± 78	2,38 ± 0,37	3,07 ± 0,77	n.a.	9,7 ± 1,6	67,2 ± 7,6		
Tavers Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune Cyprinus carpio	Muscle	05/10/21	17/12/21	Cendres	107 ± 15	< 0,095	< 0,20	n.a.	< 0,30	< 0,43		
Pont de Muldes Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune Cyprinus carpio	Muscle	04/10/21	03/01/22	Cendres	105 ± 15	< 0,10	< 0,21	n.a.	< 0,31	< 0,57		

« n.a. » : non analysé. Les activités sont présentées $\pm$ l'incertitude ou <SD.

Tableau 7-25. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2021.

Amont			Aval			Aval lointain			Emetteurs γ d'origine artificielle						
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Activité Bq.kg ⁻¹ sec (sédiments, végétaux), Bq.kg ⁻¹ frais (poissons)								
							¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁶⁰ Co	⁶⁵ Co	^{110m} Ag	⁵⁴ Mn	¹³¹ I		
Tavers Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	21/09/21	12/10/21	Sec	< 0,27	6,01 ± 0,70	< 0,24	2,20 ± 0,46	1,10 ± 0,17	< 0,26	n.a.		
Pont de Muides Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	21/09/21	25/10/21	Sec	< 0,21	7,74 ± 0,88	< 0,20	< 0,19	< 0,28	< 0,22	n.a.		
Minars Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	22/09/21	02/11/21	Sec	< 0,24	6,88 ± 0,87	< 0,26	0,78 ± 0,24	< 0,29	< 0,26	n.a.		
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Jussie rampante <i>Ludwigia peploides</i>	Partie aérienne	21/09/21	22/11/21	Cendres	< 0,050	0,188 ± 0,027	< 0,083	0,114 ± 0,088	< 0,064	< 0,062	n.a.		
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Jussie rampante <i>Ludwigia peploides</i>	Partie aérienne	21/09/21	22/09/21	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 2,3		
Pont de Muides Rive gauche	Phanérogame immergée	Jussie rampante <i>Ludwigia peploides</i>	Partie aérienne	21/09/21	19/10/21	Cendres	< 0,033	0,084 ± 0,018	< 0,042	< 0,041	< 0,040	< 0,034	n.a.		
Pont de Muides Rive gauche	Phanérogame immergée	Jussie rampante <i>Ludwigia peploides</i>	Partie aérienne	21/09/21	23/09/21	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 1,8		
Minars Rive gauche	Phanérogame immergée	Jussie rampante <i>Ludwigia peploides</i>	Partie aérienne	22/09/21	05/11/21	Cendres	< 0,027	0,142 ± 0,020	< 0,039	< 0,034	< 0,034	< 0,029	n.a.		
Tavers Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	05/10/21	17/12/21	Cendres	< 0,027	< 0,026	< 0,046	< 0,032	< 0,038	< 0,027	n.a.		
Pont de Muides Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	04/10/21	03/01/22	Cendres	< 0,031	0,096 ± 0,027	< 0,059	< 0,033	< 0,042	< 0,030	n.a.		

* n.a. : non analysé. Les activités sont présentées $\pm$ l'incertitude ou $\leq$ SD.

Amont		Aval						¹²⁷ I
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	mg.kg ⁻¹ frais	
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Jussie rampante <i>Ludwigia peploides</i>	Partie aérienne	21/09/21	28/02/22	Lyophilisée	< 5,3	
Pont de Muldes Rive gauche	Phanérogame immergée	Jussie rampante <i>Ludwigia peploides</i>	Partie aérienne	21/09/21	28/02/22	Lyophilisée	< 7,1	

Tableau 7-26. Teneur en iode stable dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2021.

