

A photograph of two large, cylindrical cooling towers at a nuclear power plant. The towers are made of a light-colored, textured material and are emitting thick plumes of white steam that rise into a bright blue sky with scattered white clouds. In the foreground, there is a body of water reflecting the towers and the sky. To the left of the towers, there is a dense line of green trees.

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

**2021**

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

# SOMMAIRE

<b>Partie I - Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité de Saint-Laurent en 2021</b>	<b>4</b>
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
<b>Partie II - Prélèvements d'eau</b>	<b>8</b>
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
<b>Partie III – Restitution et consommation d'eau</b>	<b>14</b>
I. Restitution d'eau	14
II. Consommation d'eau	15
<b>Partie IV - Rejets d'effluents</b>	<b>16</b>
I. Rejets d'effluents à l'atmosphère	17
II. Rejets d'effluents liquides	29
III. Rejets thermiques	46
<b>Partie V - Prévention du risque microbiologique</b>	<b>48</b>
I. Bilan annuel des colonisations en circuit	48
II. Synthèse des traitements biocides et rejets associés	49
<b>Partie VI - Surveillance de l'environnement</b>	<b>50</b>
I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement	50
II. Physico-chimie des eaux souterraines	56
III. Chimie et physico-chimie des eaux de surface	57
IV. Physico-chimie et Hydrobiologie	64
V. Acoustique environnementale	64

**Partie VII - Évaluation de l'impact environnemental et sanitaire des rejets de l'installation**  
**65**

**Partie VIII - Gestion des déchets** \_\_\_\_\_ **69**

I. Les déchets radioactifs \_\_\_\_\_ **69**

II. Les déchets non radioactifs \_\_\_\_\_ **75**

**ABREVIATIONS** \_\_\_\_\_ **77**

**ANNEXE 1 : Suivi microbiologique du CNPE de Saint-Laurent Année 2021** \_\_\_\_\_ **78**

**RESULTATS LEGIONELLES 2021 Tranche 1 et Tranche 2** \_\_\_\_\_ **78**

**RESULTATS AMIBES 2021 Aval calculé** \_\_\_\_\_ **78**

**ANNEXE 2 : Suivi radioécologique annuel du CNPE de Saint-Laurent Année 2020** \_\_\_\_\_ **79**

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

## I. Contexte

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

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

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

En application de l'article 4.4.4 de l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base, ce document présente le bilan de l'année 2021 du CNPE de 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 1150 hommes et femmes qui œuvrent à la production en toute sûreté d'une électricité compétitive et faiblement émettrice de CO<sub>2</sub>. L'ensemble des réacteurs de Saint-Laurent a déjà produit plus de 434 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 2021, 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 la morpholine et de l'éthanolamine, de sous-produits issus des traitements biocides, dégradation de la monochloramine et de l'hydrazine dans l'environnement etc.). EDF mène également des études afin d'améliorer la connaissance de l'incidence de ses rejets sur l'homme et l'environnement. Ces évaluations d'impact nécessitent en effet l'utilisation de valeurs de référence qui font l'objet d'une veille scientifique :

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

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

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

En 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 événements significatifs pour l'environnement déclarés

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

Typologie	Date	Description de l'évènement	Principales actions correctives
ESE générique	12/04/2021	Dégradation de l'hypochlorite de sodium et impact sur les flux et concentrations ajoutées	Correction de la méthode de comptabilisation des rejets en chlorures et sodium et reprise des calculs historiques. Réalisation d'une analyse d'impact environnemental consolidée sur la substance chlorates. Interrogation sur la stratégie de stockage sur site des réactifs.
ESE	10/09/2021	Concentration en amibes Naegleria fowleri calculée en aval du site supérieure à 100 Nf/l	Dès la détection de l'augmentation de la concentration calculée en amibes en Loire, la consigne de traitement biocide a été augmentée

## 2. Bilan des incidents de fonctionnement

Le CNPE de Saint-Laurent a eu, durant l'année 2021, une indisponibilité longue pour maintenance de la chaîne d'évaporation du circuit de traitement des effluents usés. Une solution palliative a été mise en place pendant cette indisponibilité afin de maintenir un traitement suffisant des effluents avant rejet sans toutefois atteindre le niveau de performance de l'installation permanente. Cette situation a conduit à transférer des effluents ayant une activité volumique plus élevée en PF/PA dans les réservoirs T. Les effluents les plus pénalisant ont fait l'objet d'un traitement supplémentaire sur filtres ce qui a permis de limiter l'impact de ce fonctionnement temporairement dégradé sur nos rejets

Un plan d'appui mobilisation environnement a été déclenché fin septembre suite au déversement accidentel d'environ 50 litres d'un mélange d'eau et d'acide chlorhydrique sur le chantier de la source d'eau ultime (défaillance de la benne de traitement des effluents). La surveillance effectuée suite à ce déversement a confirmé l'absence d'incidence sur les sols et les eaux souterraines.

## Partie II - Prélèvements d'eau

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

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

Dans un CNPE, l'eau est nécessaire pour :

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

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

- le circuit primaire pour extraire la chaleur : c'est un circuit fermé parcouru par de l'eau sous pression (155 bars) et à une température de 300°C. L'eau passe dans la cuve du réacteur, capte la chaleur produite par la réaction de fission du combustible nucléaire et transporte cette énergie thermique vers le circuit secondaire au travers des générateurs de vapeur.
- le circuit secondaire pour produire la vapeur : au contact des milliers de tubes en « U » des générateurs de vapeur, l'eau du circuit primaire transmet sa chaleur à l'eau circulant dans le circuit secondaire, lui-aussi fermé. L'eau de ce circuit est ainsi transformée en vapeur qui fait tourner la turbine. Celle-ci entraîne l'alternateur qui produit l'électricité. Après son passage dans la turbine, la vapeur repasse à l'état liquide dans le condenseur ; cette eau est ensuite renvoyée vers les générateurs de vapeur pour un nouveau cycle.
- un troisième circuit, appelé « circuit de refroidissement » : pour condenser la vapeur et évacuer la chaleur, le circuit de refroidissement comprend un condenseur, appareil composé de milliers de tubes dans lesquels circule de l'eau froide prélevée dans la rivière ou la mer. Au contact de ces tubes, la vapeur se condense. Ce circuit de refroidissement est différent selon la situation géographique du CNPE :
  - en bord de mer ou d'un fleuve à grand débit, les CNPE fonctionnent avec un circuit de refroidissement totalement ouvert.  
De l'eau (environ 50 m<sup>3</sup> par seconde) est prélevée pour assurer le refroidissement des équipements via le condenseur. Une fois l'opération de refroidissement effectuée, l'eau qui n'est jamais entrée en contact avec la radioactivité, est intégralement restituée dans la mer 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 CO<sub>2</sub>. 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 m<sup>3</sup> par seconde.



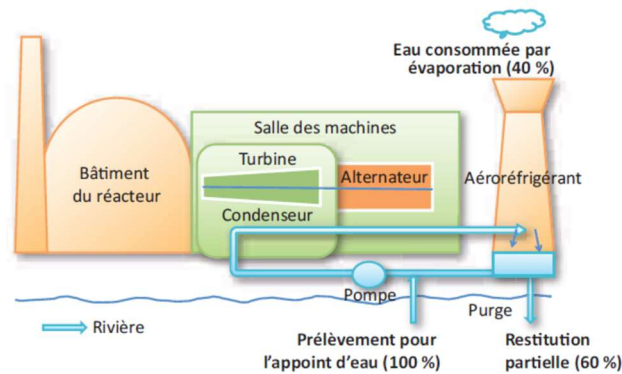


Figure 1 : Schéma d'un CNPE avec un circuit de refroidissement fermé (Source : EDF)

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 2021.

	Prélèvement d'eau (en millions de m <sup>3</sup> )
Janvier	8,4
Février	7,6
Mars	6,1
Avril	6,9
Mai	7,8
Juin	9,0
Juillet	8,0
Août	6,7
Septembre	6,8
Octobre	8,2
Novembre	7,8
Décembre	8,2
<b>TOTAL</b>	<b>91,5</b>

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

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel du prélèvement d'eau destinée à l'usage industriel de l'année 2021.

	Prélèvement d'eau (en m <sup>3</sup> )
Janvier	13034
Février	14272
Mars	10416
Avril	11918
Mai	31466
Juin	29153
Juillet	19014
Août	26155
Septembre	11988
Octobre	15642
Novembre	29674
Décembre	28391
<b>TOTAL</b>	<b>241123</b>

### 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 2021.

	Prélèvement d'eau (en m <sup>3</sup> )
Janvier	5089
Février	4161
Mars	5400
Avril	4131
Mai	4891
Juin	5711
Juillet	7161
Août	4827
Septembre	4880
Octobre	4643
Novembre	4630
Décembre	3913
<b>TOTAL</b>	<b>59436</b>

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

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

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

Année	Milieu	Volume (milliers de m <sup>3</sup> )
2019	Eau douce superficielle	100380
2020		102862
2021		91768
Prévisionnel 2021		100000
2019	Eau douce souterraine	54
2020		97
2021		59
Prévisionnel 2021		60

**Commentaires :** Le volume annuel d'eau prélevé est cohérent au prévisionnel qui avait été défini pour l'année 2021, compte tenu du temps effectif de fonctionnement des tranches.

## 2. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des débits instantanés et des volumes d'eau prélevés cette année avec les valeurs limites de prélèvement fixées par 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	3,75	2,97	m <sup>3</sup> / s
	Volume journalier	605 000	324 123	256 664	m <sup>3</sup>
	Volume annuel	127 000 000	91 768 962 *	S.O.	m <sup>3</sup>
Eau douce souterraine	Débit instantané	0,012	0,0139	0,0083	m <sup>3</sup> / s
	Volume journalier	1000	811	163	m <sup>3</sup>
	Volume annuel	145 000	59 436 *	S.O.	m <sup>3</sup>

\*Correspond au volume annuel prélevé

**Commentaires :** Les valeurs maximales observées pour le prélèvement d'eau douce superficielle sont inférieures aux limites autorisées.

Un dépassement du débit instantané calculé pour le prélèvement d'eau douce souterraine a été observé en février en raison de l'incrémentation du compteur d'eau. Une action de réduction du pas de mesure du compteur et du temps de fonctionnement des pompes a été réalisée.

## 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 prélèvements en Loire en 2021, au-delà des opérations classiques de maintenance sur ces matériels et de la réalisation d'une opération de dragage en Janvier.

L'année 2021 n'a pas été concernée par des actions de maintenance (hors maintenance programmée) sur les équipements et les ouvrages de prélèvements en nappe phréatique, 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.

Les volumes d'eau en nappe prélevés dans le cadre des travaux sont présentés dans le tableau ci-après, comparaison avec les valeurs limites de la décision ASN n°2015-DC-0499.

Limites de prélèvement			Prélèvement	
Prescriptions	Valeur	Unité	Valeur maximale	Valeur moyenne
Débit instantané	75 <sup>(1)</sup>	m <sup>3</sup> / h	53	31,7
Volume journalier	600 <sup>(1)</sup>	m <sup>3</sup>	302,5	138,3
Volume annuel	3000 <sup>(1)</sup>	m <sup>3</sup>	2212,3	

*(1) Les volumes maximaux annuel et journalier et le débit maximal instantané sont portés respectivement à 23 000 m<sup>3</sup> et 2 200 m<sup>3</sup>, et à 135 m<sup>3</sup>/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 du 26 juin 2012 susvisée*

**Commentaires :** Les valeurs maximales obtenues 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 en Loire en 2021.

Excepté pour les prélèvements d'eau effectués en nappe pour les essais de fonctionnement du pompage d'appoint ultime, le CNPE n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de prélèvement d'eau en nappe en 2021.

## Partie III – Restitution et consommation d'eau

### I. Restitution d'eau

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

		Restitution d'eau			
		Eau de refroidissement	Rejets radioactifs	Rejets industriels	Unités
Restitution mensuelle	Janvier	5642,72	1,388	6,2	milliers de m <sup>3</sup>
	Février	5444,25	1,737	7,8	
	Mars	4631,65	2,436	6,0	
	Avril	5437,10	1,28	6,9	
	Mai	6074,41	1,802	12,2	
	Juin	6190,42	3,088	8,1	
	Juillet	6360,09	2,675	8,2	
	Août	6404,05	2,225	11,0	
	Septembre	5612,98	2,896	6,4	
	Octobre	6699,74	1,528	6,3	
	Novembre	6457,67	1,436	15,9	
	Décembre	5707,44	3,723	18,5	
TOTAL	Restitution au milieu aquatique	70 802			milliers de m <sup>3</sup>
	Pourcentage de restitution d'eau au milieu aquatique par rapport au prélèvement	77,2			%

## II. Consommation d'eau

La consommation d'eau correspond à la différence entre la quantité d'eau prélevée et la quantité d'eau restituée au milieu aquatique. Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel de consommation d'eau de l'année 2021.

	Consommation d'eau (en milliers de m <sup>3</sup> )
Janvier	2789
Février	2152
Mars	1454
Avril	1447
Mai	1792
Juin	2809
Juillet	1649
Août	319
Septembre	1228
Octobre	1516
Novembre	1381
Décembre	2492
<b>TOTAL</b>	<b>21027</b>

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

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



## I. Rejets d'effluents à l'atmosphère

### 1. Rejets d'effluents à l'atmosphère radioactifs

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 est très majoritairement issu de l'activation neutronique d'éléments tels que le bore 10 et le lithium 6 présents dans le fluide primaire.
- Le carbone 14 présent dans les rejets des CNPE est produit essentiellement par activation de l'oxygène 17 présent dans l'eau du circuit primaire. Une part plus faible est produite par l'activation de l'azote 14 dissous dans l'eau du circuit primaire.
- Les iodes présents dans les rejets d'effluents radioactifs du CNPE (principalement l'iode 131 et l'iode 133) sont des produits de fission, créés dans le combustible par fission des atomes d'uranium ou de plutonium.
- Les autres produits de fission (PF) et produits d'activation (PA) émetteurs  $\beta$  ou  $\gamma$ , correspondent principalement au césium et au cobalt.

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 décision<sup>1</sup> donnent lieu à une comptabilisation d'activité rejetée égale au SD.

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

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

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

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

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

---

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

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

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

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

### c. Cumul mensuel

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

	<sup>41</sup> Ar (TBq)	<sup>85</sup> Kr (TBq)	<sup>131m</sup> Xe (TBq)	<sup>133</sup> Xe (TBq)	<sup>135</sup> Xe (TBq)	<sup>131</sup> I (GBq)	<sup>133</sup> I (GBq)	<sup>58</sup> Co (GBq)	<sup>60</sup> Co (GBq)	<sup>134</sup> Cs (GBq)	<sup>137</sup> Cs (GBq)
Janvier	1,73E-03	-	-	1,82E-02	8,95E-03	1,42E-04	1,68E-02	3,39E-05	4,43E-05	2,46E-05	3,04E-05
Février	3,24E-03	1,69E-06	7,61E-07	1,74E-02	7,84E-03	1,21E-04	6,56E-04	3,44E-05	4,55E-05	2,64E-05	3,31E-05
Mars	7,74E-04	-	-	2,08E-02	9,17E-03	1,22E-04	8,00E-04	4,91E-05	5,79E-05	2,68E-05	3,52E-05
Avril	9,52E-04	1,93E-06	7,05E-07	1,96E-02	9,06E-03	1,25E-04	8,13E-04	3,97E-05	5,86E-05	2,85E-05	3,61E-05
Mai	1,54E-05	-	-	1,76E-02	8,08E-03	1,14E-04	6,72E-04	3,47E-05	4,87E-05	2,44E-05	3,02E-05
Juin	2,28E-03	2,19E-06	3,56E-07	1,58E-02	7,33E-03	4,93E-04	5,12E-04	2,78E-05	4,16E-05	1,96E-05	2,43E-05
Juillet	1,58E-03	1,03E-04	-	1,76E-02	8,38E-03	2,24E-04	6,14E-04	3,22E-05	4,78E-05	2,28E-05	2,86E-05
Août	2,02E-04	5,56E-05	3,83E-07	1,88E-02	9,02E-03	3,66E-04	5,76E-04	3,05E-05	4,04E-05	2,23E-05	2,79E-05
Septembre	6,18E-04	6,85E-05	1,08E-05	1,66E-02	7,66E-03	9,94E-05	5,52E-04	3,11E-05	4,47E-05	2,14E-05	2,36E-05
Octobre	1,88E-03	1,03E-04	2,34E-05	1,74E-02	8,45E-03	1,02E-04	6,01E-04	3,20E-05	4,86E-05	1,97E-05	2,93E-05
Novembre	1,63E-03	5,35E-04	9,35E-05	1,63E-02	7,56E-03	1,09E-04	5,15E-04	2,89E-05	4,41E-05	2,06E-05	2,54E-05
Décembre	3,33E-03	3,10E-04	5,41E-05	2,24E-02	1,03E-02	1,03E-04	5,39E-04	3,07E-05	3,84E-05	2,10E-05	2,64E-05
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>1,82E-02</b>	<b>1,18E-03</b>	<b>1,84E-04</b>	<b>2,18E-01</b>	<b>1,02E-01</b>	<b>2,12E-03</b>	<b>2,37E-02</b>	<b>4,05E-04</b>	<b>5,61E-04</b>	<b>2,78E-04</b>	<b>3,50E-04</b>

	Volumes rejetés (m <sup>3</sup> )	Activités gaz rares (TBq)	Activité Tritium (TBq)	Activité Carbone 14 mesurée (GBq)	Activité Carbone 14 calculée (GBq)	Activités Iodes (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)
Janvier	2,11E+08	2,89E-02	3,29E-02	4,06E+01	3,15E+01	1,70E-02	1,33E-04
Février	2,00E+08	2,85E-02	5,18E-02		2,35E+01	7,77E-04	1,39E-04
Mars	2,33E+08	3,08E-02	7,47E-02		1,57E+01	9,22E-04	1,69E-04
Avril	2,28E+08	2,96E-02	5,65E-02	1,18E+00	1,51E+01	9,38E-04	1,63E-04
Mai	2,15E+08	2,57E-02	4,28E-02		1,51E+01	7,85E-04	1,38E-04
Juin	1,63E+08	2,54E-02	5,07E-02		2,58E+01	1,00E-03	1,13E-04
Juillet	1,94E+08	2,77E-02	1,10E-01	7,29E+01	1,55E+01	8,38E-04	1,31E-04
Août	1,90E+08	2,80E-02	7,58E-02		2,29E+00	9,41E-04	1,21E-04
Septembre	1,74E+08	2,50E-02	9,22E-02		1,13E+01	6,51E-04	1,21E-04
Octobre	1,88E+08	2,78E-02	4,66E-02	3,19E+01	1,57E+01	7,03E-04	1,29E-04
Novembre	1,69E+08	2,61E-02	2,83E-02		1,54E+01	6,23E-04	1,19E-04
Décembre	1,79E+08	3,64E-02	2,42E-02		2,77E+01	6,42E-04	1,17E-04
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>2,35E+09</b>	<b>3,40E-01</b>	<b>6,87E-01</b>	<b>1,47E+02</b>	<b>2,15E+02</b>	<b>2,58E-02</b>	<b>1,59E-03</b>

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

Il a été vérifié que les rejets au niveau des cheminées annexes ne présentent pas d'activité volumique bêta globale d'origine artificielle supérieure à celle naturellement présente dans l'air ambiant.

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

	Volumes rejetés (m <sup>3</sup> )	Activité Tritium (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)	Activités émetteurs Alpha (GBq)
Janvier	3,31E+07	2,80E+00	1,73E-01	2,44E-04	7,14E-07
Février	2,93E+07	3,44E+00			7,72E-07
Mars	3,22E+07	2,53E+00			7,45E-07
Avril	3,15E+07	2,00E+00	2,79E-01	2,32E-04	7,39E-07
Mai	3,22E+07	7,00E+00			6,62E-07
Juin	2,99E+07	1,67E+00			5,68E-07
Juillet	2,97E+07	2,72E+00	1,03E-01	2,38E-04	1,32E-06
Août	3,00E+07	2,40E+00			7,11E-07
Septembre	2,88E+07	2,56E+00			6,91E-07
Octobre	3,14E+07	2,26E+00	1,14E-01	2,99E-04	6,92E-07
Novembre	3,17E+07	1,49E+00			8,27E-07
Décembre	3,08E+07	3,80E+00			7,86E-07
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>3,71E+08</b>	<b>2,98E+01</b>	<b>6,69E-01</b>	<b>1,01E-03</b>	<b>9,22E-06</b>

	<sup>137</sup> Cs (GBq)	<sup>60</sup> Co (GBq)
Janvier	7,16E-06	1,12E-05
Février	6,62E-06	1,01E-05
Mars	7,64E-06	1,24E-05
Avril	7,58E-06	1,16E-05
Mai	7,44E-06	1,09E-05
Juin	5,16E-05	6,74E-05
Juillet	6,63E-06	1,11E-05
Août	7,26E-06	1,17E-05
Septembre	6,88E-06	1,05E-05
Octobre	7,01E-06	1,16E-05
Novembre	6,29E-06	1,09E-05
Décembre	7,20E-06	1,15E-05
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>1,29E-04</b>	<b>1,91E-04</b>

#### d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

Année	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)				
	Gaz rares	Tritium	Carbone 14	Iodes	Autres produits de fission et d'activation
2019	339	770	253	0,00996	0,00187
2020	344	688	282	0,01035	0,00182
2021	340	687	215	0,0258	0,00159
Prévisionnel 2021	400	800	300	0,01	0,002

**Commentaires :** Les rejets radioactifs à l'atmosphère sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2021, sauf pour les rejets d'iodes qui sont supérieurs. En effet, la mesure du prélèvement Iode du mois de Janvier 2021 a été réalisée avec une méthode différente dont le seuil de détection est plus élevé. L'activité rejetée étant calculée en multipliant le seuil de détection par le volume d'effluents gazeux rejeté sur la période, les rejets calculés pour le mois de Janvier 2021 sont supérieurs au prévisionnel.

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2021 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2021 pour les autres 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
2019	48	0,905	0,00147	0,0000127
2020	37,4	0,612	0,00107	0,00000971
2021	29,8	0,669	0,00101	0,00000922
Prévisionnel 2021	70	3	0,03	0,000008

**Commentaires :** Les rejets radioactifs à l'atmosphère sont globalement cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2021.

### e. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2021 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 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)	30000	340 *	S.O.
	Débit instantané (Bq/s)	10 <sup>8</sup>	2,18E+06	1,91E+06
Carbone 14	Activité annuelle rejetée (GBq)	1100	215 *	S.O.
Tritium	Activité annuelle rejetée (GBq)	4000	687 *	S.O.
	Débit instantané (Bq/s)	10 <sup>7</sup>	5,54E+04	2,20E+04
Iodes	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,6	0,0258 *	S.O.
	Débit instantané (Bq/s)	1000	7,57E-01	8,61E-01
Autres produits de fission et produits d'activation	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,4	0,00159 *	S.O.
	Débit instantané (Bq/s)	900	5,79E-02	5,14E-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 2021.

Le tableau ci-après permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2021 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	0,669 *	S.O.
Tritium	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	4000	29,8	S.O.
	Cheminée SLA-BPA1	Débit instantané (Bq/s)	3,00E+03	3,10E+01	7,83E+00
	Cheminée SLA-BPA2	Débit instantané (Bq/s)	1,00E+06	3,90E+03	7,26E+02
Autres produits de fission et produits d'activation	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,1	1,01E-03 *	S.O.
	Cheminée SLA-BPA1	Débit instantané (Bq/s)	75	4,50E-03	3,54E-03
	Cheminée SLA-BPA2	Débit instantané (Bq/s)	75	1,30E-01	6,21E-03
Alpha	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	5,00E-05	9,22E-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 2021.

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

Les rejets radioactifs diffus ont notamment pour origine :

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

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

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

	Volume (m <sup>3</sup> )	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		Autres rejets	
		Tritium (Bq)	Iodes (Bq)	Tritium (Bq)	Iodes (Bq)	Tritium (Bq)	Iodes (Bq)
Janvier	5,47E+03	0	0	2,43E+07	0	0	0
Février	7,60E+03	0	0	1,10E+07	0	0	0
Mars	9,08E+03	0	0	4,67E+07	0	0	0
Avril	8,32E+03	0	0	2,99E+07	0	0	0
Mai	1,14E+04	0	0	2,53E+07	0	0	0
Juin	8,57E+03	0	0	3,46E+07	0	0	0
Juillet	9,91E+03	0	0	3,36E+07	0	0	0
Août	1,03E+04	0	0	1,98E+07	0	0	0
Septembre	1,08E+04	0	0	5,18E+07	0	0	0
Octobre	7,60E+03	0	0	3,76E+07	0	0	0
Novembre	1,44E+04	0	0	1,37E+07	0	0	0
Décembre	1,96E+04	0	0	2,56E+07	0	0	0
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>1,23E+05</b>	0	0	<b>3,54E+08</b>	0	0	0

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

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

- Le lessivage chimique des générateurs de vapeur : l'encrassement des générateurs de vapeur peut nécessiter un lessivage chimique à l'origine de rejets chimiques à l'atmosphère (ammoniac...) qui nécessitent une autorisation administrative ; ces rejets sont, soit mesurés, soit estimés par calcul en fonction des quantités de produits chimiques utilisés.
- Les émissions des groupes électrogènes de secours : les groupes électrogènes de secours composés de moteurs diesel, les Turbines à Combustion (TAC) et les Diesels d'Ultime Secours (DUS) fonctionnant au gasoil sont destinés uniquement à alimenter des systèmes de sécurité et/ou à prendre le relais de l'alimentation électrique principale en cas de défaillance de celle-ci. Ils ont donc un rôle majeur en termes de sûreté nucléaire. Les émissions des gaz de combustion (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) de ces matériels de petites puissances sont faibles sachant qu'ils ne fonctionnent que peu de temps (moins de 50 h/an par diesel) lors des essais périodiques ou d'incidents.