Amont		Aval							³ H libre
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L ⁻¹	Bq.kg ⁻¹ frais	
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Jussie rampante <i>Ludwigia peploides</i>	Partie aérienne	21/09/21	20/10/21	Eau de lyophilisation	4,88 ± 0,99	4,36 ± 0,89	
Pont de Muldes Rive gauche	Phanérogame immergée	Jussie rampante <i>Ludwigia peploides</i>	Partie aérienne	21/09/21	13/10/21	Eau de lyophilisation	5,1 ± 1,0	4,34 ± 0,86	
Tavers Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	05/10/21	08/12/21	Eau de lyophilisation	3,23 ± 0,83	2,45 ± 0,63	
Pont de Muldes Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	04/10/21	29/12/21	Eau de lyophilisation	6,0 ± 1,1	4,41 ± 0,81	
Muldes-sur-Loire	Eau	Eau de boisson	Entier	11/05/21	03/07/21	Entier	< 0,58	-	
Biols	Eau	Eau de boisson	Entier	10/05/21	04/07/21	Entier	23,5 ± 3,6	-	
Courbouzon	Eau	Eau d'irrigation	Entier	21/09/21	15/10/21	Entier	< 0,68	-	

Les activités sont présentées ± l'incertitude ou <SD.

Tableau 7-27. Activités du tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2021.

Amont		Aval							
							³ H organiquement lié		
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion	Bq.kg ⁻¹ frais	Bq.kg ⁻¹ MO
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Jussie rampante <i>Ludwigia peploides</i>	Partie aérienne	21/09/21	02/12/21	Eau de combustion	7,3 ± 1,5	0,350 ± 0,086	3,64 ± 0,89
Port de Muldes Rive gauche	Phanérogame immergée	Jussie rampante <i>Ludwigia peploides</i>	Partie aérienne	21/09/21	13/10/21	Eau de combustion	7,6 ± 1,3	0,48 ± 0,11	3,65 ± 0,83
Tavern Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	05/10/21	23/01/22	Eau de combustion	12,9 ± 2,3	2,15 ± 0,45	9,3 ± 1,9
Port de Muldes Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	04/10/21	17/02/22	Eau de combustion	16,4 ± 2,8	2,93 ± 0,60	11,8 ± 2,4

Les activités sont présentées ± l'incertitude ou <SD.

Tableau 7-28. Activités du tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2021.

Amont		Aval									
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	¹⁴ C		C tot	¹³ C/ ¹² C	PMC
							Bq.kg ⁻¹ de C	Bq.kg ⁻¹ frais	g.kg ⁻¹ frais	‰	‰
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Jussie rampante <i>Ludwigia peploides</i>	Partie aérienne	21/09/21	29/03/22	Lyophilisé	238,3 ± 1,0	11,40 ± 0,05	48	-28,65	100
Port de Muldes Rive gauche	Phanérogame immergée	Jussie rampante <i>Ludwigia peploides</i>	Partie aérienne	21/09/21	28/04/22	Lyophilisé	229,7 ± 1,0	14,80 ± 0,06	65	-28,26	97
Tavern Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	05/10/21	13/04/22	Lyophilisé	630 ± 18	86,14 ± 2,19	137	-25,10	265
Port de Muldes Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	04/10/21	16/04/22	Lyophilisé	744 ± 18	108,48 ± 2,62	146	-25,55	313

Tableau 7-29. Activités du ¹⁴C dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2021.

Amont		Aval					⁶³ Ni
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.kg ⁻¹ geo
Beaugency Rive droite	Phanérogame Immergée	Jussie rampante <i>Ludwigia peploides</i>	Partie aérienne	21/09/21	21/12/21	Cendres	< 0,25
Pont de Muldes Rive gauche	Phanérogame Immergée	Jussie rampante <i>Ludwigia peploides</i>	Partie aérienne	21/09/21	22/12/21	Cendres	< 0,43

Les activités sont présentées $\pm$ l'incertitude ou <SD.

Tableau 7-30. Activités du ⁶³Ni dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2021.

Amont		Aval					⁵⁵ Fe
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.kg ⁻¹ geo
Beaugency Rive droite	Phanérogame Immergée	Jussie rampante <i>Ludwigia peploides</i>	Partie aérienne	21/09/21	07/04/22	Cendres	< 0,13
Pont de Muldes Rive gauche	Phanérogame Immergée	Jussie rampante <i>Ludwigia peploides</i>	Partie aérienne	21/09/21	12/05/22	Cendres	< 0,15

Les activités sont présentées $\pm$ l'incertitude ou <SD.

Tableau 7-31. Activités du ⁵⁵Fe dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2021.

Amont		Aval										
				Emetteurs α								
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure		Qualité	Activité mBq.kg ⁻¹ sec			Rapports	
					²³⁸ Pu ²²⁶ Ac/ ²³⁸ Pu	²⁴¹ Am		²³⁸ Pu	²³⁸⁺²⁴¹ Pu	²⁴¹ Am	²³⁸ Pu/ ²³⁸⁺²⁴¹ Pu	²⁴¹ Am/ ²³⁸⁺²⁴¹ Pu
Beaugency Rive droite	Phanérogame Immergée	Jussie nageante Ludwigia peploides	Partie aérienne	21/09/21	16/12/21	23/12/21	Cendres	< 0,81	< 0,81	< 0,59	-	-
Pont de Muldes Rive gauche	Phanérogame Immergée	Jussie nageante Ludwigia peploides	Partie aérienne	21/09/21	16/12/21	23/12/21	Cendres	< 0,82	< 0,82	< 0,65	-	-

Les activités sont présentées $\pm$ l'incertitude ou <SD.

Tableau 7-32. Activité des radionucléides émetteurs alpha dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2021.

Amont	Aval	Aval lointain
-------	------	---------------

Station	Nature	Date de prélèvement	Date de mesure	Analyses	%
Tavers Rive droite	Sédiment	21/09/21	10/01/22	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	50,12
				Limons fins	28,77
				Limons grossiers	12,86
				Sables fins	5,25
				Sables grossiers	3,00
				Teneur en matières organiques	14,20
Pont de Muldes Rive gauche	Sédiment	21/09/21	10/01/22	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	41,48
				Limons fins	23,68
				Limons grossiers	15,27
				Sables fins	14,01
				Sables grossiers	5,56
				Teneur en matières organiques	15,50
Ménars Rive gauche	Sédiment	22/09/21	10/01/22	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	41,05
				Limons fins	25,44
				Limons grossiers	17,95
				Sables fins	12,06
				Sables grossiers	3,50
				Teneur en matières organiques	16,20

Tableau 7-33. Granulométrie et teneur en matières organiques des échantillons de sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2021.

Bibliographie

- [1] Electricité de France. Site internet : <https://www.edf.fr/centrale-nucleaire-saint-laurent-des-eaux/presentation>.
- [2] EDF. Rapport sur la sûreté nucléaire et la radioprotection des installations nucléaires de Saint-Laurent-des-Eaux. 2011.
- [3] EDF. Dossier de presse. La centrale nucléaire de Saint-Laurent, au service d'une production d'électricité sûre, compétitive et sans CO₂, au cœur de la région Centre. Février 2011.
- [4] IRSN. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020. Rapport de mission 2021, 408 p., 2021.
- [5] 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. Rapport DEI/2011-01. Février 2012.
- [6] IRSN. Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement. Rapport IRSN/PRP-ENV/SERIS/2017-00004, 74 p., 2017.
- [7] Centre de Datation par le RadioCarbone. Site internet : <http://carbon14.univ-lyon1.fr>.
- [8] IRSN : Fiche radionucléide – Strontium 90 et environnement. <https://www.irsn.fr/Strontium90.pdf>.
- [9] IRSN : Fiche radionucléide – Plutonium et environnement. http://www.irsn.fr/Plutonium_Pu239_v2.pdf.



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 Saint-Laurent
CS 60042
41220 – Saint-Laurent-Nouan
Contact : Mission communication
com-saint-laurent@edf.fr