- Les émissions de fluides frigorigènes. En effet, un CNPE est équipée de groupes frigorifiques pour assurer la production d'eau glacée et pour la réfrigération des locaux techniques et administratifs. Ces matériels utilisent des produits pouvant accroître l'effet de serre. Le fonctionnement des matériels et les opérations de maintenance conduisent à des émissions de fluides frigorigène. Ces émissions sont réglementairement déclarées et comptabilisées et des actions sont prises pour remédier à la situation.
- Les opérations de maintenance effectuées dans les bâtiments réacteur des CNPE : Lors de ces opérations, une quantité plus ou moins importante de calorifuges est changée par des produits neufs. Pendant les phases de montée en température correspondant à la remise en service des installations, certains types de calorifuges émettent, par dégradation thermique, des vapeurs formolées dans l'enceinte, qui peuvent être à l'origine de rejets de monoxyde de carbone.
- Le conditionnement de circuit à l'arrêt : à l'occasion des arrêts de tranche pour une durée supérieure à une semaine, la conservation humide des générateurs de vapeur permet de s'affranchir du risque de corrosion des matériaux constitutifs et de disposer d'une barrière biologique (écran d'eau) pour réaliser des travaux environnants. Les générateurs de vapeur sont alors remplis avec de l'eau déminéralisée conditionnée à l'hydrazine et additionnée avec de l'ammoniaque dans des proportions définies dans les spécifications chimiques de conservation à l'arrêt.

#### f. Rejets d'oxyde de soufre et d'azote

La quantité annuelle évaluée d'oxyde de soufre (SOx) rejetée dans l'atmosphère lors du fonctionnement périodique des groupes électrogènes de secours (moteurs Diesels) ayant fonctionné pendant 150 heures et diesels d'ultime secours (DUS) ayant fonctionné pendant 16 heures, au total sur les 2 tranches pour 2021 est de :

Paramètre	Unité	Groupes électrogènes	DUS	TOTAL
SOx	kg	2	0	2

#### g. 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.

#### h. 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	133,4
Ethanolamine		4,6

#### **i. 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 <sub>2</sub>
Chloro-fluoro-carbone (CFC)	0	0
Hydrogéo-chloro-fluor-carbone (HCFC)	0	0
Hydrogéo-fluoro-carbone (HFC)	27,06	46,3
Hexafluorure de soufre (SF <sub>6</sub> )	0	0
<b>Total des émissions de GES en tonne équivalent CO<sub>2</sub></b>		<b>46,3</b>

Dans le respect de la réglementation relative aux systèmes d'échanges de quota d'émissions de gaz à effet de serre, le CNPE déclare chaque année les émissions de CO<sub>2</sub> provenant de l'activité de combustion de combustibles dans les installations dont la puissance thermique totale de combustion est supérieure à 20 MW. Pour l'année 2021, les émissions liées à cette activité représentent 272 tonne équivalent CO<sub>2</sub>.

L'équivalent CO<sub>2</sub> total des émissions de GES du CNPE constituées des pertes de fluides frigorigène et SF<sub>6</sub> et de la combustion des diesels de secours, représente 0,035 gCO<sub>2</sub> / kWh électrique produit, la production annuelle nette d'électricité ayant été de 9 TWh sur l'année 2021.

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

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

#### **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 2021.

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

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

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

Les effluents liquides oxygénés recueillis dans les puisards des différents locaux sont dirigés vers le circuit de Traitement des Effluents Usés (TEU) où ils sont traités. Collectés sélectivement suivant plusieurs catégories (résiduaire, 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. Sur les installations en déconstruction de Saint-Laurent A, il n'existe pas d'autorisation de rejet d'effluents liquides.

#### **a. Règles spécifiques de comptabilisation**

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

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

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

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

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

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

---

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

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

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

### c. Cumul mensuel

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

	<sup>131</sup> I (MBq)	<sup>54</sup> Mn (MBq)	<sup>63</sup> Ni (MBq)	<sup>58</sup> Co (MBq)	<sup>60</sup> Co (MBq)	<sup>110m</sup> Ag (MBq)	<sup>123m</sup> Te (MBq)	<sup>124</sup> Sb (MBq)	<sup>125</sup> Sb (MBq)	<sup>134</sup> Cs (MBq)	<sup>137</sup> Cs (MBq)	<sup>51</sup> Cr (MBq)
<b>Janvier</b>	4,02E-01	5,27E-01	1,29E+00	7,05E-01	8,15E+00	1,45E+01	2,58E-01	9,74E-01	1,23E+00	4,58E-01	5,41E-01	0
<b>Février</b>	5,30E-01	6,78E-01	2,26E+00	7,18E-01	1,62E+01	3,03E+01	3,32E-01	1,43E+00	2,29E+00	6,00E-01	7,29E-01	0
<b>Mars</b>	7,31E-01	9,75E-01	3,65E+00	4,95E+00	2,35E+01	2,12E+01	4,68E-01	1,28E+00	8,18E+00	8,43E-01	1,02E+00	0
<b>Avril</b>	3,71E-01	4,86E-01	7,04E-01	2,52E+00	7,92E+00	1,35E+01	3,61E-01	1,28E+00	1,39E+00	4,30E-01	5,12E-01	1,81E+00
<b>Mai</b>	5,67E-01	7,43E-01	9,73E-01	2,62E+00	1,25E+01	1,91E+01	9,76E-01	3,66E+01	8,54E+00	6,12E-01	7,57E-01	0
<b>Juin</b>	8,36E-01	1,15E+00	1,67E+00	3,29E+00	5,67E+00	2,66E+01	7,35E-01	5,38E+00	4,00E+00	9,47E-01	1,17E+00	0
<b>Juillet</b>	7,88E-01	1,06E+00	1,42E+00	2,41E+00	1,35E+01	4,87E+01	4,63E-01	3,74E+00	2,97E+00	1,06E+00	1,12E+00	0
<b>Août</b>	6,65E-01	9,26E-01	1,49E+00	8,42E+00	2,23E+01	3,69E+01	3,96E-01	6,62E+00	3,05E+00	7,69E-01	9,36E-01	0
<b>Septembre</b>	8,45E-01	1,12E+00	3,22E+00	5,53E+00	1,04E+01	4,22E+01	1,03E+00	5,75E+00	3,89E+00	9,71E-01	1,17E+00	0
<b>Octobre</b>	5,59E-01	7,34E-01	1,05E+00	2,59E+00	1,12E+01	3,03E+01	1,19E+00	7,49E+00	3,01E+00	6,24E-01	7,80E-01	0
<b>Novembre</b>	4,22E-01	5,70E-01	2,13E+00	1,29E+00	7,29E+00	1,91E+01	2,44E-01	2,73E+00	1,63E+00	4,75E-01	8,30E-01	0
<b>Décembre</b>	1,19E+00	1,65E+00	1,56E+00	1,65E+00	4,13E+00	2,22E+01	7,10E-01	1,82E+00	3,70E+00	1,42E+00	1,69E+00	0
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>7,91E+00</b>	<b>1,06E+01</b>	<b>2,14E+01</b>	<b>3,67E+01</b>	<b>1,43E+02</b>	<b>3,25E+02</b>	<b>7,16E+00</b>	<b>7,50E+01</b>	<b>4,39E+01</b>	<b>9,21E+00</b>	<b>1,12E+01</b>	<b>1,81E+00</b>



	Volumes rejetés (m <sup>3</sup> )	Activité Tritium (MBq)	Activité Carbone 14 (MBq)	Activités Iodes (MBq)	Activités Autres PF et PA (MBq)
Janvier	5,47E+03	2,11E+06	3,38E+03	4,02E-01	2,73E+01
Février	7,60E+03	6,31E+05	1,65E+03	5,30E-01	5,32E+01
Mars	6,51E+03	2,03E+06	3,71E+02	7,31E-01	6,24E+01
Avril	5,98E+03	1,73E+05	2,74E+01	3,71E-01	3,02E+01
Mai	1,14E+04	2,19E+06	6,94E+02	5,67E-01	8,24E+01
Juin	8,57E+03	2,10E+06	1,64E+03	8,36E-01	4,89E+01
Juillet	6,87E+03	1,20E+06	1,81E+03	7,88E-01	7,51E+01
Août	1,02E+04	1,23E+06	5,43E+02	6,65E-01	8,04E+01
Septembre	6,13E+03	6,97E+05	7,88E+01	8,45E-01	7,21E+01
Octobre	5,63E+03	9,94E+05	6,48E+01	5,59E-01	5,79E+01
Novembre	1,42E+04	5,56E+05	1,65E+02	4,22E-01	3,41E+01
Décembre	1,92E+04	1,26E+06	4,07E+02	1,19E+00	3,90E+01
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>1,08E+05</b>	<b>1,52E+07</b>	<b>1,08E+04</b>	<b>7,91E+00</b>	<b>6,63E+02</b>

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 2021 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2021 pour les tranches en fonctionnement.

	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)			
	Tritium	Carbone 14	Iodes	Autres PA et PF
2019	24600	11	0,00757	0,342
2020	22793	14,9	0,00848	0,322
2021	15175	10,8	0,00791	0,663
Prévisionnel 2021	35000	10	0,01	0,4

**Commentaires :** Les rejets radioactifs liquides sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2021, sauf pour les rejets de Carbone 14. Le dépassement s'explique par la durée de fonctionnement plus longue en 2021 que celle prévue lors de l'établissement du prévisionnel en raison du décalage d'un arrêt programmé.

### e. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2021 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 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	15175
Carbone 14	Activité annuelle rejetée (GBq)	130	11
Iodes	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,2	0,00791
Autres PA et PF	Activité annuelle rejetée (GBq)	20	0,663

**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 2021 sont donnés dans le tableau suivant (valeurs moyennes et maximales).

Paramètre analysé	Activité volumique horaire à mi-rejet			Activité volumique : moyenne journalière			
	Valeur moyenne mesurée en 2021	Valeur maximale mesurée en 2021	Limite réglementaire	Valeur moyenne mesurée en 2021	Valeur maximale mesurée en 2021	Limite réglementaire	
Eau filtrée	Activité alpha globale	0,024 Bq/L	0,061 Bq/L	-	-	-	
	Activité bêta globale	0,14 Bq/L	0,29 Bq/L	2 Bq/L	-	-	
	Tritium	22,5 Bq/L	68 Bq/L	280 Bq/L	16,8 Bq/L	77 Bq/L	140 <sup>(1)</sup> / 100 <sup>(2)</sup> Bq/L
	Potassium	3,63 mg/L	5,9 mg/L	-	-	-	-
Matières en suspension	Activité bêta globale	0,027 Bq/kg sec	0,11 Bq/kg sec	-	-	-	

(1) en présence de rejets radioactifs / (2) en l'absence de rejets radioactifs

**Commentaires** : Les mesures de surveillance dans les eaux de surface pour l'année 2021 sont cohérentes avec les valeurs attendues du fait des rejets d'effluents autorisés du CNPE. Les mesures d'activité bêta globale et de l'activité en tritium dans l'eau sont 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 « averse » 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.
- L'éthanolamine ( $C_2H_7NO$ ) et l'ammoniaque ( $NH_4OH$ ) sont des amines volatiles qui peuvent être employées, seules ou en combinaison, pour maintenir le bon pH dans le circuit secondaire. Elles complètent l'action de l'hydrazine. Le mode de conditionnement du circuit secondaire a évolué avec les années pour tenir compte du retour d'expérience interne et étranger. L'éthanolamine ( $C_2H_7NO$ ), utilisée sur quelques CNPE, constitue une alternative intéressante à la morpholine, en particulier pour la protection des pièces internes des générateurs de vapeur et des purges des sècheurs-surchauffeurs de la turbine.
- le phosphate trisodique ( $Na_3PO_4$ ) : comme l'hydrazine, le phosphate est utilisé pour le conditionnement des circuits de refroidissement intermédiaires.
- les détergents : ces produits sont régulièrement utilisés pour le nettoyage des locaux industriels ; qu'ils soient en ou hors zone contrôlée. Ils sont également utilisés à la laverie du CNPE pour le nettoyage des tenues d'intervention.

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 (NH<sub>4</sub>OH),
- 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 VTR issue des bases de données de référence n'est associée à cette substance.
- Les produits de dégradation de l'éthanolamine sont constitués des ions acétates, formiates, glycolates et oxalates, ainsi que de méthylamine et d'éthylamine. Il s'agit de substances irritantes voire corrosives, qui sont faiblement toxiques dans les conditions de rejet. Aucune VTR issue des bases de données de référence n'est associée à ces substances.

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

#### **b. Règles spécifiques de comptabilisation**

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

### c. Rejets d'effluents liquides chimiques via l'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)
<b>Janvier</b>	4,27E+01	1,53E+02	1,53E+02	1,39E+00	4,05E-01	0	1,61E-02	4,11E+01	7,92E+01	5,67E+01
<b>Février</b>	1,80E+02	1,06E+02	1,17E+02	1,74E+00	1,67E+00	0	3,13E-02	3,97E+01	8,52E+01	9,39E+00
<b>Mars</b>	5,05E+02	4,80E+01	7,08E+01	7,69E+00	1,62E-01	0	2,24E-02	8,04E+01	4,66E+01	3,14E+01
<b>Avril</b>	2,65E+02	5,19E+01	7,63E+01	1,28E+00	1,49E-01	0	2,05E-02	5,60E-01	7,57E+01	9,91E+00
<b>Mai</b>	3,60E+02	4,77E+01	7,11E+01	2,77E+00	3,00E-01	0	1,08E-01	7,07E+01	5,80E+01	9,50E+00
<b>Juin</b>	2,36E+02	5,77E+01	7,91E+01	1,69E+00	1,08E+00	0	3,79E-02	5,59E+01	7,56E+01	5,51E+00
<b>Juillet</b>	3,42E+02	5,63E+01	1,03E+02	2,68E+00	1,53E+00	0	6,16E-02	1,56E+02	7,90E+01	1,74E+01
<b>Août</b>	3,07E+02	1,21E+01	1,99E+01	4,78E+00	2,55E-01	0	6,32E-02	3,47E+01	8,88E+00	1,75E+01
<b>Septembre</b>	4,30E+02	1,48E+01	4,85E+01	4,13E+00	5,88E+00	0	2,64E-02	1,49E+02	1,07E+01	1,86E+01
<b>Octobre</b>	2,95E+02	7,47E+01	9,13E+01	1,53E+00	3,38E-01	0	3,93E-02	9,16E+01	4,11E+01	4,70E+00
<b>Novembre</b>	7,05E+01	4,94E+01	9,06E+01	1,44E+00	4,32E-01	0	6,87E-02	1,10E+02	9,03E+01	4,58E+00
<b>Décembre</b>	2,38E+01	7,78E+01	1,40E+02	5,31E+00	1,55E+00	0	1,52E-01	1,02E+02	1,87E+02	3,63E+00
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>3,06E+03</b>	<b>7,49E+02</b>	<b>1,06E+03</b>	<b>3,64E+01</b>	<b>1,38E+01</b>	<b>0</b>	<b>6,49E-01</b>	<b>9,32E+02</b>	<b>8,37E+02</b>	<b>1,89E+02</b>

	Métaux totaux (kg)	Cuivre (kg)	Zinc (kg)	Manganèse (kg)	Nickel (kg)	Titane (kg)	Chrome (kg)	Fer (kg)	Aluminium (kg)
Janvier	7,46E-01	1,48E-01	1,60E-01	2,20E-02	1,30E-02	2,70E-02	1,30E-02	3,55E-01	5,50E-02
Février	2,61E+00	6,66E-01	2,08E-01	7,30E-02	1,90E-02	3,80E-02	1,90E-02	1,18E+00	4,03E-01
Mars	9,36E+00	2,51E-01	2,96E-01	3,41E-01	1,60E-02	1,59E-01	1,60E-02	5,30E+00	2,99E+00
Avril	1,37E+00	1,51E-01	1,10E-01	8,10E-02	1,50E-02	2,90E-02	1,50E-02	7,47E-01	2,24E-01
Mai	3,15E+00	1,00E+00	2,22E-01	1,64E-01	3,60E-02	6,80E-02	2,90E-02	1,14E+00	4,88E-01
Juin	1,92E+00	3,28E-01	3,45E-01	1,17E-01	2,20E-02	4,20E-02	2,20E-02	7,63E-01	2,76E-01
Juillet	2,55E+00	1,31E+00	1,94E-01	1,19E-01	2,10E-02	4,00E-02	2,10E-02	5,99E-01	2,48E-01
Août	2,31E+00	7,87E-01	1,62E-01	1,01E-01	2,60E-02	6,90E-02	2,60E-02	8,47E-01	2,91E-01
Septembre	1,48E+00	2,91E-01	1,29E-01	9,70E-02	1,50E-02	4,50E-02	1,50E-02	7,07E-01	1,83E-01
Octobre	1,73E+00	4,75E-01	1,34E-01	9,20E-02	1,10E-02	2,10E-02	1,10E-02	6,42E-01	9,30E-02
Novembre	1,43E+00	1,14E-01	1,15E-01	1,32E-01	3,60E-02	7,10E-02	3,60E-02	6,90E-01	2,34E-01
Décembre	1,48E+00	8,50E-02	7,50E-02	6,60E-02	4,90E-02	9,90E-02	4,90E-02	8,40E-01	1,96E-01
<b>TOTAL ANNUEL</b>	3,00E+01	<b>5,60E+00</b>	<b>2,15E+00</b>	<b>1,41E+00</b>	<b>2,79E-01</b>	<b>7,08E-01</b>	<b>2,72E-01</b>	<b>1,38E+01</b>	<b>5,68E+00</b>

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)	Chlore libre (si chloration massive) (kg)	Sulfates (si chloration massive) (kg)
Janvier	0	0	0	0	0
Février	0	0	0	0	0
Mars	0	0	0	0	0
Avril	6,8	2,0	2969,2	0	0
Mai	43,4	7,7	7689,0	0	0
Juin	347,7	708,2	20022,1	0	0
Juillet	78,0	270,0	7713,2	0	0
Août	0,0	3,2	147,5	0	0
Septembre	13,8	41,1	7624,8	0	0
Octobre	22,7	12,8	4801,7	0	0
Novembre	0	0	0	0	0
Décembre	0	0	0	0	0
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>512,5</b>	<b>1045,0</b>	<b>50967,4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

## ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

Substances	Unité	2019	2020	2021	Prévisionnel 2021
Acide borique	kg	2196	3025	3057	3000
Ethanolamine	kg	33	18,8	13,8	20
Hydrazine	kg	1,2	0,51	0,65	1,1
Détergents	kg	81	38,8	36,4	40
Azote	kg	1123	1181	1061	1200
Phosphates	kg	167	47,2	188,8	150
Métaux totaux	kg	23	27,2	30	30

**Commentaires** : Les rejets d'effluents liquides chimiques issus des réservoirs T, S et Ex sont cohérents avec le prévisionnel 2021.

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 2021 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2021 pour Saint-Laurent B.

Paramètres	Unité	2019	2020	2021	Prévisionnel 2021
Chlorures	kg	72544	63704	56901	75000
Sodium	kg	57710	41273	36866	52000
AOX	kg	347	183	289	300
THM	kg	0	0	0	0
CRT	kg	578	707	945	1000
Ammonium	kg	295	118	512	120
Nitrites	kg	774	1021	1045	1000
Nitrates	kg	66940	57194	50967	67000
Chlore libre (si chloration massive)	kg	0	0	0	0
Sulfates (si chloration massive)	kg	0	0	0	0



**Commentaires** : La stratégie de traitement a été adaptée au cours de la campagne de traitement biocide sans entraîner de dépassement du prévisionnel, mis à part pour l'ammonium et les nitrites. Le prévisionnel des flux chimiques sur ces deux substances a été dépassé en raison d'évolutions de stratégies de traitement afin de limiter le développement de micro-organismes.

### iii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2021 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2015-DC-0498 pour les tranches en fonctionnement.

	Limite	Rejet		Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet
Substances	Concentration maximale ajoutée	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	1,5	0,40	1400	85	250	19	10000	3057
Morpholine	0,71	0	0	11	0	-	-	500	0
Ethanolamine	1,7	0,05	0,01	9,5	3,25	-	-	400	13,8
Hydrazine	0,1	0,001	0,0001	1,5	0,025	-	-	16	0,65
Détergents	3,5	0,022	0,0043	100	1,1	30	0,26	1500	36,4
Azote	3,5	1,1	0,43	54	25	-	-	6000	1061
Phosphates	1,2	0,39	0,074	90	22	10	4,9	710	188,8
Métaux totaux	0,14	0,088	0,012	-	-	-	-	62	30

L'article 5.3.1 de la décision ASN n°2017-DC-0588 demande une évaluation de la quantité annuelle de lithine rejetée. En 2021, la quantité de lithine rejetée par le CNPE de Saint-Laurent est évaluée à 21,02 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 2021 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2015-DC-0498 pour les tranches en fonctionnement.

Paramètres	Limite	Rejet		Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet
	Concentration maximale ajoutée	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
Chlorures	14	5,71	1,9	1740	1125	-	-	-	-
Sodium	20	4,15	1,57	1900	817,9	-	-	-	-
AOX	0,11	0,035	0,011	15	5,8	-	-	1000	289,1
THM	0,3	0	0	9,5	0	2,5	0	-	-
CRT	0,31	0,1	0,04	45	20,8	-	-	4500	944,8
Ammonium	3,5 <sup>(1)</sup>	0,1	0,03	70	24,4	-	-	-	-
Nitrites				70	64,3	-	-	-	-
Nitrates				1470	916,7	-	-	-	-
Chlore libre (si chloration massive)	0,1	0	0	-	-	-	-	-	-
Sulfates (si chloration massive)	41	0	0	1925	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 2021.

##### i. Mesures mensuelles

Le tableau ci-dessous présente les mesures mensuelles réalisées en 2021.

	Concentration en Hydrocarbures (mg/L)	pH
Janvier	<1.0E-1	7.5
Février	<1.0E-1	8
Mars	<1.0E-1	7.8
Avril	<1.0E-1	7.4
Mai	<1.0	7.1
Juin	<1.0E-1	7.2
Juillet	0,12	7.1
Août	<1.0E-1	7.3
Septembre	<1.0E-1	7
Octobre	<1.0E-1	7.7
Novembre	<1.0E-1	7.3
Décembre	<1.0E-1	7

##### ii. Comparaison aux limites

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

Paramètres	Limite	Rejet	Limite	Rejet	
	Concentration maximale ajoutée (mg/L)	Valeur maximale mesurée (mg/L)	pH	Valeur maximale mesurée	Valeur minimale mesurée
Hydrocarbures	5	0,12	-	-	-
pH	-	-	Entre 6 et 9	8.0	7.0

**Commentaires** : Les limites réglementaires de rejet ont été 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 2021.

#### i. Mesures mensuelles

Le tableau ci-dessous présente les mesures mensuelles réalisées en 2021.

	Concentration en Hydrocarbures (mg/L)
Janvier	<1.0E-1
Février	<1.0E-1
Mars	1,1
Avril	<1.0E-1
Mai	<1.0
Juin	<1.0E-1
Juillet	<1.0E-1
Août	<1.0E-1
Septembre	<1.0E-1
Octobre	<1.0E-1
Novembre	2,7
Décembre	<1.0E-1

#### ii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2021 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2015-DC-0498.

Paramètres	Limite	Rejet
	Concentration maximale ajoutée (mg/L)	Valeur maximale mesurée (mg/L)
Hydrocarbures	5	2,7

**Commentaires** : La limite réglementaire en hydrocarbures a été respectée.

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

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

### 4. Opérations exceptionnelles de rejets d'effluents liquides

Le CNPE de Saint-Laurent n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de rejet d'effluents liquides chimiques en 2021.

### III. Rejets thermiques

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

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

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

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

L'échauffement de l'eau (écart de température entre la sortie et l'entrée :  $\Delta T^{\circ}\text{C}$ ) 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 2021 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	8,3	2,9	5,1	0,1	0,02	0,05	8,2	3,9	5,7
Février	11,2	3,6	7,8	0,06	0,01	0,03	10,9	4,3	8,0
Mars	15,5	7,2	9,6	0,11	0,07	0,09	14,7	7,8	9,7
Avril	17	9,3	13,2	0,13	0,06	0,09	16,1	9,9	13,0
Mai	21,4	12,1	15,6	0,15	0,01	0,05	20	12,5	15,1
Juin	27,3	19	22,7	0,1	0	0,05	25,5	18,5	21,6
Juillet	25,2	18,6	21,2	0,06	0,01	0,04	24,2	18,6	20,8
Août	26,4	18,3	20,9	0,16	0,01	0,06	25,1	18,5	20,5
Septembre	24,4	15,8	20,3	0,19	0,03	0,1	23,7	16,3	20,1
Octobre	16,5	11,7	14	0,12	0,03	0,06	16,9	12,4	14,4
Novembre	13	4,5	8,8	0,07	0,01	0,04	13,4	5,5	9,4
Décembre	10	3,6	6,3	0,11	0,03	0,07	9,8	4,3	6,7

## 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	0,19

**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 2021.

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

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

## Partie V - 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<sup>er</sup> 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.

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

### I. Bilan annuel des colonisations en circuit

Les valeurs maximales observées en 2021 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 2021	Seuil d'action
<i>Legionella pneumophila</i>	8000	10 000 UFC / L
<i>Naegleria fowleri</i>	102	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*, mis à part au mois de septembre. La concentration en *Legionella pneumophila* n'a jamais atteint le seuil d'action de 10 000 UFC/L.



### **Bilan de dérives observées :**

<b>Paramètre</b>	<b>Dépassements</b>	<b>Nombre</b>	<b>Cause</b>	<b>Actions curatives et correctives engagées</b>	<b>Efficacité des mesures mises en œuvre</b>
Naegleria fowleri	102 Nf/L	1	Période d'été de la Loire – Potentiel démarrage tardif du traitement ou mise en service d'un bras mort comprenant un biofilm contaminé en Nf	Démarrage du traitement et renforcement de la consigne de traitement	Abattement rapide des concentrations vraisemblablement dû au traitement mis en œuvre

## **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 12 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 2021 :

<b>Paramètres</b>	<b>Unités de production</b>	
	<b>N°1</b>	<b>N°2</b>
Date de démarrage et d'arrêt du traitement préventif	Du 22 avril au 30 mai puis du 9 juin au 1 juillet	Du 31 mai au 01 août puis du 10 septembre au 14 octobre
Date d'arrêt de Tranche (début et fin)	Du 31 mai au 8 juin (lors des 3 arrêts automatique réacteur) et du 2 juillet jusqu'à la fin de la saison estivale pour l'arrêt de Tranche	Du 20 février au 30 mai puis du 2 août au 9 septembre (Arrêt pour économie combustible)
Nombre de jour de traitement continu	39	77
Nombre de jour de traitement séquentiel	23	21
Date de mise en œuvre du traitement renforcé	Du 27 avril au 3 mai	Du 2 au 8 juin puis entre le 11 et le 20 septembre
Nombre de jours de Chloration massive	0	0
CRT moyen sortie condenseur (mg/L)	0,25	0,25
Consommation réelle d'eau de Javel (m <sup>3</sup> )	400	
Consommation réelle d'ammoniaque (m <sup>3</sup> )	69	

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

## Partie VI - Surveillance de l'environnement

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

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

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

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

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

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

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

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

Ainsi, le CNPE réalise annuellement, sous le contrôle de l'ASN, plusieurs milliers d'analyses dont les résultats sont transmis à l'administration et publiés par EDF sur le site internet du CNPE. Les résultats des mesures de radioactivité réalisées dans le cadre de la surveillance réglementaire de l'environnement sont également accessibles en ligne gratuitement sur le site internet du Réseau National de Mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM - <http://www.mesure-radioactivite.fr>).

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

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

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

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

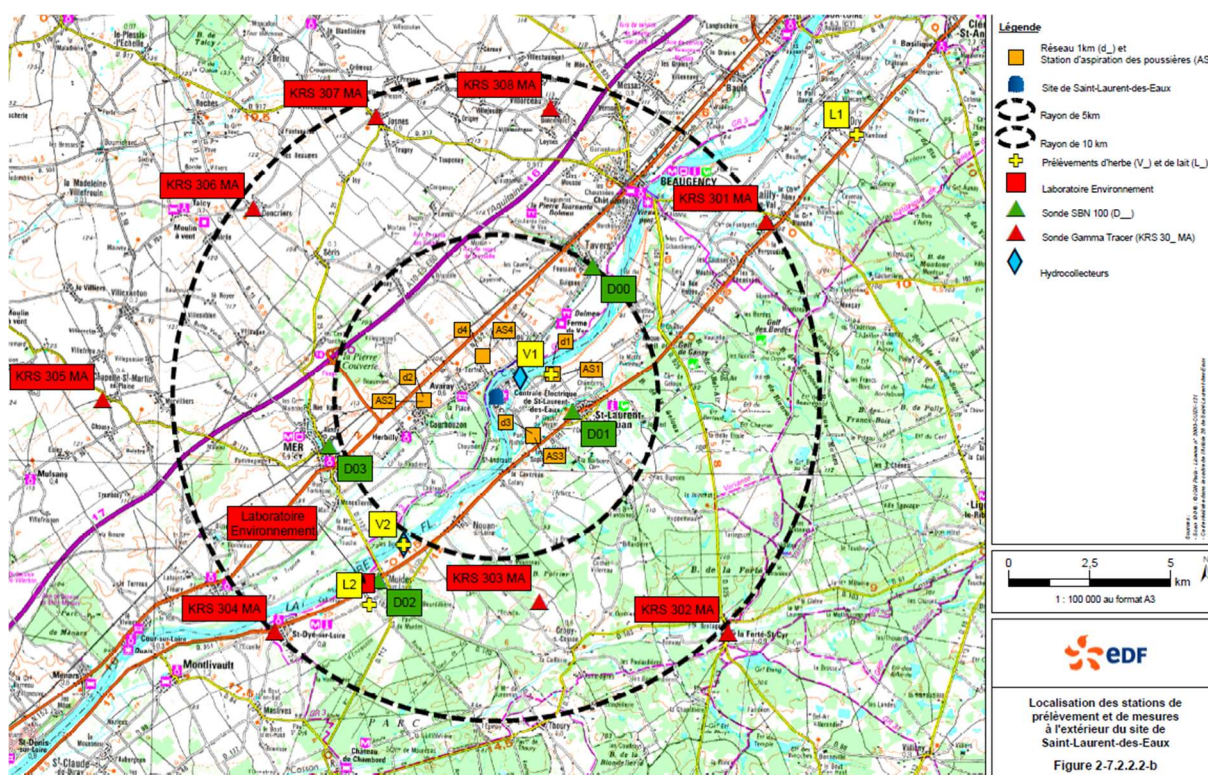
Les stations de prélèvements sont choisies en fonction de la rose des vents locale, des conditions hydrologiques, de la répartition de la population et de la disponibilité des échantillons dans l'environnement du CNPE. Les prélèvements collectés dans l'environnement terrestre sont répartis en distinguant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

Ces études radioécologiques ont permis de caractériser finement les niveaux de radioactivité d'origine naturelle et artificielle dans les différents compartiments de l'environnement autour du CNPE, et de préciser l'influence des rejets d'effluents liquides et à l'atmosphère. Les données collectées depuis plusieurs décennies ont montré que la radioactivité naturelle constitue la principale composante de la radioactivité dans l'environnement, et que la radioactivité artificielle provient majoritairement d'une rémanence des retombées des essais nucléaires atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl. Du fait de l'éloignement de ces

événements anciens et des efforts réalisés par EDF pour diminuer les rejets de ses installations nucléaires, le niveau de radioactivité dans l'environnement à proximité du CNPE a considérablement diminué depuis une vingtaine d'année.

## 1. Surveillance de la radioactivité ambiante

Le système de surveillance de la radioactivité ambiante s'articule autour de 4 réseaux de balises radiométriques (clôture, à 1 km, à 5 km et à 10 km) via la mesure en continu du débit de dose gamma ambiant. Les balises de chaque réseau sont implantées à intervalle régulier de façon à réaliser des mesures dans toutes les directions. Elles permettent l'enregistrement et la retransmission en continu du débit de dose gamma ambiant et de donner l'alerte en cas de dépassement du bruit de fond ambiant augmenté de 114 nSv/h. Les balises sont également équipées d'un système d'alarme signalant toute interruption de leur fonctionnement.



Carte du réseau des balises radiométriques

Les informations (débits de dose et états de fonctionnement) issues des balises sont envoyées en continu vers un centralisateur qui permet la visualisation et l'enregistrement des données. Les débits de dose moyens enregistrés par les différents réseaux de mesure pour l'année 2021 sont présentés dans le tableau suivant. Les débits de dose maximaux et les données relatives à l'année antérieure sont également présentés à titre de comparaison.

Réseau de mesure	Débit de dose moyen année 2021 (nSv/h)	Débit de dose max année 2021 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2020 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2019 (nSv/h)
Clôture	121,1	231,6	117,4	133
1 km	120,3	216	116,9	129
5 km	123	218,4	124,3	145
10 km	114	159,6	114	137

**Commentaires** : Pour les quatre réseaux, les débits de dose moyens enregistrés pour l'année 2021 sont de l'ordre de grandeur du bruit de fond et cohérentes avec les résultats des années antérieures.

## 2. Surveillance du compartiment atmosphérique

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

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

Les résultats des mesures réalisées sur le compartiment atmosphérique pour l'année 2021 sont donnés dans le tableau suivant.

Compartiment	Paramètres	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée	Limite réglementaire (pour chaque analyse)	
Poussières atmosphériques	Alpha globale (Bq/m <sup>3</sup> )	4,45E-05	1,80E-04	-	
	Bêta globale (Bq/m <sup>3</sup> )	5,84E-04	2,05E-03	0,01 Bq/m <sup>3</sup>	
	Spectrométrie gamma (Bq/m <sup>3</sup> )	<sup>58</sup> Co	1,23E-05	4,40E-05	-
		<sup>60</sup> Co	1,07E-05	5,20E-05	-
		<sup>134</sup> Cs	1,01E-05	4,90E-05	-
		<sup>137</sup> Cs	8,34E-06	3,90E-05	-
		<sup>40</sup> K	3,15E-04	9,00E-03	-
		<sup>131</sup> I	9,42E-04	3,00E-03	-
<sup>7</sup> Be	9,25E-03	9,50E-03	-		
Tritium atmosphérique (Bq/m <sup>3</sup> )		0,127	0,162	50 Bq/m <sup>3</sup>	
Eau de pluie	Alpha globale (Bq/L)	0,02	0,06	-	
	Bêta globale (Bq/L)	0,14	0,32	-	
	Tritium (Bq/L)	4,63	5,54	-	

**Commentaires** : Les mesures de surveillance du compartiment atmosphérique pour l'année 2021 sont cohérentes en moyenne avec les valeurs du bruit de fond. Les mesures de l'activité bêta globale et de l'activité en tritium atmosphérique sont très inférieures aux limites réglementaires.

La mesure d'activité alpha globale sur l'eau de pluie pour la première quinzaine de Février n'a pas pu être réalisée faute d'échantillon. Aucun rejet particulier n'a été réalisé sur cette période et l'absence de mesure sur une période limitée ne remet pas en cause le respect des limites réglementaires. A noter que cette absence de mesure a fait l'objet d'une information à l'Autorité de Sûreté Nucléaire.

### 3. Surveillance du milieu terrestre

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

Nature du prélèvement	Radionucléide	Périodicité	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée
Végétaux terrestres (Bq/kg sec)	<sup>58</sup> Co	Mensuelle	< 0,42	< 0,43
	<sup>60</sup> Co		< 0,43	< 0,47
	<sup>134</sup> Cs		< 0,41	< 0,43
	<sup>137</sup> Cs		0,4	0,55
	<sup>40</sup> K		871	1500
Lait (Bq/L)	<sup>58</sup> Co	Mensuelle	0,42	0,45
	<sup>60</sup> Co		< 0,4	< 0,45
	<sup>134</sup> Cs		< 0,48	< 0,49
	<sup>137</sup> Cs		< 0,4	< 0,48
	<sup>40</sup> K		52	69
	<sup>110</sup> Ag		< 0,48	< 0,54
	<sup>54</sup> Mn		< 0,39	< 0,41

**Commentaires** : Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment terrestre ainsi que leur interprétation pour l'année 2020 sont présentés dans le rapport du suivi radioécologique annuel, présenté en **annexe 2**.

### 4. Surveillance du milieu aquatique

Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment aquatique ainsi que leur interprétation pour l'année 2020 sont présentés dans le rapport du suivi radioécologique annuel, présenté en **annexe 2**.

### 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	27,6
Bêta global	Bq/L	0,294
Potassium	mg/L	5,5
Bêta global MES	Bq/L	0,429

## 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	-	7,7
Conductivité	$\mu\text{S} / \text{cm}$	581
Hydrocarbures totaux	mg / l	< 0,1
NTK		< 0,5
Métaux totaux		7,6
Phosphates		0,35
Nitrates		18
Chlorures		29
Sulfates		30
Sodium		24
AOX		0,01
COV		0,0

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, de nouveaux échanges ont eu lieu entre EDF et l'ASN pour préciser la stratégie de réhabilitation. Le dossier est en cours d'instruction.

Les résultats du suivi des eaux souterraines réalisé en 2021 au droit et en aval hydrogéologique de cette zone respectent la limite de qualité des eaux brutes fixée 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 des sols et 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 accessible à un traitement du marquage, 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 a été observée fin 2018 à la surface des eaux souterraines 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 5kg 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 2022.

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 2021 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)	11,3	10,4	10,5	10,7	9,3	8,4	7,4	9,3	7,7	9,4	10,7	11,4
Conductivité (µS/cm)	227	213	257	281	242	247	242	275	296	300	290	262
pH	7,7	7,7	7,9	8,4	8,1	8,4	7,8	8,3	7,8	7,9	8	7,9
Température	5,1	7,8	9,6	13,2	15,6	22,7	21,2	20,9	20,3	14	8,8	6,3

#### Commentaires :

- Indisponibilité des données de conductivité, pH et oxygène dissous du 16/01/2021 au 19/01/2021 puis du 27/01/2021 au 28/01/2021 suite à des défauts de pompage en lien avec des travaux de dragage sur la Loire.
- Indisponibilité des données de conductivité, pH et oxygène dissous du 01/02/2021 au 02/02/2021 puis du 10/03/2021 au 11/03/2021 suite à un défaut de pompage.
- Indisponibilité des données de conductivité, pH et oxygène dissous du 08/10/2021 au 10/10/2021 puis du 09/12/2021 au 15/12/2021 suite à un défaut de pompage.

Station rejet	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Oxygène dissous (mg/L)	8,9	8,6	8,7	8,3	8,8	7,2	7,5	8,1	7,8	9,1	10,6	8,9
Conductivité (µS/cm)	300	272	313	345	323	364	288	294	355	336	309	323
pH	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,6	8,3	8,4	8,3	8,4	8,4	8,4
Température	18,4	20,3	19,4	20,3	21	26,9	27,4	24,4	26,8	18,8	11,4	20,1

**Commentaires :**

- Indisponibilité des données le 26/01/2021 suite à un défaut électrique.
- Indisponibilité des données de conductivité, pH et oxygène dissous le 01/06/2021 suite à un encrassement de la pompe.
- Indisponibilité des données de conductivité, pH et oxygène dissous du 20/08/2021 au 21/08/2021 puis le 14/09/2021 suite à un défaut de pompage.

Station aval	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Oxygène dissous (mg/L)	11,2	10,4	10,4	9,8	8,7	7	7,6	8,7	7,9	10,1	11,1	11,5
Conductivité (µS/cm)	223	208	253	289	245	259	236	285	300	282	278	237
pH	7,9	7,9	8,2	8,6	8,1	8,4	7,9	8,4	7,9	8	8	7,9
Température	5,7	8	9,7	13	15,1	21,6	20,8	20,5	20,1	14,4	9,4	6,7

**Commentaires :** Indisponibilité des données du 13/09/2021 au 14/09/2021 suite à un défaut 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)	<5,0E-1	9,00E-01	<5,0E-1	<5,0E-1	<5,0E-1	2,00E+00	6,00E-01	1,00E+00	<5,0E-1	6,00E-01	6,00E-01	6,00E-01
DCO (mg/L)	1,00E+01	2,30E+01	<1,0E1	<1,0E1	<1,0E1	1,50E+01	3,50E+01	1,60E+01	<1,0E1	1,90E+01	1,70E+01	1,90E+01
MES (mg/L)	2,10E+01	5,70E+01	9,00E+00	2,00E+00	7,00E+00	1,10E+01	7,40E+01	9,00E+00	< 2	3,90E+01	1,10E+01	2,90E+01
Aluminium (mg/L)	8,00E-01	4,50E+00	3,20E-01	7,80E-02	2,30E-02	2,45E-01	1,28E+00	2,03E-01	4,20E-02	2,83E-01	7,90E-02	2,10E+00
Aluminium dissous (mg/L)	3,10E-02	8,00E-02	1,40E-02	6,00E-03	<5,0E-3	8,00E-03	2,40E-02	8,00E-03	<5,0E-3	<0,01	6,00E-03	2,20E-02
Chrome (mg/L)	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3
Chrome dissous (mg/L)	3,00E-04	3,00E-04	2,00E-04	<2,0E-4	<2,0E-4	<2,0E-4	2,00E-04	<2,0E-4	<2,0E-4	<2,0E-4	<2,0E-4	2,00E-04
Cuivre (mg/L)	5,00E-03	1,50E-02	<5,0E-3	5,00E-03	6,00E-03	6,00E-03	7,00E-03	5,00E-03	7,00E-03	7,00E-03	<5,0E-3	6,00E-03
Cuivre dissous (mg/L)	2,90E-03	7,80E-03	3,20E-03	3,40E-03	5,40E-03	4,70E-03	4,40E-03	4,00E-03	5,90E-03	4,80E-03	4,80E-03	3,90E-03
Fer (mg/L)	7,80E-01	2,50E+00	2,90E-01	7,80E-02	3,20E-02	2,36E-01	1,04E+00	2,39E-01	4,50E-02	3,39E-01	1,08E-01	2,02E+00

Station amont	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Fer dissous (mg/L)	5,40E-02	1,00E-01	8,40E-02	1,30E-02	9,00E-03	4,40E-02	7,50E-02	2,80E-02	<5,0E-3	3,60E-02	3,20E-02	8,90E-02
Manganèse dissous (mg/L)	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3
Manganèse (mg/L)	3,80E-02	5,10E-02	1,00E-02	<1,0E-2	5,00E-03	1,50E-02	3,60E-02	1,20E-02	5,00E-03	1,60E-02	<0,01	4,40E-02
Nickel (mg/L)	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3
Nickel dissous (mg/L)	9,00E-04	1,10E-03	6,00E-04	7,00E-04	7,00E-04	1,00E-03	1,30E-03	8,00E-04	8,00E-04	1,10E-03	9,00E-04	1,00E-03
Titane (mg/L)	2,90E-02	1,70E-01	1,40E-02	<1,0E-2	<1,0E-2	<1,0E-2	6,90E-02	1,40E-02	<1,0E-2	1,10E-02	<1,0E-2	3,80E-02
Titane dissous (mg/L)	<5,0E-3	6,00E-03	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3
Zinc (mg/L)	<1,0E-2	9,00E-03	<1,0E-2	<1,0E-2	<1,0E-2	<1,0E-2	<1,0E-2	9,00E-03	6,00E-03	<1,0E-2	<1,0E-2	7,00E-03
Zinc dissous (mg/L)	<2,0E-3	<2,0E-3	<2,0E-3	<2,0E-3	4,00E-03	<2,0E-3	<2,0E-3	<2,0E-3	2,00E-03	2,00E-03	2,00E-03	<2,0E-3

Station aval	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
DBO5 (mg/L)	<5,0E-1	8,00E-01	7,00E-01	<5,0E-1	<5,0E-1	3,00E+00	9,00E-01	6,00E-01	<5,0E-1	7,00E-01	8,00E-01	1,00E+00
DCO (mg/L)	1,10E+01	2,20E+01	1,10E+01	<1,0E1	<1,0E1	1,40E+01	4,00E+01	1,40E+01	<1,0E1	1,70E+01	1,70E+01	1,80E+01
MES (mg/L)	1,70E+01	4,30E+01	1,30E+01	2,00E+00	<2	1,40E+01	4,30E+01	6,00E+00	<2	2,40E+01	1,30E+01	2,80E+01
Aluminium (mg/L)	8,40E-01	4,40E+00	2,80E-01	8,90E-02	6,00E-02	3,99E-01	1,11E+00	2,04E-01	1,90E-02	3,71E-01	2,54E-01	2,19E+00
Aluminium dissous (mg/L)	3,50E-02	7,00E-02	1,40E-02	7,00E-03	<5,0E-3	9,00E-03	1,90E-02	1,00E-02	<5,0E-3	1,00E-02	8,00E-03	2,60E-02
Chrome (mg/L)	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3
Chrome dissous (mg/L)	4,00E-04	3,00E-04	2,00E-04	<2,0E-4	<2,0E-4	2,00E-04	2,00E-04	<2,0E-4	<2,0E-4	<2,0E-4	<2,0E-4	2,00E-04
Cuivre (mg/L)	6,00E-03	7,00E-03	<5,0E-3	<5,0E-3	5,00E-03	<5,0E-3	5,00E-03	<5,0E-3	6,00E-03	6,00E-03	5,00E-03	6,00E-03
Cuivre dissous (mg/L)	2,60E-03	2,40E-03	2,40E-03	2,90E-03	4,20E-03	3,10E-03	3,70E-03	3,40E-03	5,10E-03	4,90E-03	4,40E-03	3,40E-03
Fer (mg/L)	8,10E-01	2,60E+00	2,60E-01	1,70E-01	7,00E-02	3,50E-01	9,28E-01	2,28E-01	2,20E-02	3,97E-01	2,86E-01	2,09E+00
Fer dissous (mg/L)	6,70E-02	9,90E-02	2,90E-02	1,20E-02	7,00E-03	3,90E-02	6,70E-02	2,60E-02	5,00E-03	3,60E-02	6,20E-02	9,30E-02

Station aval	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Manganèse dissous (mg/L)	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3
Manganèse (mg/L)	3,90E-02	6,00E-02	9,00E-03	<1,0E-2	6,00E-03	2,00E-02	3,20E-02	1,00E-02	<0,01	1,50E-02	1,20E-02	4,70E-02
Nickel (mg/L)	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3
Nickel dissous (mg/L)	1,00E-03	1,00E-03	6,00E-04	6,00E-04	6,00E-04	8,00E-04	1,30E-03	8,00E-04	8,00E-04	1,00E-03	9,00E-04	1,00E-03
Titane (mg/L)	3,10E-02	1,80E-01	1,40E-02	<1,0E-2	<1,0E-2	1,80E-02	5,50E-02	1,30E-02	<1,0E-2	1,50E-02	1,00E-02	4,20E-02
Titane dissous (mg/L)	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3	<5,0E-3
Zinc (mg/L)	7,00E-03	1,00E-02	<1,0E-2	<1,0E-2	<1,0E-2	<1,0E-2	<1,0E-2	<1,0E-2	<1,0E-2	<1,0E-2	<1,0E-2	9,00E-03
Zinc dissous (mg/L)	<2,0E-3	<2,0E-3	<2,0E-3	<2,0E-3	<2,0E-3	<2,0E-3	<2,0E-3	<2,0E-3	<2,0E-3	3,00E-03	2,00E-03	<2,0E-3

**Commentaires** : Les résultats du suivi de l'année 2021 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 2021.

Paramètres Station amont	Unité	T1	T2	T3	T4
Acides chloroacétiques	mg/L	<2,0E-2	<2,0E-2	<1,0E-1	<2,0E-2
AOX		1,90E+02	2,00E-02	2,00E-02	2,00E-02
Bore		1,50E-02	2,30E-02	8,00E-03	2,50E-02
Chloroforme		<5,0E-4	<1,0E-3	<5,0E-4	<5,0E-4
Chlore résiduel total		<5,0E-2	<5,0E-2	<5,0E-2	6,00E-02
Détergents		8,00E-02	<5,0E-2	<5,0E-2	<5,0E-2
Ethanolamine		<5,0E-2	<5,0E-2	<5,0E-2	<5,0E-2
Hydrazine		<5,0E-2	<5,0E-2	<5,0E-2	<5,0E-2
Hydrocarbures		<1,0E-1	<1,0E-1	<1,0E-1	<1,0E-1

Paramètres Station aval	Unité	T1	T2	T3	T4
Acides chloroacétiques	mg/L	<2,0E-2	<2,0E-2	<1,0E-1	<2,0E-2
AOX		2,20E+02	3,50E-02	3,20E-02	2,10E-02
Bore		1,40E-02	2,40E-02	<1,0E-2	2,50E-02
Chloroforme		<5,0E-4	<1,0E-3	<5,0E-4	<5,0E-4
Chlore résiduel total		<5,0E-2	<5,0E-2	<5,0E-2	5,00E-02
Détergents		8,00E-02	<5,0E-2	<5,0E-2	<5,0E-2
Ethanolamine		<5,0E-2	<5,0E-2	<5,0E-2	<5,0E-2
Hydrazine		<5,0E-2	<5,0E-2	<5,0E-2	<5,0E-2
Hydrocarbures		<1,0E-1	<1,0E-1	<1,0E-1	<1,0E-1

## **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 2021, les prélèvements et les analyses physico-chimiques ont été réalisés par le bureau d'étude IANESCO. Les prélèvements et analyses hydrobiologiques ont été confiés à AQUASCOP.

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

Sur la base des différentes expertises, et comme pour le suivi annuel précédent, le suivi hydro-écologique 2021 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 de la centrale de Saint-Laurent.

Le rapport complet est disponible sur demande auprès du CNPE de Saint-Laurent.

## **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<sup>er</sup> juillet 2013, concerne le niveau sonore mesuré en dB (A) en limite d'établissement de l'installation.

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

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

La Mission Communication du CNPE de 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](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 efficace<sup>1</sup> est calculée en tenant compte des mécanismes de transfert de l'environnement jusqu'à l'homme. Cette dose permet de « mesurer » le niveau d'exposition attribuable aux rejets d'effluents radioactifs liquides et atmosphériques d'une installation et de le positionner par rapport à la limite réglementaire pour l'exposition de la population aux rayonnements ionisants conformément à l'article R1333-11 du Code de la Santé Publique.

Le calcul de dose efficace annuelle tient compte de données spécifiques à chaque 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...)

---

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

- 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 ;
- 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 du site 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 :

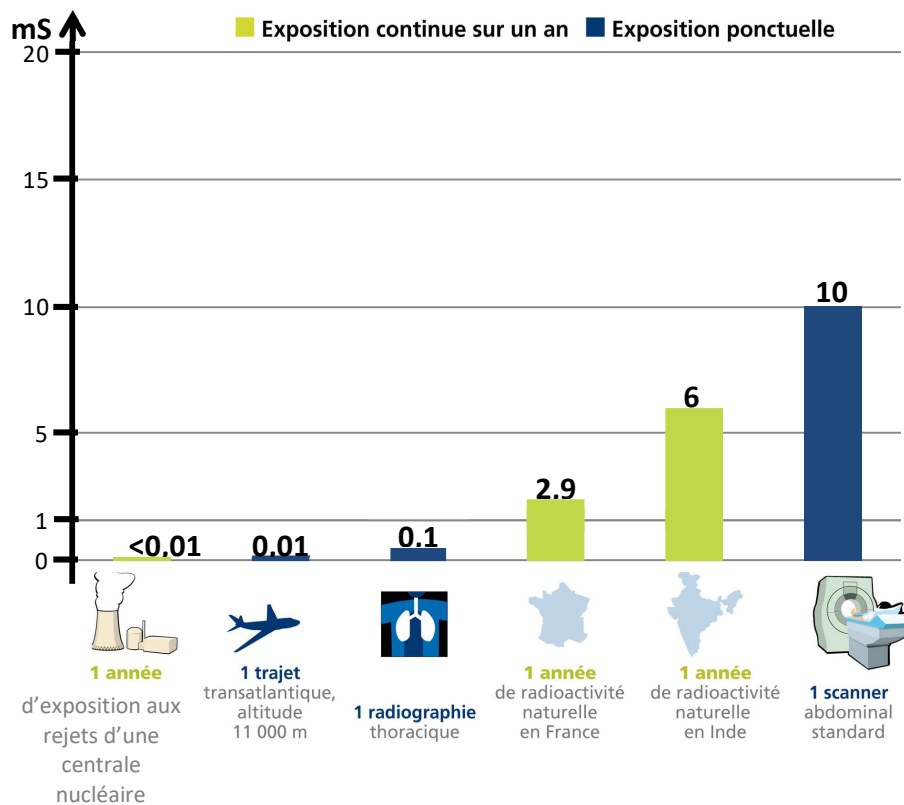


Figure 2 : Echelle des ordres de grandeur de doses résultant de situations courantes et comparaison aux seuils réglementaires (Source : EDF)

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 2 ci-après.

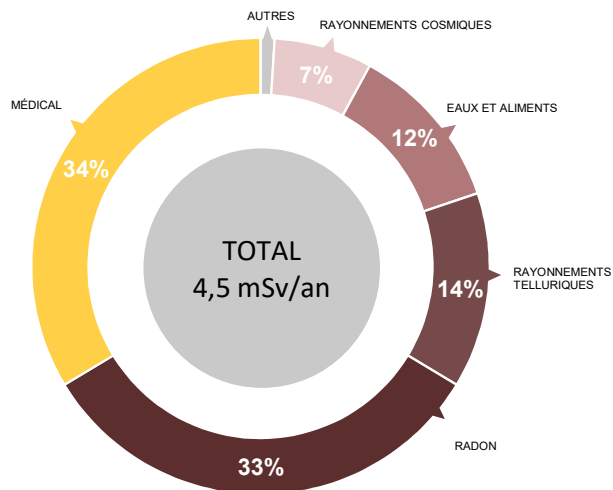


Figure 3 : Part relative des différentes sources d'expositions de la population française aux rayonnements ionisants (Source : Bilan IRSN 2021)

Les tableaux suivants fournissent les valeurs de dose efficace totale calculées à partir des rejets radioactifs réels de l'année 2021 effectués par le site de Saint-Laurent, 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	5,0E-07	5,0E-06	5,5E-06
Rejets d'effluents liquides	8,3E-06	6,9E-05	7,7E-05
<b>Total</b>	<b>8,8E-06</b>	<b>7,4E-05</b>	<b>8,3E-05</b>

ENFANT DE 10 ANS	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	5,0E-07	4,6E-06	5,1E-06
Rejets d'effluents liquides	s.o.	6,5E-05	6,5E-05
<b>Total</b>	<b>5,0E-07</b>	<b>7,0E-05</b>	<b>7,0E-05</b>

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

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

Les valeurs de doses calculées pour l'adulte, l'enfant de 10 ans et l'enfant de 1 an, attribuables aux rejets d'effluents radioactifs de l'année 2021 sont plus de 10 000 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 empilements de graphite des anciens réacteurs dont la déconstruction est programmée généreront des déchets « de faible activité à vie longue (FAVL) ».

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

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

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

## 2. Le transport des déchets

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

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

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

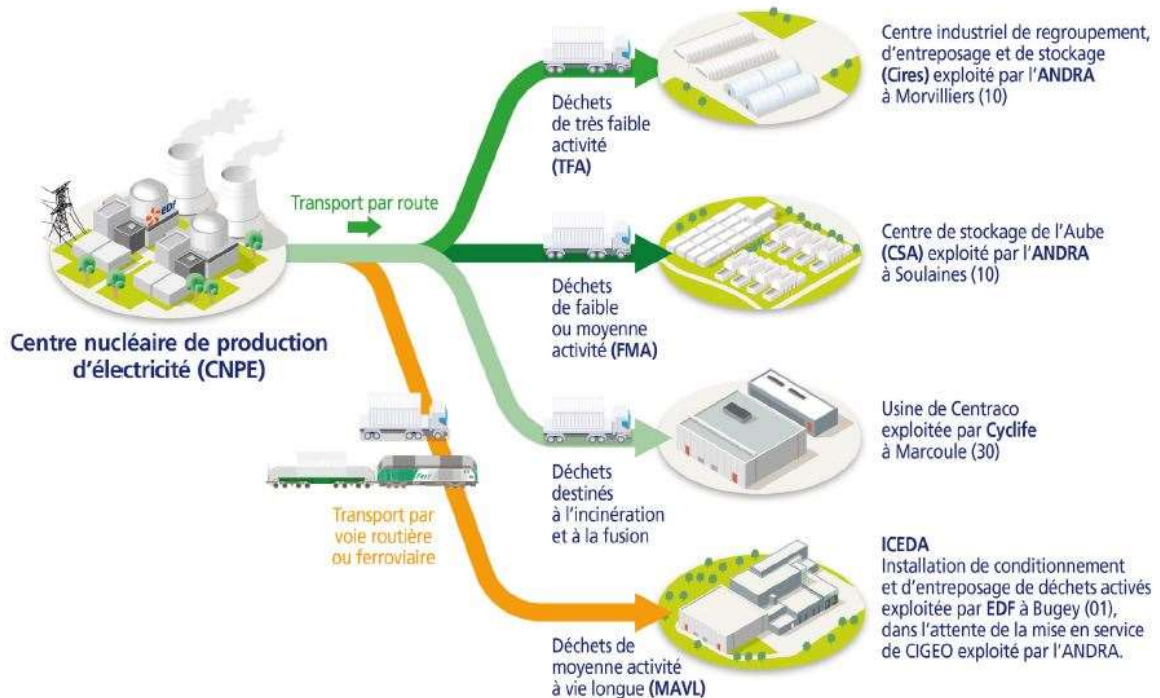


Figure 4 : Transport des déchets radioactifs (Source : EDF)



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

Le tableau suivant présente les quantités de déchets en attente de conditionnement au 31 décembre 2021 pour les 2 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Saint-Laurent.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2021	Commentaires
TFA	44 T	/
FMAVC (Liquides)	3 T	/
FMAVC (Solides)	76 T	/
FAVL	0	/
MAVL	208 objets	/

Le tableau suivant présente les quantités de déchets conditionnés en attente d'expédition au 31 décembre 2021 pour les 2 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Saint-Laurent.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2021	Type d'emballage
TFA	140 colis	Casiers, GRVS, fûts
FMAVC (Liquides)	2	Biémonts de solvants
FMAVC (Solides)	118	Coques béton, fûts, caissons
FAVL	0	/
MAVL	0	/

Le tableau suivant présente le nombre de colis évacués et les sites d'entreposage en 2021 pour les 2 réacteurs en fonctionnement du CNPE de Saint-Laurent.

Site destinataire	Nombre de colis évacués
Cires à Morvilliers	35
CSA à Soulaines	382
Centraco à Marcoule	1217

En 2021, 1634 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 2021 pour les 2 réacteurs en déconstruction du CNPE de Saint-Laurent.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2021	Commentaires
TFA	148.53 tonnes	/
FMAVC (Liquides)	91.027 tonnes	/
FMAVC (Solides)	72.38 tonnes	/
FAVL	1993.5 tonnes	/
MAVL	3 objets	/

Le tableau suivant présente les quantités de déchets conditionnés en attente d'expédition au 31 décembre 2021 pour les 2 réacteurs en déconstruction du CNPE de Saint Laurent.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2021	Type d'emballage
TFA	113 colis	75.4 tonnes 56 BB, 31 casiers perdus 2m <sup>3</sup> , 1 conteneur réutilisable 2m <sup>3</sup> , 23 fûts métalliques 200L, 2 pièces massives
FMAVC (Liquides)	0 colis	/
FMAVC (Solides)	315 colis	330 tonnes 7 caissons 7BR, 152 fûts métalliques 200L, 135 fûts plastiques 200L, 17 citernes, 4 caisses 1m <sup>3</sup>

Le tableau suivant présente le nombre de colis évacués, les quantités en tonnes et les sites d'entreposage en 2021 pour les 2 réacteurs en déconstruction du CNPE de Saint Laurent.

Site destinataire	Nombre de colis évacués
Cires à Morvilliers	134
CSA à Soulaines	225
CENTRACO à Marcoule	230

En 2021, 589 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 2021 par les INB d'EDF.

Quantités 2021 en tonnes	Déchets dangereux		Déchets non dangereux non inertes		Déchets inertes		Total	
	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés
Sites en exploitation	11316	9782	41512	34966	124577	124502	177404	169250
Sites en déconstruction	135	44	964	878	1618	1618	2717	2540

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 2021 (augmentation de 8% par rapport à 2020) 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 2021, les 2 unités de production du CNPE de Saint-Laurent ont produit 6277 tonnes de déchets conventionnels : 93,4 % de ces déchets ont été valorisés ou recyclés.

Concernant les unités en déconstruction, 36.91 tonnes de déchets conventionnels ont été produites en 2021. 96% de ces déchets ont été valorisés ou recyclés.

## ABREVIATIONS

ANDRA - Agence Nationale pour la gestion des Déchets RAdioactifs

ASN - Autorité Sûreté Nucléaire

CNPE - Centre Nucléaire de Production d'Électricité

COT - Carbone Organique Total

DBO5 - Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours

DCO - Demande Chimique en Oxygène

DUS – Diesel d'Ultime Secours

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

ESE - Évènement Significatif Environnement

FMA - Faible Moyenne Activité

ICPE - Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

INB - Installation Nucléaire de Base

IRSN - Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

ISO - International Standard Organization

KRT – Chaîne de mesure de radioactivité

MES - Matières En Suspension

PA – Produit d'Activation

PF – Produit de Fission

REX - Retour d'Expérience

SME - Système de Management de l'Environnement

SMP - Station Multi Paramètres

TAC – Turbine à Combustion

TEU - Traitement des Effluents Usés

TFA - Très Faible Activité

THE – Très Haute Efficacité

UFC - Unité Formant Colonie

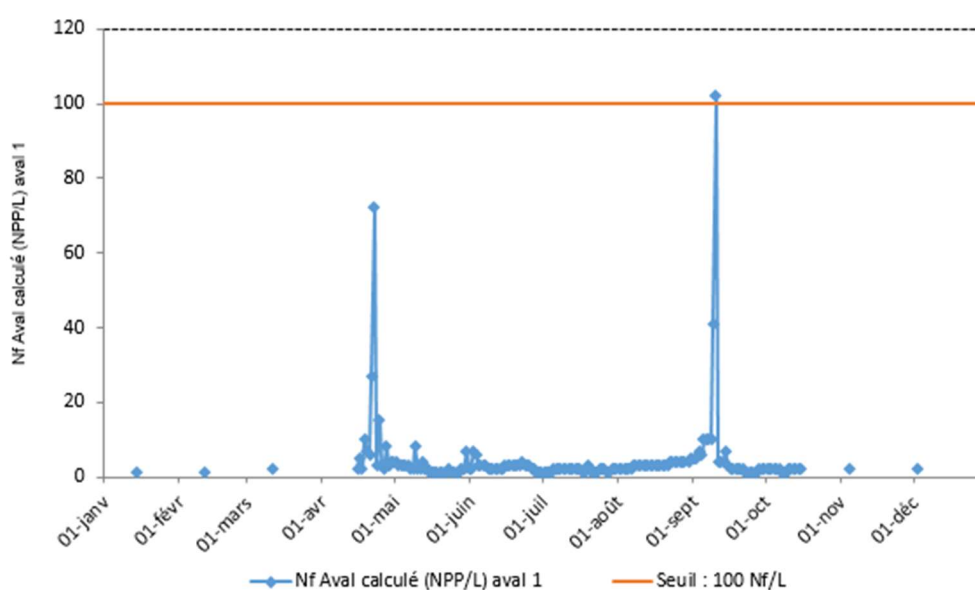
## ANNEXE 1 : Suivi microbiologique du CNPE de Saint-Laurent Année 2021

### RESULTATS LEGIONELLES 2021 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	<100	3000	<100
Février	1000	<100	<100	<100
Mars	100	600	*	*
Avril	4800	8000	*	*
Mai	100	1000	<100	<100
Juin	<100	600	<100	<100
Juillet	500	*	<100	<100
Août	*	*	<100	<100
Septembre	*	*	<100	<100
Octobre	*	<100	<100	100
Novembre	<100	400	200	700
Décembre	<100	<100	<100	400

\* Arrêt de tranche en cours – Pas de prélèvement

### RESULTATS AMIBES 2021 Aval calculé



# ANNEXE 2 : Suivi radioécologique annuel du CNPE de Saint-Laurent Année 2020

Suivi radioécologique de l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Loire – Année 2020  
Rapport SUB/RE/RC/Z-L



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

- Année 2020 -

Bassin de la Loire

Belleville-sur-Loire

Dampierre-en-Burly

**Saint-Laurent-des-Eaux**

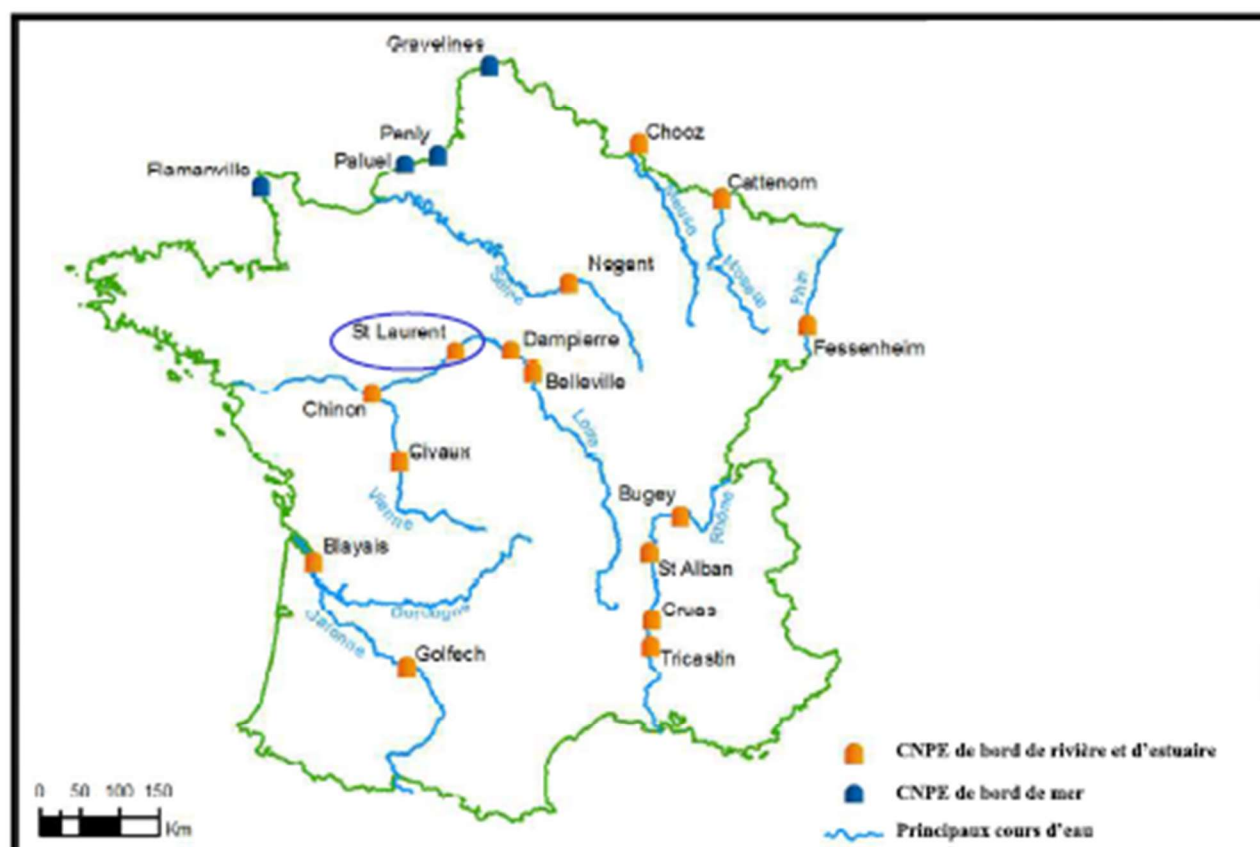
Chinon-Avoine

Civaux





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



Source : EDF/DIPDE.



<b>7. Etat radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux</b>	<b>157</b>
<i>7.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques</i>	<i>157</i>
<i>7.2. Etat radiologique de l'environnement terrestre</i>	<i>159</i>
7.2.1. Stratégie d'échantillonnage	159
7.2.2. Résultats et interprétation	162
7.2.2.1. Radionucléides émetteurs gamma	162
7.2.2.2. Radionucléides émetteurs bêta	164
7.2.2.3. Radionucléides émetteurs alpha	167
<i>7.3. Etat radiologique de l'environnement aquatique</i>	<i>168</i>
7.3.1. Stratégie d'échantillonnage	168
7.3.2. Résultats et interprétation	171
7.3.2.1. Radionucléides émetteurs gamma	171
7.3.2.2. Radionucléides émetteurs bêta	176
7.3.2.3. Radionucléides émetteurs alpha	178
<i>7.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux</i>	<i>179</i>



## Résumé

L'objectif du suivi radioécologique du C.N.P.E. 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 C.N.P.E. 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. 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 2020 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 2020, la radioactivité artificielle détectée dans le **milieu terrestre** est due à la présence de traces de  $^{137}\text{Cs}$ . Il provient principalement des retombées des anciens essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Les activités en  $^3\text{H}$  (libre et organiquement lié) confortent les observations des années antérieures. En 2020, elles ne montrent pas de marquage lié aux rejets d'effluents tritiés du C.N.P.E. sur le milieu terrestre. Les analyses du  $^{14}\text{C}$  dans les choux et le lait montrent des activités cohérentes aux incertitudes de mesure près avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle.

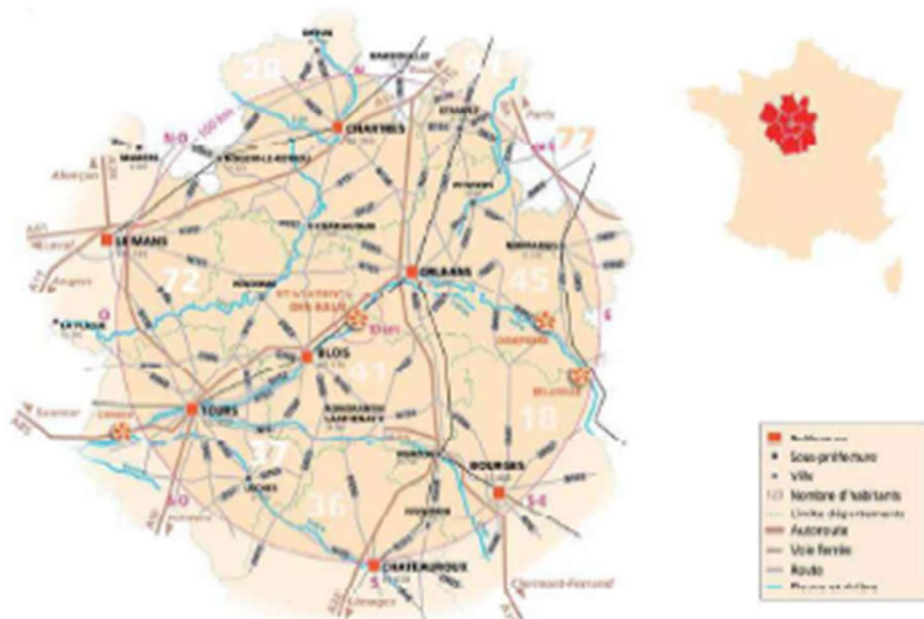
Dans le **milieu aquatique**, le  $^{137}\text{Cs}$  est présent dans tous les compartiments aussi bien en amont qu'en aval de l'installation. Seules, les activités détectées dans les myriophytes montrent l'influence du fonctionnement du C.N.P.E. pour ce radionucléide. En 2020, la présence de  $^{137}\text{Cs}$  résulte donc principalement de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl ainsi que des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. On constate également la présence de traces de  $^{58}\text{Co}$ , de  $^{60}\text{Co}$  et de  $^{110m}\text{Ag}$  à l'amont et/ou à l'aval de l'installation. Ces observations montrent, d'une part, 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 et, d'autre part, la contribution spécifique de ceux du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux. En 2020, les analyses de  $^3\text{H}$  libre et de  $^{14}\text{C}$  dans les phanérogames et les poissons et de  $^3\text{H}$  organiquement lié dans les poissons montrent, d'une part, l'influence sur le milieu aquatique 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 et, d'autre part, celle de ceux du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux. Dans les phanérogames, le marquage en  $^3\text{H}$  organiquement lié observé à l'amont masque l'éventuelle contribution des rejets d'effluents liquides tritiés du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux pour ce radionucléide.



## 7. Etat radiologique de l'environnement du C.N.P.E. 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 [1-3].



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](http://www.edf.fr).

La figure 7-1 (page 158) présente la chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux depuis 1977.

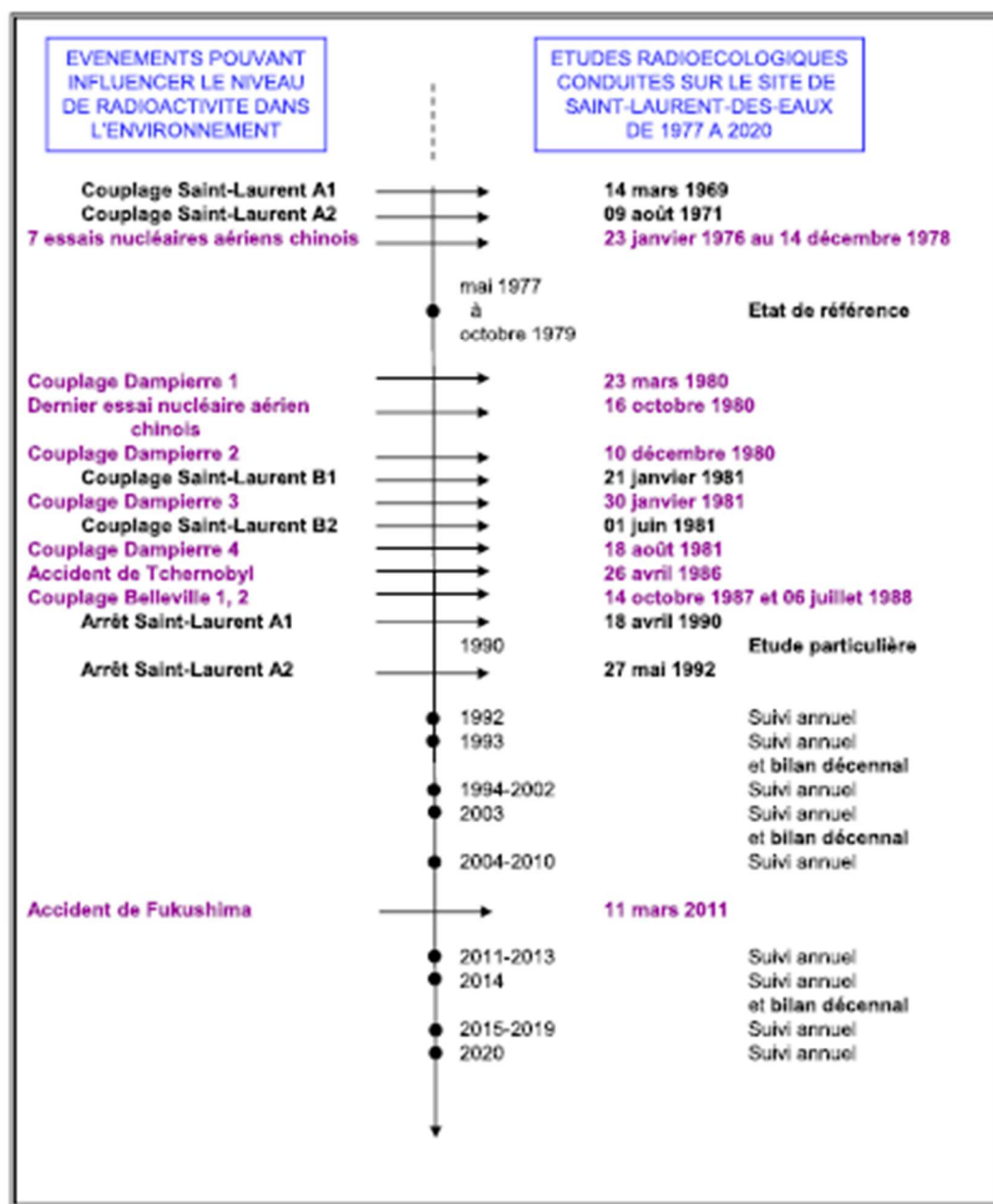


Figure 7-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux.



## 7.2. Etat radiologique de l'environnement terrestre

### 7.2.1. Stratégie d'échantillonnage

Le Tableau 7-1 (page 160) 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 161) présente les stations de prélèvement et la nature des échantillons prélevés en 2020.

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 161), les zones hors vents et donc non influencées par les rejets d'effluents atmosphériques du C.N.P.E. (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.

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 2020, 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	Echantillon par rapport à la centrale	Coordonnées WGS84		Niveau	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Rapport physique	Rapport activité
		Latitude	Longitude							
La Froid-Ducy	8,1 km SE	47,80302	1,80444	Mauves brèves	Bovasse Duchyotium abstrus	8-dar	07/020	Spectrométrie α	8,07	11,28
Courbaux	1,8 km SO	47,70472	1,87583	Mauves brèves	Bovasse Duchyotium abstrus	8-dar	07/020	Spectrométrie γ et β (Bis 151) Spectrométrie β Far 15 Spectrométrie α	4,12	8,80
Mer	6,1 km SO	47,80381	1,81268	Production agricole	Orge Fèves sèches	herbe	07/020	Spectrométrie γ Couture 14 Totaux β Totaux α (équivalent β)	7,04	4,82
Chenry	27,6 km SO	47,80447	1,64832	Sal non cultivé	Sal de paille horizon 1 et 2 (2)	Diamètre inférieur 4,2 mm	06/020	Spectrométrie α Densité (alpha, 150)	5,33	3,17
Station A51	1,7 km E	47,72862	1,80528	Sal non cultivé	Sal de paille horizon 1 et 2 (2)	Diamètre inférieur 4,2 mm	07/020	Spectrométrie γ Spectrométrie α Spectrométrie β Far 15 Bis (alpha, 150)	5,28	1,26
Station A51	1,7 km E	47,72862	1,80528	Pâtur, vache, bovine	Fiches de paille	Petites échantons	07/020	Spectrométrie γ Totaux β Totaux α (équivalent β)	5,08	-
Mulsheim-les-Bois	7,8 km SO	47,80111	1,82444	Lait	Lait de vache	Crémer	07/020	Spectrométrie γ Couture 14 Totaux β Totaux α (équivalent β)	8,21	10,46

Tableau 7-1. Identification des échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2020.

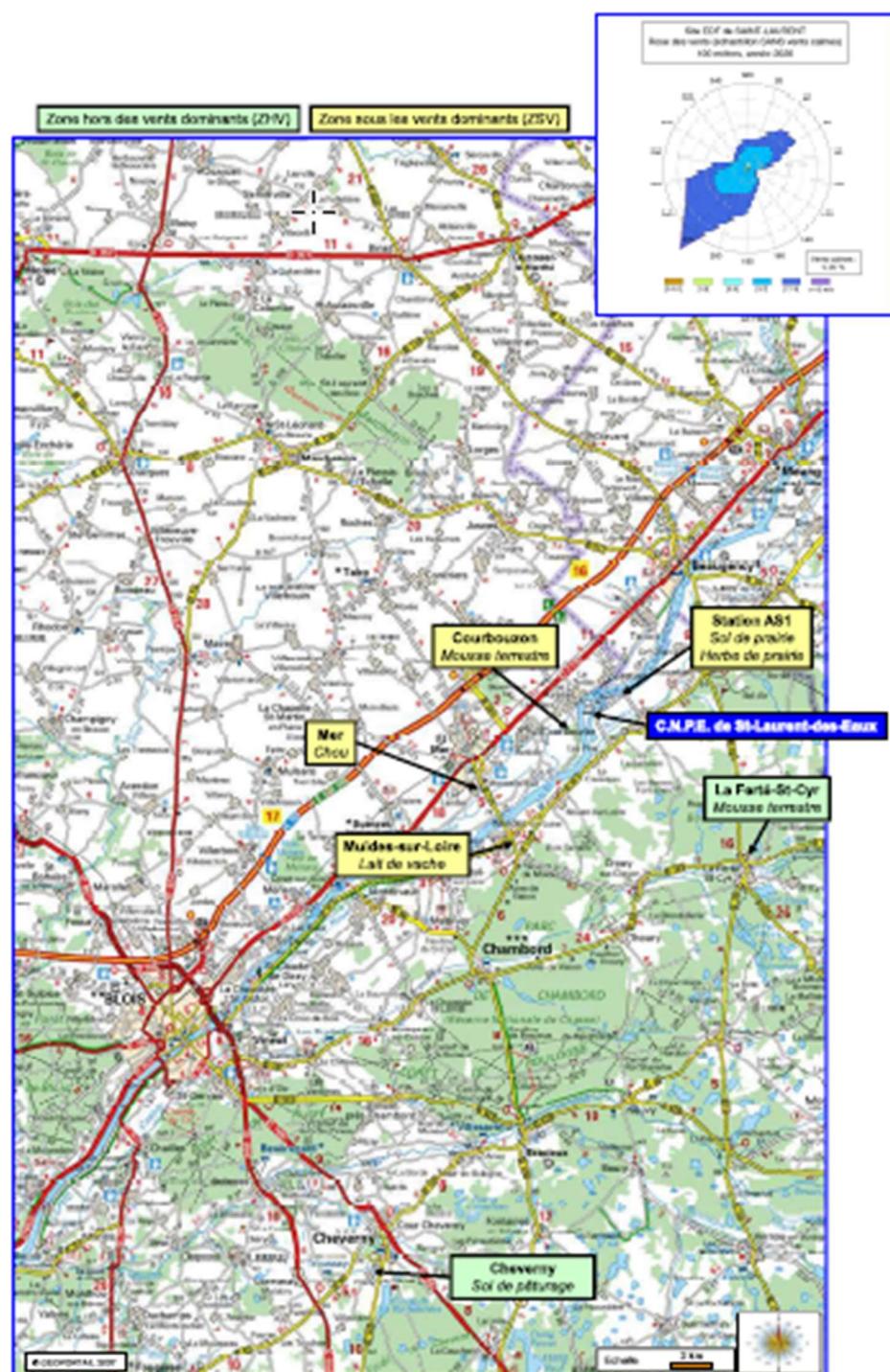


Figure 7-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2020 du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux.

## 7.2.2. Résultats et interprétation

### 7.2.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

#### 7.2.2.1.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

En 2020, 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. La radioactivité d'origine tellurique est essentiellement due au  $^{40}\text{K}$  dans l'ensemble des matrices, et à un degré moindre aux chaînes naturelles du  $^{232}\text{Th}$  ( $^{228}\text{Ac}$ ) et de l' $^{238}\text{U}$  ( $^{214}\text{Pb}$ ). Les activités mesurées sont cohérentes avec le bruit de fond naturel observé en France [4].

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

Le  $^7\text{Be}$  est détecté dans la mousse terrestre, les choux et l'herbe de prairie. Naturellement produit en haute atmosphère, le  $^7\text{Be}$  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.

#### 7.2.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Dans les échantillons terrestres analysés en 2020, la radioactivité d'origine artificielle est due uniquement à la présence de  $^{137}\text{Cs}$  dans trois des cinq échantillons prélevés (Tableau 7-11, page 194). Les niveaux d'activité sont cohérents avec les observations des années antérieures. La présence de traces de  $^{137}\text{Cs}$  est liée à la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. En 2020, les mesures des radionucléides artificiels émetteurs gamma réalisées dans le milieu terrestre ne montrent pas d'influence des rejets atmosphériques du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux.

Les études menées lors de l'état de référence (1978-1979) mettaient en évidence la présence de  $^{137}\text{Cs}$  dans l'ensemble des compartiments échantillonnés (Figure 7-3, page 163). Elle était liée aux retombées des essais aériens nucléaires. De 1992 à 1996, la présence de  $^{134}\text{Cs}$  était liée aux retombées de l'accident de Tchernobyl. Depuis 1997, les études radioécologiques mettent en évidence la présence de  $^{137}\text{Cs}$  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  $^{134}\text{Cs}$  et de  $^{131}\text{I}$  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 2020, ce qui est cohérent avec les observations menées depuis 1992. Lors de l'état de référence, le  $^{144}\text{Ce-Pr}$  et le  $^{106}\text{Ru-Rh}$  avaient été quantifiés dans les végétaux cultivés. Leur origine provenait des essais aériens nucléaires.

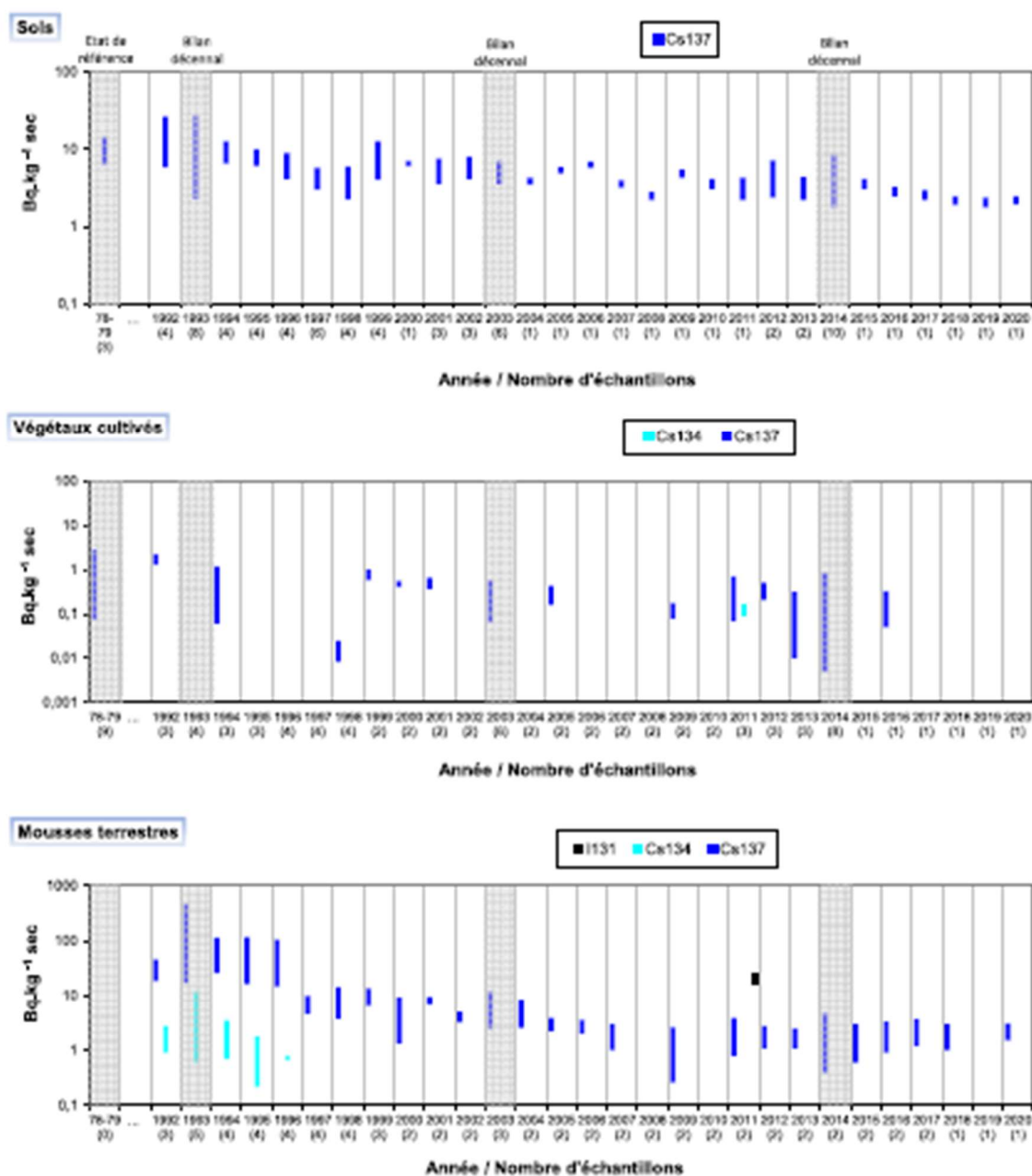


Figure 7-3. Gammes de variation (\*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie  $\gamma$  dans les échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des études menées depuis l'état de référence de 1978/1979 au suivi radioécologique de 2020.

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

## 7.2.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

### 7.2.2.2.1. Tritium

En 2020, les activités en  $^3\text{H}$  libre et organiquement lié mesurées dans les choux et le lait sont inférieures ou proches des seuils de décision (Tableau 7-13 et Tableau 7-14, page 195). Elles sont conformes au bruit de fond ambiant hors influence industrielle ( $<3 \text{ Bq.L}^{-1}$ ) [4,6]. Elles ne montrent pas d'influence des rejets atmosphériques du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux sur le milieu terrestre pour ces radionucléides. Dans l'herbe, les activités sont proches de  $2\text{-}3 \text{ Bq.L}^{-1}$ . Elles demeurent cependant dans la variabilité environnementale.

Ces résultats sont cohérents avec les mesures de  $^3\text{H}$  libre et organiquement lié réalisées lors des études antérieures.

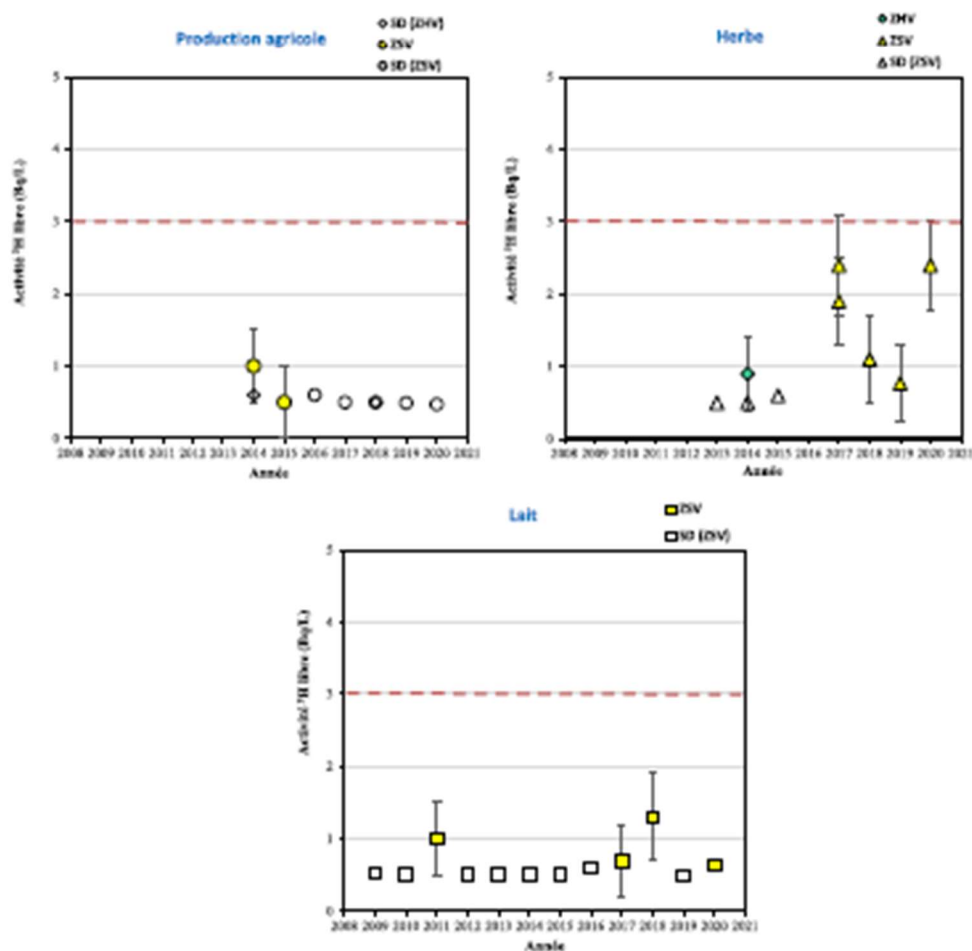


Figure 7-4. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2020. La ligne en pointillés représente la limite du bruit de fond ambiant hors influence industrielle ( $<3 \text{ Bq.L}^{-1}$ ) [4,6].

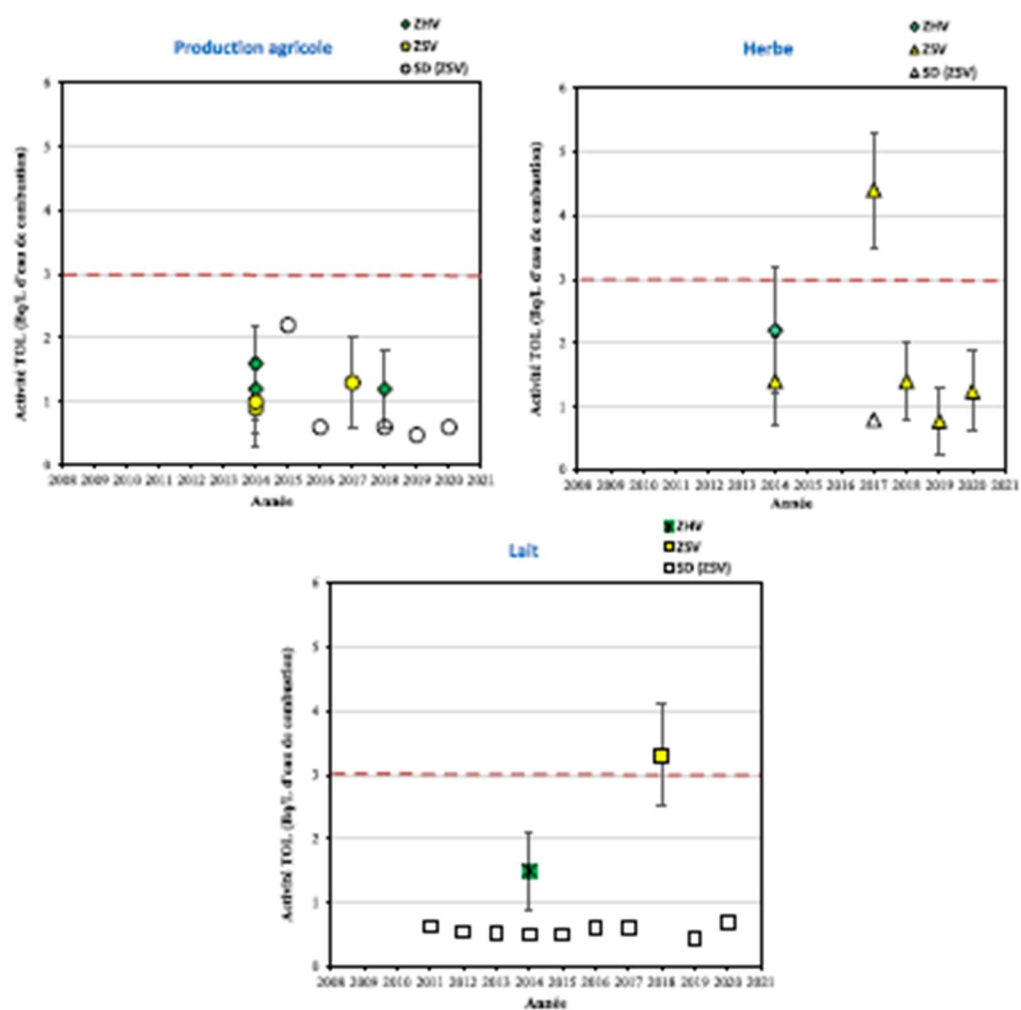


Figure 7-5. Activités en tritium organiquement lié détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2020. La ligne en pointillés représente la limite du bruit de fond ambiant hors influence industrielle ( $<3 \text{ Bq.L}^{-1}$ ) [4,6].

#### 7.2.2.2. Carbone 14

En 2020, les résultats d'analyse du  $^{14}\text{C}$  dans les choux prélevés à Mer et le lait prélevé à Muides-sur-Loire montrent des activités cohérentes aux incertitudes de mesure près avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle proche de  $227 \text{ Bq.kg}^{-1}$  de carbone en 2020 (Tableau 7-15, page 196) [4,7]. Aucune influence des rejets atmosphériques de  $^{14}\text{C}$  n'est mise en évidence en 2020.

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  $^{14}\text{C}$  lié aux rejets d'effluents atmosphériques de l'installation. Ce marquage ponctuel est également observé sur certains prélèvements trimestriels de lierre réalisés depuis 2015 par le C.N.P.E.

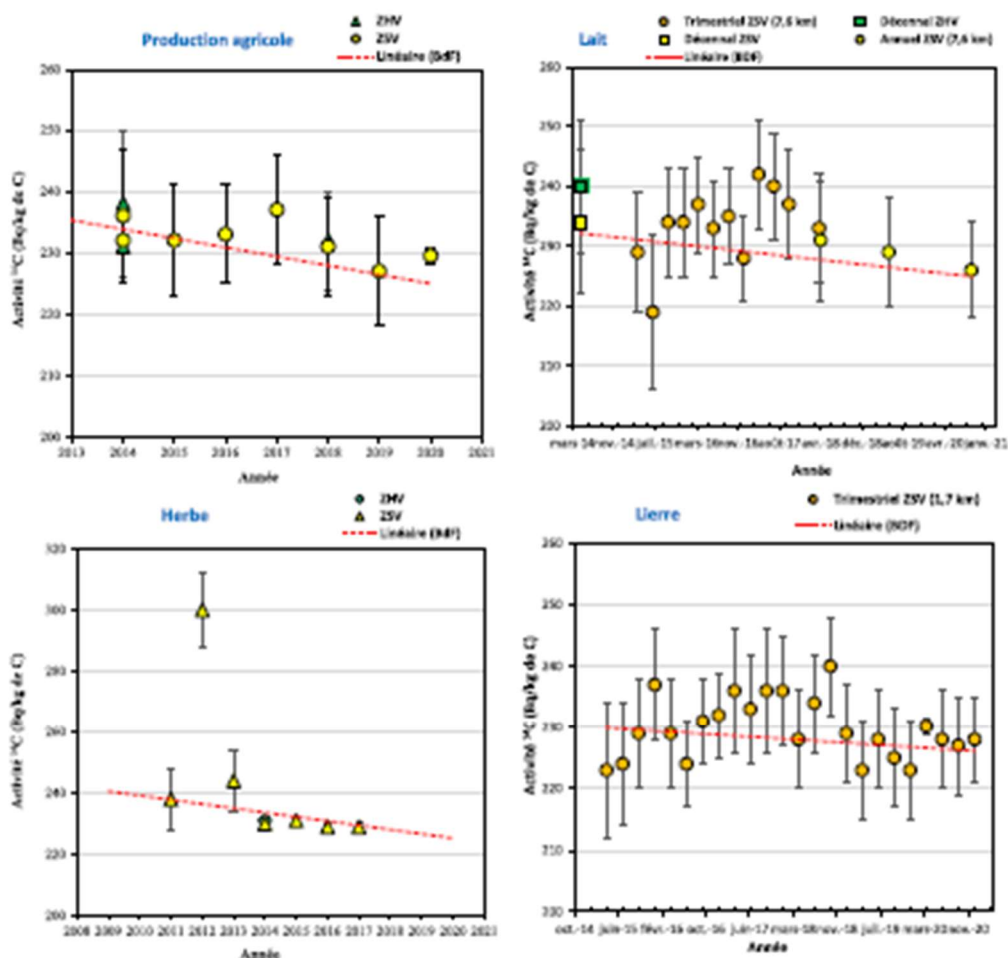


Figure 7-6. Activités spécifiques en  $^{14}\text{C}$  mesurées dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2020.

La courbe en pointillés représente l'évolution du bruit de fond hors influence industrielle (BdF). Les valeurs ont été mesurées par le Centre de Datation par le RadioCarbone (CDRC).



#### 7.2.2.2.3. Strontium 90

En 2020, les résultats d'analyse du  $^{90}\text{Sr}$  dans la mousse terrestre ( $1,97 \pm 0,47 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ ) et le sol de prairie ( $0,87 \pm 0,25 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ ) 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 196) [8]. Ils sont cohérents avec ceux obtenus depuis 2018 dans le cadre du suivi radioécologique annuel.

#### 7.2.2.2.4. Fer 55

Les résultats de  $^{55}\text{Fe}$  sont inférieurs aux seuils de décision (mousse terrestre :  $< 5,6 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$  ; sol non cultivé :  $< 4,5 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ ) (Tableau 7-17, page 196).

### 7.2.2.3. Radionucléides émetteurs alpha

Le  $^{238}\text{Pu}$ , le  $^{239+240}\text{Pu}$  et  $^{241}\text{Am}$  sont systématiquement détectés dans les mousses terrestres et les sols à l'exception du  $^{238}\text{Pu}$  dans la mousse terrestre prélevée à La Ferté Saint-Cyr (ZHIV) (Tableau 7-18, page 197). 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 0,03-0,08 et d'environ 0,4-0,5 pour les retombées des essais aériens nucléaires et supérieur à 1 pour les rejets d'effluents industriels (traitement du combustible) [9]. Les rapports  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  et  $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$  déterminés en 2020 dans les prélèvements de sols et  $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$  dans les 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. Compte tenu de l'incertitude élevée de l'activité du  $^{238}\text{Pu}$  dans l'échantillon de mousse (ZSV), le rapport  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  calculé n'est pas exploitable.

## 7.3. Etat radiologique de l'environnement aquatique

### 7.3.1. Stratégie d'échantillonnage

Le Tableau 7-2 (page 169) 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 170) présente les stations de prélèvement et la nature des échantillons prélevés en 2020.

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 C.N.P.E. 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 2020, le plan d'échantillonnage intègre également une eau d'irrigation prélevée à l'aval du C.N.P.E. 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 l'aval	Coordonnées WGS84		Niveau	Espèce	Fraction	Prélevement	Type de mesures	Rapport Nb/Nb0	Rapport act/act0
		Latitude	Longitude							
Stade Rive droite	4,2 km aval	47,74333	1,81844	546-met	546-met	Charbon actif 42 cm	23/06/20	Spectrométrie y Compteur TMO	3,24	-
Pont de Valdes Rive gauche	8,6 km aval	47,87261	1,82867	546-met	546-met	Charbon actif 42 cm	23/06/20	Spectrométrie y Compteur TMO	3,71	-
Stade Rive gauche	17,3 km aval Stade	47,82333	1,80808	546-met	546-met	Charbon actif 42 cm	23/06/20	Spectrométrie y Compteur TMO	1,78	-
Passerelle Rive droite	8,7 km aval	47,76844	1,83111	Planktonique arrangée	Micropyle <i>Aphocryptus spinulosus</i>	Plaque adhésive	23/06/20	Spectrométrie y et HPLC (131I) Spectrométrie y Spectrométrie à l'état solide TMO Par 20	3,28	2,03
Pont de Valdes Rive gauche	8,6 km aval	47,87261	1,82867	Planktonique arrangée	Micropyle <i>Aphocryptus spinulosus</i>	Plaque adhésive	23/06/20	Spectrométrie y et HPLC (131I) Spectrométrie y Spectrométrie à l'état solide TMO Par 20	6,81	-
Stade Rive gauche	17,3 km aval Stade	47,82333	1,80808	Planktonique arrangée	Micropyle <i>Aphocryptus spinulosus</i>	Plaque adhésive	23/06/20	Spectrométrie y et HPLC (131I) Spectrométrie y Spectrométrie à l'état solide TMO Par 20	3,28	2,11
Stade Rive gauche et CNEP	4,2 km aval	47,74333	1,81844	Planktonique arrangée	Micropyle <i>Aphocryptus spinulosus</i>	Plaque adhésive	23/06/20	Carbone 14 TMO S'illumine par 20	5,65	-
Pont de Valdes Rive gauche et CNEP	8,6 km aval	47,87261	1,82867	Planktonique arrangée	Micropyle <i>Aphocryptus spinulosus</i>	Plaque adhésive	23/06/20	Carbone 14 TMO S'illumine par 20	8,22	2,13
Stade Rive gauche	7,1 km aval	47,85317	1,82308	Eau	Coque commune <i>Cyprinus nebulosus</i>	Muscle	08/10/20	Spectrométrie y Carbone 14 TMO S'illumine par 20	3,27	27,28
Stade Rive gauche et CNEP	8,6 km aval	47,87261	1,82867	Eau	Coque commune <i>Cyprinus nebulosus</i>	Muscle	08/10/20	Spectrométrie y Carbone 14 TMO S'illumine par 20	3,71	24,76
Stade	23,3 km aval	47,86361	1,82694	Eau	Eau de boisson	Eau	06/10/20	TMO Eau	-	-
Compteur	2,0 km aval	47,75969	1,83814	Eau	Eau de boisson	Eau	06/10/20	TMO Eau	-	-

Tableau 7-2. Identification des échantillons prélevés dans le milieu aquatique de l'environnement du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2020.

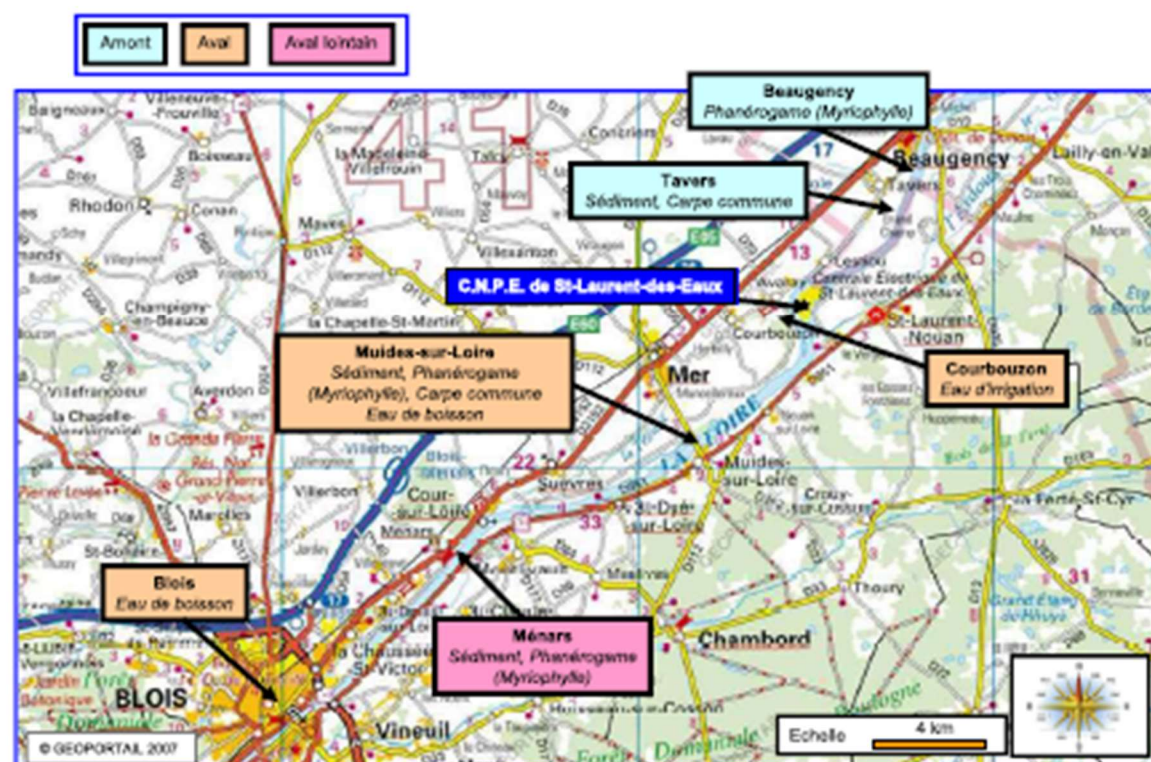


Figure 7-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2020 du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux.

### 7.3.2. Résultats et interprétation

#### 7.3.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

##### 7.3.2.1.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

En 2020, 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. 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  $^{40}\text{K}$  et à un degré moindre aux chaînes naturelles du  $^{232}\text{Th}$  et de  $^{238}\text{U}$ . Les activités mesurées sont cohérentes avec le bruit de fond naturel observé en France [4].

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

D'origine cosmique, le  $^7\text{Be}$  est systématiquement détecté dans les sédiments et les végétaux.

##### 7.3.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

La radioactivité artificielle se caractérise en 2020 par la détection de traces de  $^{137}\text{Cs}$ , de  $^{58}\text{Co}$ , de  $^{60}\text{Co}$ , de  $^{110m}\text{Ag}$  et de  $^{131}\text{I}$  dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux (Tableau 7-25, page 204).

En 2020, le  $^{137}\text{Cs}$  est présent dans l'ensemble des matrices du milieu aquatique (sédiments, végétaux et poissons). Son activité a été quantifiée dans les huit échantillons prélevés. Dans les sédiments et les poissons, les activités mesurées à l'amont masquent une éventuelle contribution des rejets d'effluents du C.N.P.E. En revanche, dans les phanérogames, les activités augmentent à l'aval. La présence de  $^{137}\text{Cs}$  résulte en 2020 de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl ainsi que des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. En 2020, la radioactivité artificielle est également caractérisée par la détection de traces de  $^{60}\text{Co}$  dans tous les sédiments et les phanérogames immergées (myriophylles), de  $^{58}\text{Co}$  dans les myriophylles prélevés à l'amont et à l'aval, de  $^{110m}\text{Ag}$  dans les myriophylles prélevées à l'aval ainsi que de  $^{131}\text{I}$  dans les myriophylles prélevées à l'amont à l'aval. La détection de traces de  $^{58}\text{Co}$  (myriophylles) et de  $^{60}\text{Co}$  (sédiment) à l'amont de l'installation ne permet pas de distinguer avec certitude l'éventuelle contribution des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux pour ces radionucléides. Seule l'augmentation de l'activité de  $^{60}\text{Co}$  constatée en aval dans les myriophylles de l'installation témoigne en revanche de l'influence des rejets d'effluents liquides de l'installation. Ces résultats montrent, d'une part, 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 et, d'autre part, celui lié à ceux du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux.

Lors de l'état de référence, plusieurs radionucléides d'origine artificielle ont été détectés dans le milieu aquatique,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{136}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Zr}$ ,  $^{90}\text{Zn}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{106}\text{Rh}$ , liés aux retombées des essais aériens nucléaires et,  $^{60}\text{Co}$  et  $^{54}\text{Mn}$ , dus à l'influence des rejets d'effluents de Saint-Laurent-des-Eaux A (Figure 7-8, page 173, Figure 7-9, page 174, et Figure 7-10, page 175). Depuis 1992, l'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. a été mise en évidence par l'augmentation de l'activité de  $^{137}\text{Cs}$  à l'aval et par la détection régulière de  $^{60}\text{Co}$  et de façon plus sporadique de  $^{134}\text{Cs}$ , de  $^{90}\text{Co}$  et de  $^{110m}\text{Ag}$  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 C.N.P.E. 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  $^{134}\text{Cs}$ , de  $^{60}\text{Co}$ , de  $^{110m}\text{Ag}$  et/ou de  $^{54}\text{Mn}$ . En 2011, la spectrométrie gamma mettait également en évidence la présence de  $^{134}\text{Cs}$  dans le sédiment prélevé à Tavers (amont) liée aux retombées de l'accident de Fukushima.

En 2020, les analyses d' $^{131}\text{I}$ , dans les végétaux aquatiques immergés, montrent des activités équivalentes aux incertitudes de mesure près entre l'amont et l'aval. Depuis 1997, les activités de  $^{131}\text{I}$  sont mesurées ponctuellement dans les phanérogames immergées (phanérogames immergées : renoncules, myriophylles) prélevées en amont et en aval. Cette présence régulière en amont et en aval du C.N.P.E. provient probablement d'installations de médecine nucléaire ou universitaires de l'agglomération d'Orléans.

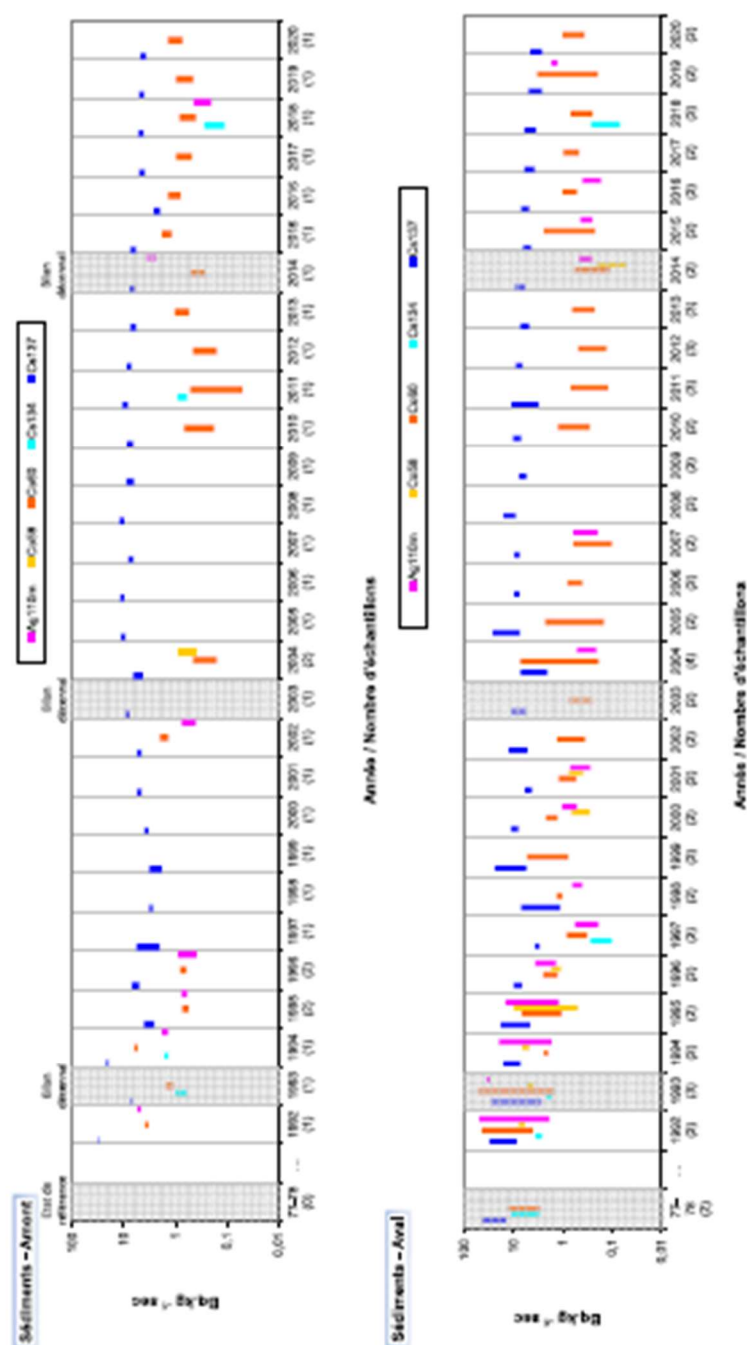


Figure 7-8. Gammes de variation (\*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie  $\gamma$  dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi radioécologique de 2020.  
 (\*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

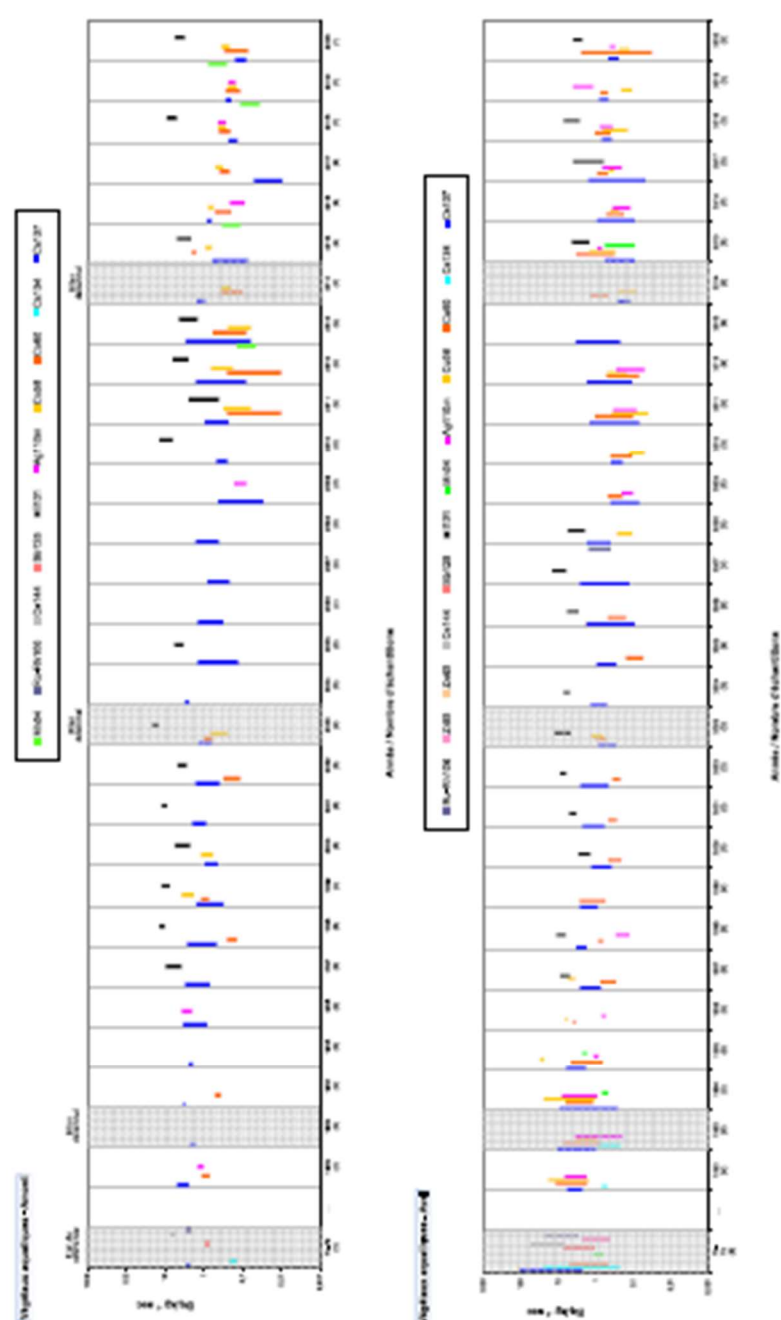


Figure 7-9. Gammes de variation (\*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie  $\gamma$  dans les phanérogames semi-aquatiques et immergées (toutes fractions confondues) prélevées dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi radioécologique de 2020.

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



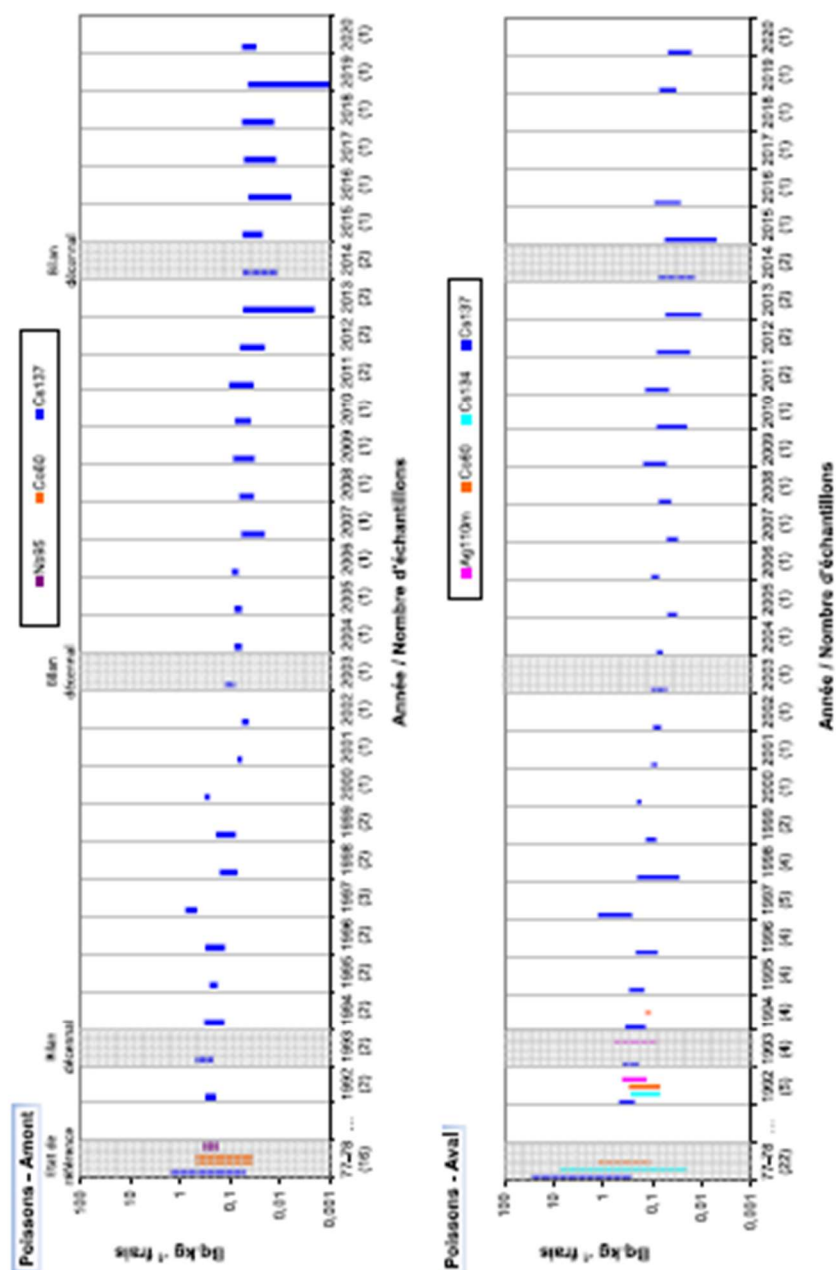


Figure 7-10. Gammes de variation (\*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie  $\gamma$  dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi radioécologique de 2020.  
 (\*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

### 7.3.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

#### 7.3.2.2.1. Tritium

En 2020, les activités volumiques du  $^3\text{H}$  libre mesurées dans les phanérogames immergées et les poissons varient de 10,7 à 44,8 Bq.L<sup>-1</sup> (Tableau 7-27, page 205). 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 témoigne de l'apport spécifique de ceux du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux. La détection de  $^3\text{H}$  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  $^3\text{H}$  au sein de ces milieux récepteurs [6]. En 2020, les activités sont cohérentes avec les données obtenues dans le cadre des études radioécologiques antérieures.

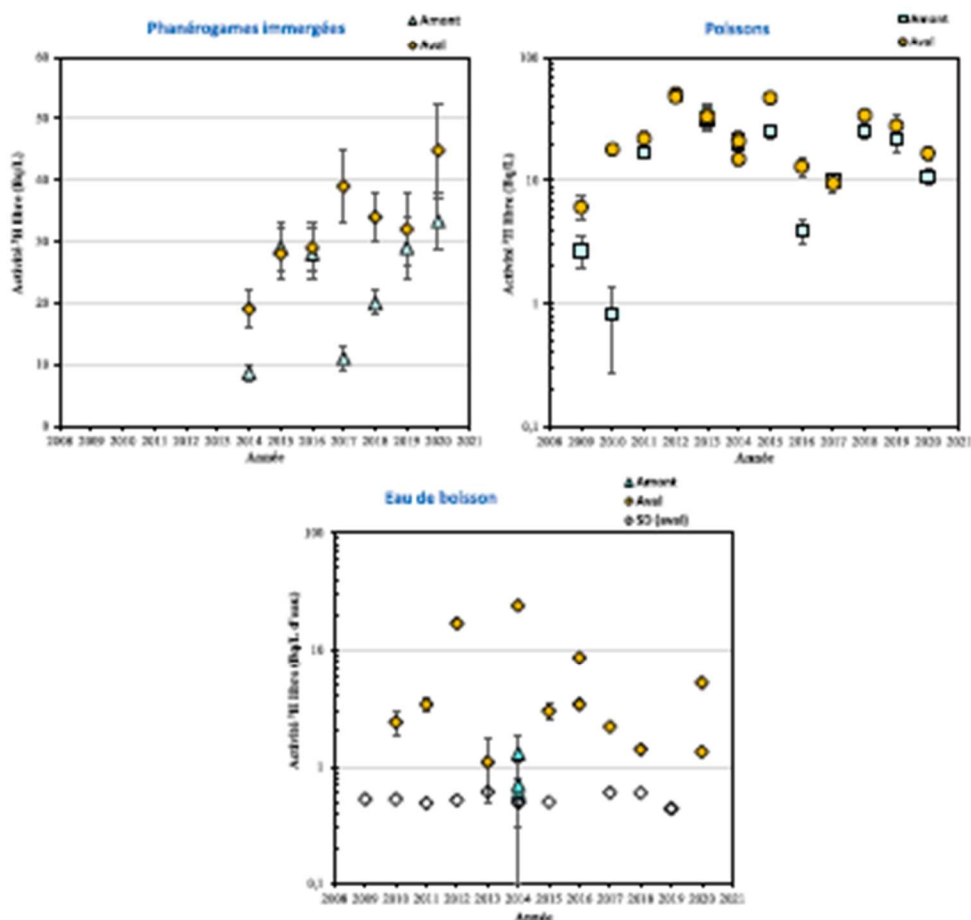


Figure 7-11. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2020.

Dans l'eau de boisson de Muides-sur-Loire et l'eau d'irrigation, les activités volumiques du  $^3\text{H}$  libre sont proches de  $1 \text{ Bq.L}^{-1}$ . Elles sont cohérentes avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle [6]. L'activité est proche de  $5 \text{ Bq.L}^{-1}$  dans l'eau de boisson de Blois. Depuis 2005, la présence de  $^3\text{H}$  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  $\text{Bq.L}^{-1}$  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 C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux. Pour rappel, la valeur-guide dans l'eau potable recommandée par l'OMS est de  $10000 \text{ Bq.L}^{-1}$ . La réglementation européenne relative à l'eau potable appliquée par la France fixe par ailleurs une référence de qualité de  $100 \text{ Bq.L}^{-1}$ , au-delà de laquelle des investigations complémentaires doivent être menées pour rechercher la présence de radionucléides artificiels.

En 2020, les activités du  $^3\text{H}$  organiquement lié les phanérogames immergées (myriophylles) et les poissons varient de  $11,8$  à  $23,6 \text{ Bq.L}^{-1}$  d'eau de combustion (Tableau 7-28, page 206). Les activités mesurées à l'amont (myriophylles et poissons) 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. En revanche, l'augmentation de l'activité observée dans les poissons pêchés à l'aval est liée aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux. Dans les phanérogames, le marquage constaté à l'amont masque l'éventuelle contribution des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. pour ce radionucléide.

Ces résultats sont cohérents avec les données obtenues dans le cadre des études radioécologiques antérieures.

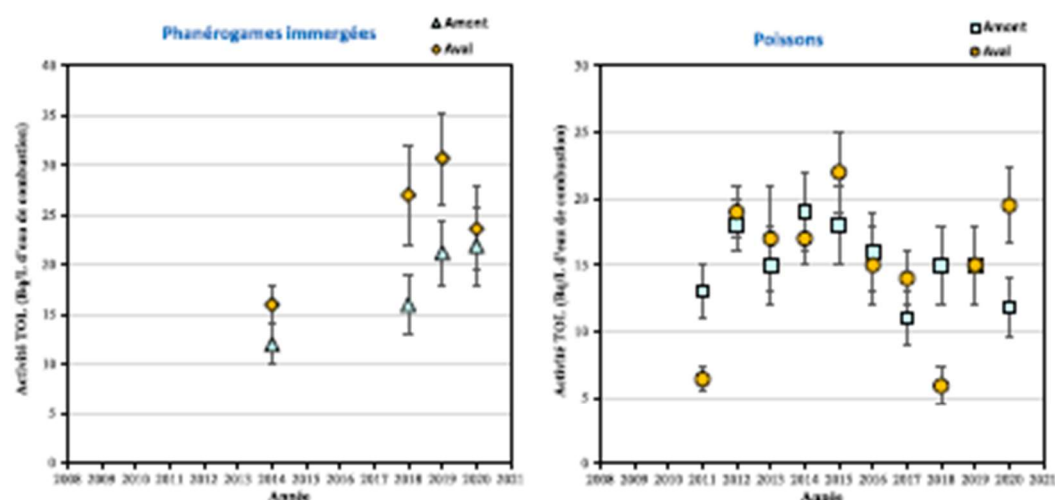


Figure 7-12. Activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2020.

#### 7.3.2.2.2. Carbone 14

Les résultats sont présentés dans le Tableau 7-29 (page 206). En 2020, les activités en  $^{14}\text{C}$  mesurées dans les échantillons prélevés dans le milieu aquatique sont supérieures à la valeur du bruit de fond ambiant hors influence industrielle (entre 200-220  $\text{Bq.kg}^{-1}$  de C) [4]. 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 avec des activités de  $461,4 \pm 2,7 \text{ Bq.kg}^{-1}$  de C (dans les myriophylles) et  $573,2 \pm 2,7 \text{ Bq.kg}^{-1}$  de C (dans les poissons) et, d'autre part, celle des rejets du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux mise en évidence par l'augmentation constatée à l'aval dans les myriophylles ( $559,0 \pm 3,4 \text{ Bq.kg}^{-1}$  de C) et les poissons ( $772,2 \pm 3,5 \text{ Bq.kg}^{-1}$  de C).

Ces observations sont cohérentes avec les données des années antérieures.

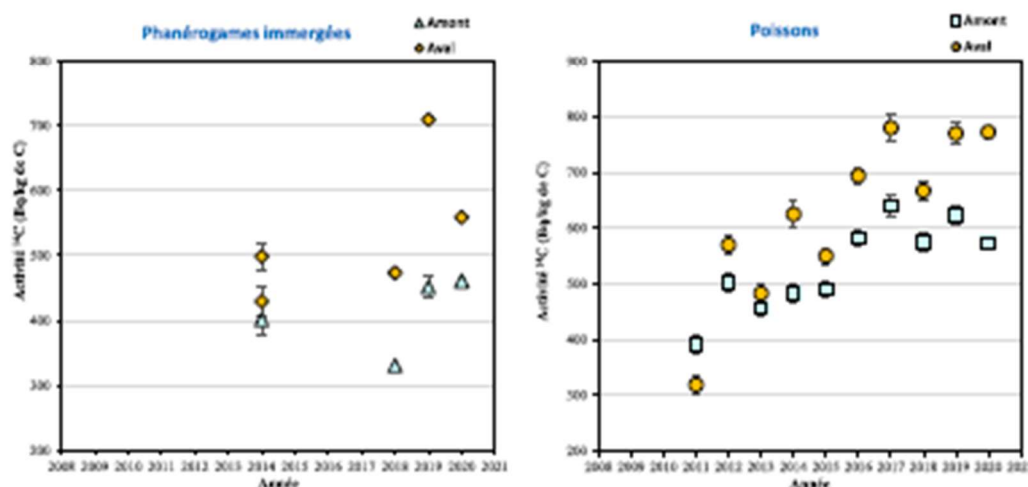


Figure 7-13. Activités spécifiques en  $^{14}\text{C}$  mesurées dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2020.

#### 7.3.2.2.3. Nickel 63 et Fer 55

En 2020, les analyses de  $^{63}\text{Ni}$  et de  $^{55}\text{Fe}$  montrent des activités inférieures aux seuils de décision dans les myriophylles (Tableau 7-30, page 207, et Tableau 7-31, page 207).

#### 7.3.2.3. Radionucléides émetteurs alpha

Dans les myriophylles, le  $^{239+240}\text{Pu}$  est détecté à l'amont et l'aval du C.N.P.E. à des niveaux d'activité équivalents aux incertitudes de mesure près (Tableau 7-32, page 207). En revanche, le  $^{238}\text{Pu}$  n'est pas détecté et l' $^{241}\text{Am}$  uniquement dans l'échantillon prélevé à l'aval. 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 0,03-0,08 et d'environ 0,4-0,5 pour les retombées des essais aériens nucléaires et supérieur à 1 pour les rejets d'effluents industriels (traitement du combustible) [9]. Le rapport  $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$  déterminé en 2020 pour les échantillons prélevés à l'aval ( $0,23 \pm 0,22$ ) est caractéristique aux incertitudes de mesure près de l'unique influence des retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens.

#### 7.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux

Le suivi radioécologique établi en 2020 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 2020, la radioactivité artificielle détectée dans le **milieu terrestre** est due à la présence de traces de  $^{137}\text{Cs}$ . Il provient principalement des retombées des anciens essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Les activités en  $^3\text{H}$  (libre et organiquement lié) confortent les observations des années antérieures. En 2020, elles ne montrent pas de marquage lié aux rejets d'effluents tritiés du C.N.P.E. sur le milieu terrestre. Les analyses du  $^{14}\text{C}$  dans les choux 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  $^{137}\text{Cs}$  est présent dans tous les compartiments aussi bien en amont qu'en aval de l'installation. Seules, les activités détectées dans les myriophylles montrent l'influence du fonctionnement du C.N.P.E. pour ce radionucléide. En 2020, la présence de  $^{137}\text{Cs}$  résulte donc principalement de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl ainsi que des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. On constate également la présence de traces de  $^{59}\text{Co}$ , de  $^{60}\text{Co}$  et de  $^{110m}\text{Ag}$  à l'amont et/ou à l'aval de l'installation. Ces observations montrent, d'une part, 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 et, d'autre part, la contribution spécifique de ceux du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux. En 2020, les analyses de  $^3\text{H}$  libre et de  $^{14}\text{C}$  dans les phanérogame et les poissons et de  $^3\text{H}$  organiquement lié dans les poissons montrent, d'une part, l'influence sur le milieu aquatique 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 et, d'autre part, celle de ceux du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux. Dans les phanérogame, le marquage en  $^3\text{H}$  organiquement lié observé à l'amont masque l'éventuelle contribution des rejets d'effluents liquides tritiés du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux pour ce radionucléide.



## LISTE DES FIGURES

Figure 7-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux.....	158
Figure 7-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2020 du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux.....	161
Figure 7-3. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie $\gamma$ dans les échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des études menées depuis l'état de référence de 1978/1979 au suivi radioécologique de 2020.....	163
Figure 7-4. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2020.....	164
Figure 7-5. Activités en tritium organiquement lié détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2020.....	165
Figure 7-6. Activités spécifiques en $^{14}\text{C}$ mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2020.....	166
Figure 7-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2020 du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux.....	170
Figure 7-8. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie $\gamma$ dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi radioécologique de 2020.....	173
Figure 7-9. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie $\gamma$ dans les phanérogames semi-aquatiques et immergées (toutes fractions confondues) prélevées dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi radioécologique de 2020.....	174
Figure 7-10. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie $\gamma$ dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi radioécologique de 2020.....	175
Figure 7-11. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2020.....	176
Figure 7-12. Activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2020.....	177
Figure 7-13. Activités spécifiques en $^{14}\text{C}$ mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2020.....	178





## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 7-1. Identification des échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2020.....	160
Tableau 7-2. Identification des échantillons prélevés dans le milieu aquatique de l'environnement du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2020.....	169
Tableau 7-3. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie $\gamma$ dans les sols prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020 ( $Bq.kg^{-1} sec$ ).....	185
Tableau 7-4. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie $\gamma$ dans les mousses prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020 ( $Bq.kg^{-1} sec$ ).....	186
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 C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2015 à 2020 ( $^{14}C : Bq.kg^{-1}$ de carbone ; $^3H : Bq.L^{-1}$ ).....	187
Tableau 7-6. Activités des principaux radionucléides émetteurs $\gamma$ , du $^{14}C$ , du $^3H$ libre et du $^3H$ organiquement lié dans les salades/choux prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020 (spectrométrie $\gamma : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1}$ de carbone ; $^3H : Bq.L^{-1}$ ).....	188
Tableau 7-7. Activités des principaux radionucléides émetteurs $\gamma$ , du $^{14}C$ , du $^3H$ libre et du $^3H$ organiquement lié dans les herbes prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020 (spectrométrie $\gamma : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1}$ de carbone ; $^3H : Bq.L^{-1}$ ).....	189
Tableau 7-8. Activités des principaux radionucléides émetteurs $\gamma$ , du $^{14}C$ , du $^3H$ libre et du $^3H$ organiquement lié dans les laits prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020 (spectrométrie $\gamma$ et $^3H : Bq.L^{-1} ; ^{14}C : Bq.kg^{-1}$ de carbone).....	190
Tableau 7-9. Activités du $^{14}C$ dans les échantillons trimestriels de lait prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2015 à 2017 ( $Bq.kg^{-1}$ de carbone).....	191
Tableau 7-10. Activités des radionucléides émetteurs $\gamma$ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.....	193
Tableau 7-11. Activités des radionucléides émetteurs $\gamma$ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.....	194
Tableau 7-12. Teneur en iode stable des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.....	195
Tableau 7-13. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.....	195
Tableau 7-14. Activité du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2020.....	195
Tableau 7-15. Activité du $^{14}C$ des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2020.....	196
Tableau 7-16. Activité du $^{90}Sr$ des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2020.....	196

Tableau 7-17. Activité du <sup>55</sup> Fe des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2020.....	196
Tableau 7-18. Activité des radionucléides émetteurs alpha dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2020.....	197
Tableau 7-19. Granulométrie et teneur en matières organiques de l'échantillon de sol prélevé dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.....	197
Tableau 7-20. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie $\gamma$ et du <sup>3</sup> H libre dans les eaux prélevées dans l'environnement terrestre (eaux de boisson et d'irrigation) et aquatique (eau de rivière) du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020 (Bq.L <sup>-1</sup> ).....	199
Tableau 7-21. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie $\gamma$ , du <sup>14</sup> C et du <sup>3</sup> H organiquement lié dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2011 à 2020 (spectrométrie $\gamma$ et <sup>3</sup> H : Bq.kg <sup>-1</sup> sec ; <sup>14</sup> C : Bq.kg <sup>-1</sup> de carbone).....	200
Tableau 7-22. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie $\gamma$ , du <sup>14</sup> C, du <sup>3</sup> H libre et du <sup>3</sup> H organiquement lié dans les végétaux aquatiques prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2011 à 2020 (spectrométrie $\gamma$ : Bq.kg <sup>-1</sup> sec ; <sup>14</sup> C : Bq.kg <sup>-1</sup> de carbone ; <sup>3</sup> H : Bq.L <sup>-1</sup> ).....	201
Tableau 7-23. Activités des principaux radionucléides émetteurs $\gamma$ , du <sup>14</sup> C, du <sup>3</sup> H libre et du <sup>3</sup> H organiquement lié dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020 (spectrométrie $\gamma$ : Bq.kg <sup>-1</sup> frais ; <sup>14</sup> C : Bq.kg <sup>-1</sup> de carbone ; <sup>3</sup> H : Bq.L <sup>-1</sup> ).....	202
Tableau 7-24. Activités des radionucléides émetteurs $\gamma$ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.....	203
Tableau 7-25. Activités des radionucléides émetteurs $\gamma$ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.....	204
Tableau 7-26. Teneur en iode stable dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.....	205
Tableau 7-27. Activités du tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.....	205
Tableau 7-28. Activités du tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.....	206
Tableau 7-29. Activités du <sup>14</sup> C dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.....	206
Tableau 7-30. Activités du <sup>63</sup> Ni dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.....	207
Tableau 7-31. Activités du <sup>55</sup> Fe dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.....	207
Tableau 7-32. Activité des radionucléides émetteurs alpha dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2020.....	207
Tableau 7-33. Granulométrie et teneur en matières organiques des échantillons de sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.....	208

Tableau 7-3. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie  $\gamma$  dans les sols prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020 (Bq.kg<sup>-1</sup>.sec).

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
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
<b>Emetteurs <math>\gamma</math> d'origine artificielle</b>										
<sup>134</sup> Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>137</sup> Cs	2,6-3,7 (2/2)	2,7-6,4 (2/2)	2,5-3,9 (2/2)	2,1-7,7 (10/10)	3,6 (1/1)	2,9 (1/1)	2,6 (1/1)	2,2 (1/1)	2,07 (1/1)	2,19 (1/1)
<sup>60</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>60</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>110m</sup> Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>54</sup> Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

Tableau 7-4. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie  $\gamma$  dans les mousses prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020 (Bq.kg<sup>-1</sup>.sec).

Année de prélèvement	avril 2011	avril 2012	avril 2013	avril/oct. 2014	juin 2015	mai 2016	juin 2017	avril 2018	mai 2019	oct. 2020
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	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
Nature	mousse	mousse	mousse	mousse champignon	mousse	mousse	mousse	mousse	mousse	mousse
Emetteurs $\gamma$ d'origine artificielle										
<sup>137</sup> Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>137</sup> Cs	1,7-2,4 (2/2)	1,5-2,0 (2/2)	1,8 (1/2)	1,2-4,0 (2/2)	1,3-2,3 (2/2)	2,1 (1/2)	1,5-2,9 (2/2)	2 (1/1)	-	2,28 (1/1)
<sup>60</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>60</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>110m</sup> Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>54</sup> Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>131</sup> I	19-22 (2/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

Tableau 7-5. Activités du <sup>14</sup>C, du <sup>3</sup>H libre et du <sup>3</sup>H organiquement lié dans les lèges trimestriels prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2015 à 2020 (<sup>14</sup>C : Bq.kg<sup>-1</sup> de carbone ; <sup>3</sup>H : Bq.L<sup>-1</sup>).

Activité de prélevement	sept 2015	oct 2015	nov 2015	déc 2015	janv 2016	fév 2016	mars 2016	avr 2016	mai 2016	juin 2016	juil 2016	août 2016	sept 2016	oct 2016	nov 2016	déc 2016	
	Célestes par rapport au site	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq
<b>Ensemble β</b>																	
<sup>14</sup> C	223 (10)	224 (10)	226 (10)	227 (10)	228 (10)	229 (10)	230 (10)	231 (10)	232 (10)	233 (10)	234 (10)	235 (10)	236 (10)	237 (10)	238 (10)	240 (10)	238 (10)
<sup>3</sup> H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,2 (10)	n.a.
<sup>3</sup> H 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.	n.a.	n.a.

Activité de prélevement	sept 2019	oct 2019	nov 2019	déc 2019	janv 2020	fév 2020	mars 2020	avr 2020	mai 2020	juin 2020	juil 2020	août 2020	sept 2020	oct 2020	nov 2020	déc 2020
	Célestes par rapport au site	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq	5,7 Bq
<b>Ensemble β</b>																
<sup>14</sup> C	223 (10)	224 (10)	225 (10)	226 (10)	227 (10)	228 (10)	229 (10)	230 (10)	231 (10)	232 (10)	233 (10)	234 (10)	235 (10)	236 (10)	237 (10)	238 (10)
<sup>3</sup> H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<sup>3</sup> H 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.	n.a.

n.a. : non analysé ; n.a. : inférieur au seuil de détection

Tableau 7-6. Activités des principaux radionucléides émetteurs  $\gamma$ , du  $^{14}\text{C}$ , du  $^3\text{H}$  libre et du  $^3\text{H}$  organiquement lié dans les salades/choux prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020 (spectrométrie  $\gamma$  :  $\text{Bq kg}^{-1}$  sec ;  $^{14}\text{C}$  :  $\text{Bq kg}^{-1}$  de carbone ;  $^3\text{H}$  :  $\text{Bq L}^{-1}$ ).

Année de prélèvement	juil. 2011	sept. 2012	juil. 2013	sept. 2014	août 2015	juil. 2016	juin 2017	oct. 2018	juin 2019	oct. 2020
<b>Distance par rapport au site</b>	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
<b>Émetteurs <math>\gamma</math> d'origine artificielle</b>										
$^{134}\text{Cs}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{137}\text{Cs}$	0,28-0,54 (2/2)	0,36 (1/2)	0,16 (1/2)	0,25-0,70 (2/2)	-	0,19 (1/1)	-	-	-	-
$^{60}\text{Co}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{60}\text{Co}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110m}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{241}\text{Am}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Émetteurs <math>\beta</math></b>										
$^{14}\text{C}$	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)
$^3\text{H}$ libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,5 (1/1)	-	-	0,8 (1/1)	-	-
$^3\text{H}$ organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	1,3 (1/1)	-	-	-

n.a. : non analysé ; n.s. : inférieur au seuil de détection

Tableau 7-7. Activités des principaux radionucléides émetteurs  $\gamma$  du  $^{14}\text{C}$ , du  $^3\text{H}$  libre et du  $^3\text{H}$  organiquement lié dans les herbes prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020 (spectrométrie  $\gamma$  : Bq kg $^{-1}$  sec ;  $^{14}\text{C}$  : Bq kg $^{-1}$  de carbone ;  $^3\text{H}$  : Bq L $^{-1}$ ).

Année de prélèvement	mai 2011	sept 2012	avril 2013	sept 2014	juin 2015	mai 2016	juin 2017	août 2018	mai 2019	oct. 2020
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
<b>Émetteurs <math>\gamma</math> d'origine artificielle</b>										
$^{134}\text{Cs}$	0,12 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{137}\text{Cs}$	0,12 (1/1)	-	-	0,072 (1/2)	0,078 (1/1)	0,11 (1/1)	-	-	-	-
$^{60}\text{Co}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{66}\text{Co}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110m}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{54}\text{Mn}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Émetteurs <math>\beta</math></b>										
$^{14}\text{C}$	238 (1/1)	300 (1/1)	244 (1/1)	230-231 (2/2)	231 (1/1)	229 (1/1)	229 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.
$^3\text{H}$ 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)
$^3\text{H}$ organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	4,4 (1/1)	n.a.	0,77 (1/1)	1,24 (1/1)

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

Tableau 7-8. Activités des principaux radionucléides émetteurs  $\gamma$ , du  $^{14}\text{C}$ , du  $^3\text{H}$  libre et du  $^3\text{H}$  organiquement lié dans les laits prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020 (spectrométrie  $\gamma$  et  $^3\text{H}$  : Bq.L $^{-1}$  ;  $^{14}\text{C}$  : 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
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
<b>Emetteurs <math>\gamma</math> d'origine artificielle</b>										
$^{137}\text{Cs}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{134}\text{Cs}$	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)
$^{60}\text{Co}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{90}\text{Co}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{109}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{54}\text{Mn}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Emetteurs <math>\beta</math></b>										
$^{14}\text{C}$	-	-	-	234-240 (2/2)	-	-	-	231 (1/1)	229,0 (1/1)	226,0 (1/1)
$^3\text{H}$ libre	1,0 (1/1)	-	-	-	-	-	0,7 (1/1)	-	-	0,64 (1/1)
$^3\text{H}$ organiquement lié	-	-	-	1,5 (1/1)	-	-	-	3,8 (1/1)	-	-

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



Tableau 7-9. Activités du  $^{14}\text{C}$  dans les échantillons trimestriels de lait prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2015 à 2017  
 (Bq.kg<sup>-1</sup> 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
Émetteurs $\beta$												
$^{14}\text{C}$	223 (1/1)	224 (1/1)	229 (1/1)	237 (1/1)	229 (1/1)	224 (1/1)	231 (1/1)	232 (1/1)	236 (1/1)	233 (1/1)	236 (1/1)	229 (1/1)



Tableau 7-10. Activités des radionucléides émetteurs  $\gamma$  d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2020.

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Quota	$^{40}\text{K}$	Emission $\gamma$ d'origine naturelle				$^{\text{total}}\text{Beq}$
								Activité $\text{Bq kg}^{-1}$ sec (sol, végétaux, Boq. $^{-1}$ Boq)		Facteur de $^{238}\text{U}$		
								$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	
Carbouzon	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium abietum</i>	Trier	07/10/20	08/10/20	Frais	629 ± 52	30,7 ± 6,0	< 16	n.a.	354 ± 56	477 ± 95
Mer	Production agricole	Chou <i>Brassica oleracea</i>	Feuilles	07/10/20	22/10/20	Cendres	925 ± 120	2,18 ± 0,47	< 1,1	n.a.	54,3 ± 2,7	104 ± 12
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie Herbes 0 ± 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	07/10/20	08/11/20	Sol	879 ± 120	68,7 ± 9,8	n.a.	67 ± 22	n.a.	< 2,2
Station AS1	Pâturage, herbe, jumeau	Herbe de prairie	Parties aériennes	07/10/20	13/11/20	Cendres	275 ± 29	1,47 ± 0,24	< 0,03	n.a.	43,0 ± 6,2	202 ± 33
Mulhous-M-Loire	Lait	Lait de vache	Trier	07/10/20	08/11/21	Cendres	45,9 ± 6,5	< 0,030	< 0,073	n.a.	< 0,11	< 0,15

n.a. = non analysé. Les activités sont présentées ± l'incertitude ou <SD.

Tableau 7-11. Activités des radionucléides émetteurs  $\gamma$  d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.

Sites	Noms	Espèces	Précision	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Grandes y d'origine artificielle							
							$^{137}\text{Cs}$	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{109}\text{Ag}$	$^{137}\text{mBa}$	$^{137}\text{mLa}$
Couffouzeil	Mousse terrestre	Mousse Lycopodium obscurum	Exter	07/10/20	04/10/20	Frais	< 1,3	2,28 ± 0,37	< 0,04	< 1,3	< 1,3	< 1,1	< 1,3	< 1,3
Mar	Production agricole	Céleri Brosses chinoises	Frais	07/10/20	23/10/20	Cordons	< 0,062	< 0,018	< 0,062	< 0,10	< 0,064	< 0,068	n.d.	n.d.
Sidon-AS1	Environnisme	Sol de jardin Aubrier 1-1-100	Diagonale interne 8 2 cm	07/10/20	08/11/20	Sec	< 0,16	2,59 ± 0,27	< 0,22	< 0,17	< 0,22	< 0,22	n.d.	n.d.
Sidon-AS1	Pâtur, herbe, terre	Herbe de paille	Profondeur internes	07/10/20	13/11/20	Cordons	< 0,051	< 0,033	< 0,045	< 0,038	< 0,038	< 0,032	n.d.	n.d.
Multi-région Loire	Lat	Lat de vache	Exter	07/10/20	09/10/21	Cordons	< 0,060	0,0399 ± 0,0644	< 0,018	< 0,060	< 0,011	< 0,0091	n.d.	n.d.

n.d. : non analysé. Les activités sont présentées à l'incertitude ou «SD».

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	<sup>127</sup> I mg.kg <sup>-1</sup> frais
Courbouzon	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium atriatum</i>	Entier	07/10/20	03/12/20	sec	< 7,0

Tableau 7-12. Teneur en iode stable des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	%I libre	
							Bq.L <sup>-1</sup>	Bq.kg <sup>-1</sup> frais (végétaux) Bq.L <sup>-1</sup> de lait
Mer	Production agricole	Chou Brassicacées oléacees	Feuilles	07/10/20	14/01/21	Eau de lyophilisation	< 0,47	< 0,41
Station AS1	Pâtures, herbes, luzernes	Herbe de prairie	Parties aériennes	07/10/20	15/01/21	Eau de lyophilisation	2,40 ± 0,62	1,20 ± 0,31
Mûdes-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	07/10/20	07/12/20	Eau de lyophilisation	0,64 ± 0,57	0,55 ± 0,49

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

Tableau 7-13. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	%I organiquement lié		
							Bq.L <sup>-1</sup> d'eau de combustion	Bq.kg <sup>-1</sup> frais (végétaux) Bq.L <sup>-1</sup> de lait	Bq.kg <sup>-1</sup> MO
Mer	Production agricole	Chou Brassicacées oléacees	Feuilles	07/10/20	13/02/21	Lyophilisée	< 0,90	< 0,066	< 0,26
Station AS1	Pâtures, herbes, luzernes	Herbe de prairie	Parties aériennes	07/10/20	07/02/21	Lyophilisée	1,24 ± 0,83	0,36 ± 0,18	0,76 ± 0,36
Mûdes-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	07/10/20	04/02/21	Lyophilisée	< 0,99	< 0,060	< 0,54

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

Tableau 7-14. Activité du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2020.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	<sup>14</sup> C		C sol	<sup>14</sup> C/ <sup>13</sup> C	P‰C
							Bq.kg <sup>-1</sup> de C	Bq.kg <sup>-1</sup> fraie (végétaux) Dq.L <sup>-1</sup> de lait			
Mer	Production agricole	Oie Brossica oleracea	Feuilles	07/10/20	30/07/21	Lyophilisé	228,5 ± 1,2	12,587 ± 0,099	55	-30,01	103
Muldes-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	07/10/20	27/02/21	Lyophilisé	228,0 ± 8,0	13,48 ± 0,48	90	-23,30	99

Tableau 7-15. Activité du <sup>14</sup>C des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2020.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	<sup>87</sup> Sr	<sup>87</sup> Sr/Ca	Ca
							Bq.kg <sup>-1</sup> sec	Bq.g <sup>-1</sup> Ca	g.kg <sup>-1</sup> sec
Courbouzon	Mousse terrestre	Mousse Eurhynchium sibiricum	Entier	07/10/20	26/03/21	Cendres	1,97 ± 0,47	0,201 ± 0,048	9,8
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	07/10/20	26/03/21	Calculé	0,87 ± 0,26	0,296 ± 0,084	3,0

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

Tableau 7-16. Activité du <sup>87</sup>Sr des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2020.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	<sup>59</sup> Fe
							Bq.kg <sup>-1</sup> sec
Courbouzon	Mousse terrestre	Mousse Eurhynchium sibiricum	Entier	07/10/20	09/03/21	Cendres	< 5,0
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	07/10/20	10/03/21	Calculé	< 4,5

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

Tableau 7-17. Activité du <sup>59</sup>Fe des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2020.

Hors vents		Sous les vents		Émetteurs α									
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure		Gazéifié	en Bq Ag <sup>-1</sup> sec			Rapports		
					<sup>238</sup> Pu	<sup>235</sup> U		<sup>232</sup> Th	<sup>238</sup> Pu/ <sup>235</sup> U	<sup>238</sup> Pu/ <sup>232</sup> Th			
La Fontaine-Saint-Cyr	Mousse terrestre	Mousse <i>Curphyrodium alpinum</i>	Entier	07/10/20	19/12/20	04/12/20	Carbone	9,13	11,2 ± 5,6	4,2 ± 3,7	-	0,4 ± 0,2	
Caulouzeau	Mousse terrestre	Mousse <i>Curphyrodium alpinum</i>	Entier	07/10/20	19/12/20	04/12/20	Carbone	6,8 ± 3,0	28,1 ± 8,7	6,8 ± 3,3	0,2 ± 0,2	0,2 ± 0,2	
Chenivy	Soil de pâturage en prairie	Soil de pâturage Horizon 0 - 5 cm	Diextrie inférieur à 2 cm	06/10/20	25/12/20	12/01/21	Carbone	7,0 ± 2,6	283 ± 28	88 ± 23	0,02 ± 0,01	0,3 ± 0,1	
Station AS1	Soil non cultivé	Soil de prairie Horizon 0 - 5 cm	Diextrie inférieur à 2 cm	07/10/20	25/12/20	12/01/21	Carbone	1,6 ± 1,0	87,8 ± 12,8	24 ± 11	0,02 ± 0,02	0,3 ± 0,2	

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

Tableau 7-18. Activité des radionucléides émetteurs alpha dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2020.

Sous les vents

Station	Nature	Date de prélèvement	Date de mesure	Analyses	%
Station AS1	Soil de prairie Horizon 0 - 5 cm	07/10/20	04/11/20	<b>Granulométrie 5 fractions</b>	
				Argile	13,40
				Limons fins	12,38
				Limons grossiers	11,31
				Sables fins	40,10
				Sables grossiers	22,83
<b>Teneur en matières organiques</b>	3,90				

Tableau 7-19. Granulométrie et teneur en matières organiques de l'échantillon de sol prélevé dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.





Tableau 7-20. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie  $\gamma$  et du  $^3\text{H}$  libre dans les eaux prélevées dans l'environnement terrestre (eaux de boisson et d'irrigation) et aquatique (eau de rivière) du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020 (Bq.L<sup>-1</sup>).

Année de prélèvement	avril 2011	avril 2012	avril 2013	avril, juil. et août 2014	juin 2015	mai 2016	juin 2017	avril/mai 2018	mai 2019	oct./nov. 2020
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 62,1 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
<b>Émetteurs <math>\gamma</math> d'origine artificielle</b>										
$^{134}\text{Cs}$	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
$^{137}\text{Cs}$	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
$^{60}\text{Co}$	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
$^{60}\text{Co}$	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
$^{110m}\text{Ag}$	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
$^{54}\text{Mn}$	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<b>Émetteurs <math>\beta</math></b>										
$^3\text{H}$ libre	3,4 (1/2)	17 (1/2)	1,1 (1/2)	0,56-24 (4/7)	3 (1/2)	3,4-8,6 (2/2)	2,2 (1/2)	0,8-1,4 (2/3)	1,10-28,9 (3/5)	0,83-6,2 (3/5)

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

Tableau 7-21. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie  $\gamma$ , du  $^{14}\text{C}$  et du  $^3\text{H}$  organiquement liés dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2011 à 2020 (spectrométrie  $\gamma$  et  $^3\text{H}$  : Bq.kg $^{-1}$  sec ;  $^{14}\text{C}$  : Bq.kg $^{-1}$  de carbone).

Année de prélèvement	juil. 2011		juil. 2012		juil. 2013		sept. 2014		sept. 2015		sept. 2016		oct. 2017		oct. 2018		sept. 2019		sept. 2020		
	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	
<b>Emetteurs <math>\gamma</math> d'origine artificielle</b>																					
$^{137}\text{Cs}$	C75 (7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{137}\text{Cs}$	1,6 (7)	8-10 (3/3)	8 (1/1)	7,4-8,3 (3/3)	6,6 (1/1)	5,1-6,6 (1/3)	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)	3,6-5,5 (2/2)	4,56 (1/1)	3,69- 4,51 (2/2)	4,31 (1/1)	3,07- 4,06 (2/2)	-
$^{60}\text{Co}$	-	-	-	-	-	-	-	0,13 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{60}\text{Co}$	C28 (7)	0,31- 0,42 (2/3)	0,31 (1/1)	0,31 (1/3)	0,79 (1/1)	0,42- 0,45 (3/3)	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)	2,74 (1/1)	1,06 (1/1)	0,69 (2/2)
$^{113\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	0,37 (1/1)	0,36 (1/2)	-	0,35 (1/2)	-	0,29 (1/2)	-	-	0,32 (1/1)	-	-	-	1,51 (1/2)	-	-
$^{54}\text{Mn}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Emetteurs <math>\beta</math></b>																					
$^{14}\text{C}$	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	344 (1/1)	350- 366 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	283,0 (1/1)	422,2 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.
$^3\text{H}$ libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
$^3\text{H}$ organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,2 (1/1)	0,7-1,3 (1/1)	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. : non analysé ; e : inférieur au seuil de décision

Tableau 7-22. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie  $\gamma$ , du  $^{14}\text{C}$ , du  $^3\text{H}$  libre et du  $^3\text{H}$  organiquement lié dans les végétaux aquatiques prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2011 à 2020 (spectrométrie  $\gamma$ : Bq.kg $^{-1}$  sec ;  $^{14}\text{C}$ : Bq.kg $^{-1}$  de carbone ;  $^3\text{H}$ : 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			
	actif	actif	actif	actif	actif	actif	actif	actif	actif	actif	actif	actif	actif	actif	actif	actif	actif	actif	actif	actif		
<b>Emetteurs <math>\gamma</math> d'origine artificielle</b>																						
$^{137}\text{Cs}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
$^{134}\text{Cs}$	0,26-0,71 (40)	0,10-1,2 (35)	0,15-1,5 (55)	0,10-2,6 (50)	0,08-1,9 (36)	0,16-1,3 (34)	0,17 (15)	0,16-1,5 (35)	0,13-0,46 (20)	0,25-0,78 (22)	0,22 (12)	0,14-0,78 (32)	0,25-0,83 (20)	0,25-0,83 (20)	0,23 (11)	0,44-0,60 (22)	0,18 (10)	0,54- (22)	0,23 (11)	0,114 (10)	0,296- (20)	
$^{90}\text{Sr}$	0,13-0,20 (36)	0,13-0,20 (36)	0,13-0,20 (36)	0,13-0,20 (36)	0,13-0,20 (36)	0,13-0,20 (36)	0,13-0,20 (36)	0,13-0,20 (36)	0,13-0,20 (36)	0,13-0,20 (36)	0,13-0,20 (36)	0,13-0,20 (36)	0,13-0,20 (36)	0,13-0,20 (36)	0,13-0,20 (36)	0,13-0,20 (36)	0,13-0,20 (36)	0,13-0,20 (36)	0,13-0,20 (36)	0,13-0,20 (36)	0,13-0,20 (36)	0,13-0,20 (36)
$^{60}\text{Co}$	0,15 (10)	0,24-0,65 (30)	0,13 (10)	0,20-0,32 (38)	0,13 (10)	0,22-0,25 (34)	0,17 (15)	0,16-1,5 (35)	0,13-0,46 (20)	0,25-0,78 (22)	0,22 (12)	0,14-0,78 (32)	0,25-0,83 (20)	0,25-0,83 (20)	0,23 (11)	0,44-0,60 (22)	0,18 (10)	0,54- (22)	0,23 (11)	0,114 (10)	0,296- (20)	
$^{137}\text{Ba}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
$^{99}\text{Tc}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
$^{131}\text{I}$	1,4 (10)	-	4,3 (10)	-	2,9 (10)	-	-	-	3,5 (10)	2,9 (10)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Emetteurs <math>\beta</math></b>																						
$^{14}\text{C}$	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	492 (1,1)	400-400 (2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	414 (10)	452 (10)	702,2 (10)	461,4 (10)	502,0 (10)	-	
$^3\text{H}$ libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	8,6 (1,1)	19-23 (2)	28 (10)	28 (10)	28 (10)	28 (10)	28 (10)	28 (10)	28 (10)	28 (10)	34 (10)	28,8 (10)	31,7 (10)	35,3 (10)	44,8 (10)	-	
$^3\text{H}$ organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	12 (1,1)	15-16 (2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	27 (10)	21,2 (10)	30,7 (10)	21,9 (10)	23,6 (10)	-	

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

Tableau 7-23. Activités des principaux radionucléides émetteurs  $\gamma$ , du  $^{14}\text{C}$ , du  $^3\text{H}$  libre et du  $^3\text{H}$  organiquement lié dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020 (spectrométrie  $\gamma$  ; Bq.kg $^{-1}$  frais ;  $^{14}\text{C}$  : Bq.kg $^{-1}$  de carbone ;  $^3\text{H}$  : 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		
	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	
<b>Situation par rapport au site</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Émetteurs <math>\gamma</math> d'origine artificielle</b>																					
$^{137}\text{Cs}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{134}\text{Cs}$	0,360- 0,070 (0,2)	0,074- 3,31 (2,2)	0,041 (1,2)	0,059 (2,2)	0,028 (1,2)	0,032 (1,2)	0,030- 3,033 (2,2)	0,039 (1,1)	0,000 (1,1)	0,000 (1,1)	0,024 (1,1)	0,008 (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)	-
$^{60}\text{Co}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{65}\text{Zn}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110m}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{137}\text{mBa}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Émetteurs <math>\beta</math></b>																					
$^{14}\text{C}$	201 (0,1)	519 (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)	604 (1,1)	640 (1,1)	760 (1,1)	574 (1,1)	667 (1,1)	623 (1,1)	770 (1,1)	573,2 (1,1)	772,2 (1,1)	-
$^3\text{H}$ libre	17 (0,2)	22 (2,2)	49 (2,2)	48-51 (2,2)	31-33 (2,2)	33-34 (2,2)	20-22 (2,2)	19-21 (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)	-
$^3\text{H}$ organiquement lié	13 (0,1)	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)	-

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

Tableau 7-24. Activités des radionucléides émetteurs  $\gamma$  d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.

Station	Aval	Aval bis/bis	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Émetteurs $\gamma$ d'origine naturelle						
									$^{40}\text{K}$	Famille de $^{238}\text{U}$		Famille de $^{235}\text{U}$			$^{76}\text{Ge}$
									$^{228}\text{Ac}$	$^{228}\text{Th}$	$^{232}\text{Pa}$	$^{232}\text{Th}$	$^{214}\text{Pb}$	$^{214}\text{Bi}$	
Tavers Rive droite			Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/05/20	21/12/20	Sec	70,4 ± 9,2	n.a.	49 ± 30	n.a.	n.a.	190 ± 71	
Port de Muldes Rive gauche			Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/05/20	06/01/21	Sec	66,6 ± 9,6	n.a.	54 ± 27	n.a.	n.a.	27,7 ± 4,8	
Mirans Rive gauche			Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/05/20	06/01/21	Sec	59,6 ± 8,6	n.a.	66 ± 33	n.a.	n.a.	71 ± 12	
Bleaugency Rive droite			Phanérogame immergée	Myricophylle Myricophyllum spicatum	Parte aérienne	23/05/20	23/10/20	Cendres	34,5 ± 5,0	16,6 ± 2,2	n.a.	12,0 ± 2,5	21,0 ± 3,6	64,6 ± 9,6	
Port de Muldes Rive gauche			Phanérogame immergée	Myricophylle Myricophyllum spicatum	Parte aérienne	23/05/20	30/11/20	Cendres	38,5 ± 5,5	18,9 ± 2,5	n.a.	14,1 ± 2,2	25,8 ± 4,3	68,1 ± 7,9	
Mirans Rive gauche			Phanérogame immergée	Myricophylle Myricophyllum spicatum	Parte aérienne	23/05/20	03/11/20	Cendres	37,8 ± 5,4	11,1 ± 1,5	n.a.	8,3 ± 2,1	15,2 ± 2,9	30,0 ± 3,6	
Tavers Rives gauche et droite			Poisson	Carpe commune Cyprinus carpio	Muscle	08/10/20	15/01/21	Cendres	102 ± 15	< 0,050	n.a.	< 0,12	< 0,17	< 0,30	
Port de Muldes Rives gauche et droite			Poisson	Carpe commune Cyprinus carpio	Muscle	08/10/20	18/01/21	Cendres	100 ± 14	< 0,061	n.a.	< 0,15	< 0,21	< 0,36	

n.a. : non analysé. Les activités sont présentées ± l'incertitude ou <SD.

Tableau 7-25. Activités des radionucléides émetteurs  $\gamma$  d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.

Station	Amont	Aval	Ambiental	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Émetteurs $\gamma$ d'origine artificielle						
										$^{137}\text{Cs}$	$^{134}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{134}\text{Cs}$
Tours Rive droite Port de Mûles Rive gauche				Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/03/20	21/12/20	Sec	< 0,27	4,31 ± 0,52	< 0,53	1,35 ± 0,32	< 0,26	< 0,22	n.a.
				Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/03/20	06/01/21	Sec	< 0,25	3,07 ± 0,33	< 0,56	0,89 ± 0,27	< 0,26	< 0,20	n.a.
				Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/03/20	06/01/21	Sec	< 0,20	4,05 ± 0,50	< 0,66	0,89 ± 0,32	< 0,42	< 0,28	n.a.
Beaugency Rive droite Beaugency Rive droite Port de Mûles Rive gauche Port de Mûles Rive gauche Mûles Rive gauche				Planctogramme Invertegrés	Mysidzella Mysidopisium salsatum	Partie supérieure	23/03/20	28/10/20	Cendres	< 0,110	6,114 ± 0,037	8,278 ± 8,664	0,19 ± 0,11	< 0,060	< 0,18	n.a.
				Planctogramme Invertegrés	Mysidzella Mysidopisium salsatum	Partie supérieure	23/03/20	24/09/20	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	4,2 ± 1,2	
				Planctogramme Invertegrés	Mysidzella Mysidopisium salsatum	Partie supérieure	23/03/20	30/11/20	Cendres	< 0,078	6,485 ± 0,058	8,181 ± 8,653	2,54 ± 0,32	8,266 ± 8,666	< 0,18	n.a.
				Planctogramme Invertegrés	Mysidzella Mysidopisium salsatum	Partie supérieure	23/03/20	26/09/20	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3,21 ± 0,92
				Planctogramme Invertegrés	Mysidzella Mysidopisium salsatum	Partie supérieure	23/03/20	09/11/20	Cendres	< 0,040	6,286 ± 0,059	< 0,10	8,121 ± 8,989	< 0,087	< 0,284	n.a.
				Planctogramme Invertegrés	Mysidzella Mysidopisium salsatum	Partie supérieure	23/03/20	16/01/21	Cendres	< 0,014	6,044 ± 0,014	< 0,210	< 0,017	< 0,079	< 0,215	n.a.
Tours Rives gauche et droite Port de Mûles Rives gauche et droite				Poisson	Carpe commune Cyprinus carpio	Muscle	08/10/20	16/01/21	Cendres	< 0,017	6,032 ± 0,018	< 0,028	< 0,023	< 0,024	< 0,215	n.a.
				Poisson	Carpe commune Cyprinus carpio	Muscle	09/10/20	16/01/21	Cendres	< 0,017	6,032 ± 0,018	< 0,028	< 0,023	< 0,024	< 0,215	n.a.

n.a. : non analysé. Les activités sont présentées à l'incertitude ou <SD.

Amont		Aval						<sup>127</sup> I
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	mg.kg <sup>-1</sup> frais	
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	03/12/20	Lyophilisée	< 7,3	
Port de Muides Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	03/12/20	Lyophilisée	< 8,8	

Tableau 7-26. Teneur en iode stable dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.

Amont		Aval						<sup>3</sup> H libre	
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L <sup>-1</sup>	Bq.kg <sup>-1</sup> frais	
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	08/12/20	Eau de lyophilisation	33,3 ± 4,6	28,2 ± 3,9	
Port de Muides Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	28/10/20	Eau de lyophilisation	44,8 ± 7,6	36,9 ± 6,3	
Tiziers Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	08/10/20	13/01/21	Eau de lyophilisation	10,7 ± 1,6	7,5 ± 1,1	
Port de Muides Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	08/10/20	12/01/21	Eau de lyophilisation	16,7 ± 2,4	12,2 ± 1,8	
Muides-sur-Loire	Eau	Eau de boisson	Entier	07/10/20	10/11/20	Entier	1,34 ± 0,59	-	
Blois	Eau	Eau de boisson	Entier	06/10/20	16/10/20	Entier	5,2 ± 1,3	-	
Courbouzon	Eau	Eau d'irrigation	Entier	04/11/20	13/11/20	Entier	0,83 ± 0,53	-	

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

Tableau 7-27. Activités du tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.

Amont		Aval								<sup>3</sup> H organiquement lié		
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L <sup>-1</sup> d'eau de combustion	Bq.kg <sup>-1</sup> frais	Bq.kg <sup>-1</sup> MO			
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	09/01/21	Eau de combustion	21,9 ± 3,9	1,66 ± 0,33	12,4 ± 2,8			
Port de Muides Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	09/01/21	Eau de combustion	23,5 ± 4,2	1,80 ± 0,43	15,4 ± 3,5			
Taverny Rives gauche et droite	Poisson	Cape commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	09/10/20	11/02/21	Eau de combustion	11,8 ± 2,2	2,30 ± 0,52	8,4 ± 1,8			
Port de Muides Rives gauche et droite	Poisson	Cape commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	09/10/20	17/02/21	Eau de combustion	10,5 ± 2,8	3,51 ± 0,85	14,2 ± 2,6			

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 C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.

Amont		Aval								<sup>14</sup> C		C tot	<sup>13</sup> C/ <sup>14</sup> C	PMOC
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.kg <sup>-1</sup> de C	Bq.kg <sup>-1</sup> frais	g.kg <sup>-1</sup> frais	‰	‰			
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	09/06/21	Lyophilisé	481,6 ± 2,7	28,82 ± 0,15	56	-24,30	194			
Port de Muides Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	09/06/21	Lyophilisé	559,0 ± 3,4	31,90 ± 0,19	57	-25,39	235			
Taverny Rives gauche et droite	Poisson	Cape commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	09/10/20	30/07/21	Lyophilisé	573,2 ± 2,7	100,30 ± 0,47	175	-27,60	241			
Port de Muides Rives gauche et droite	Poisson	Cape commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	09/10/20	30/07/21	Lyophilisé	772,2 ± 3,5	118,89 ± 0,54	154	-26,14	325			

Tableau 7-29. Activités du <sup>14</sup>C dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.



Amont		Aval						<sup>63</sup> Ni
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.kg <sup>-1</sup> .sec	
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	04/04/21	Cendres	< 0,54	
Port de Mûdes Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	04/04/21	Cendres	< 0,80	

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

Tableau 7-30. Activités du <sup>63</sup>Ni dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.

Amont		Aval						<sup>59</sup> Fe
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.kg <sup>-1</sup> .sec	
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	12/03/21	Cendres	< 0,15	
Port de Mûdes Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	14/03/21	Cendres	< 0,28	

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

Tableau 7-31. Activités du <sup>59</sup>Fe dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.

Amont		Aval						Cristaux α			Rapports	
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure		Qualité	Activité (Bq.kg <sup>-1</sup> .sec) (sol, végétal)			Rapports	
					<sup>239</sup> Pu 2000/2000	<sup>241</sup> Au		<sup>239</sup> Pu	<sup>241</sup> Au	<sup>239</sup> Pu/( <sup>239</sup> Pu+ <sup>241</sup> Au)	<sup>241</sup> Au/( <sup>239</sup> Pu+ <sup>241</sup> Au)	
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	19/01/21	04/01/21	Cendres	< 1,1	13,1 ± 3,71	< 0,04	-	-
Port de Mûdes Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	04/01/21	04/01/21	Cendres	< 1,8	16,5 ± 5,8	3,7 ± 2,4	-	0,22 ± 0,22

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

Tableau 7-32. Activité des radionucléides émetteurs alpha dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2020.

Amont	Aval	Aval lointain			
Station	Nature	Date de prélèvement	Date de mesure	Analyses	%
Tavers Rive droite	Sédiment	23/09/20	04/11/20	<b>Granulométrie 5 fractions</b> Argile Limos fins Limos grossiers Sables fins Sables grossiers <b>Teneur en matières organiques</b>	27,75 19,32 12,06 20,28 20,61 13,20
Port de Mûdes Rive gauche	Sédiment	23/09/20	04/11/20	<b>Granulométrie 5 fractions</b> Argile Limos fins Limos grossiers Sables fins Sables grossiers <b>Teneur en matières organiques</b>	26,61 16,41 10,64 22,95 23,39 8,60
Ménars Rive gauche	Sédiment	23/09/20	04/11/20	<b>Granulométrie 5 fractions</b> Argile Limos fins Limos grossiers Sables fins Sables grossiers <b>Teneur en matières organiques</b>	33,50 22,37 15,16 19,32 9,66 16,50

Tableau 7-33. Granulométrie et teneur en matières organiques des échantillons de sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.

## 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 CO<sub>2</sub>, au cœur de la région Centre. Février 2011.
- [4] IRSN. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017. Rapport de mission 2018, 353 p., 2018.
- [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](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](http://www.edf.fr)

CNPE de Saint-Laurent

CS 60042

41220 – Saint-Laurent-Nouan

Tél : 02.54.45.84.14