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

CIVAUX

2020

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

SOMMAIRE

Partie I - Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité 4

de CIVAUX en 2020 4

I. Contexte 4

II. Le CNPE de CIVAUX 4

III. Modifications apportées au voisinage du CNPE de CIVAUX 7

IV. Évolutions scientifiques susceptibles de modifier l'étude d'impact 7

V. Bilan des incidents de fonctionnement et des évènements significatifs pour l'environnement 7

Partie II - Prélèvements d'eau 9

I. Prélèvements d'eau de la VIENNE pour le refroidissement 10

II. Prélèvement d'eau de la Vienne destinée à l'usage industriel 12

III. Prélèvement d'eau potable 13

IV. Milieu de prélèvement : valeurs limites et maintenance 13

Partie III – Restitution et consommation d'eau 15

I. Restitution d'eau 15

II. Consommation d'eau 15

Partie IV - Rejets d'effluents 17

I. Rejets d'effluents à l'atmosphère 17

II. Rejets d'effluents liquides 25

III. Rejets thermiques 40

Partie V - Prévention du risque microbiologique 43

I. Bilan annuel des colonisations en circuit 43

II. Synthèse des traitements biocides et rejets associés 44

Partie VI - Surveillance de l'environnement 46

I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement 46

II. Physico-chimie des eaux souterraines 53

III. Chimie et physico-chimie des eaux de surface 53

IV. Physico-chimie et suivi Hydrobiologique des eaux réceptrices_____ 54
V. Acoustique environnementale _____ 65

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

Partie VIII - Gestion des déchets_____ 69
I. Les déchets radioactifs_____ 70
II. Les déchets non radioactifs _____ 74

ABREVIATIONS _____ 77

ANNEXE 1 : Suivi microbiologique du CNPE de CIVAUX Année 2020_____ 78

ANNEXE 2 : Suivi radio écologique annuel du CNPE de CIVAUX Année 2019_____ 82

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

I. Contexte

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

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

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

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

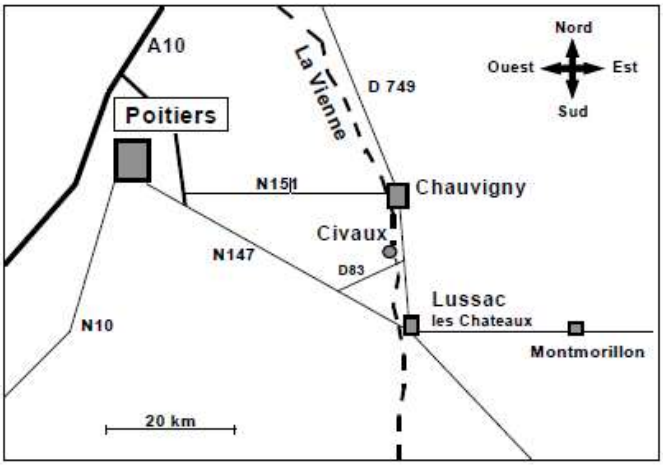
II. Le CNPE de CIVAUX

La centrale de Civaux comprend deux tranches nucléaires de conception identique, du type eau sous pression, d'une puissance unitaire thermique de 4270 MW et d'une puissance unitaire électrique de 1495 MW, refroidies en circuits fermés par des aéroréfrigérants. Ces tranches correspondent aux « Installations Nucléaires de Base » autorisées suivantes : INB n° 158 et 159.

Le centre nucléaire de production d'électricité (CNPE) de Civaux emploie 900 salariés d'EDF et 300 salariés d'entreprises prestataires. Lors des arrêts des unités pour maintenance, le site fait appel à des intervenants supplémentaires (entre 500 et 2 000) pour réaliser des travaux de maintenance.

1. Localisation

La centrale de CIVAUX est située sur la rive gauche de la Vienne, immédiatement en l'aval du bourg de CIVAUX, 6,5 km à l'aval de Lussac-les-châteaux et 16 km en amont de CHAUVIGNY. Le terrain d'implantation de la centrale occupe une emprise de 226 hectares sur la commune de CIVAUX.



Les environs du site : Le terrain d'implantation de la centrale fait partie de la plaine alluviale de la Vienne et est situé au centre de la région agricole des Brandes. Cette région est constituée de sols variés, couverts de prairies limitées par des haies ou dédiés à des cultures céréalières de plus en plus irriguées.

2. Historique

Tranche 1

Cycle de production	Type d'arrêt
Du 29/11/1997 au 12/05/1998, première divergence du réacteur et début du cycle 1	
Le 24/12/1997, première connexion au réseau électrique	Du 12/05/1998 au 09/09/1999, arrêt pour intervention sur circuit RRA voie A
Du 09/09/1999 au 29/03/2001, poursuite cycle 1	Du 29/03/2001 au 05/01/2002, arrêt pour Visite Complète Initiale
Du 05/01/2002 au 14/09/2002, cycle 2	Du 14/09/2002 au 25/10/2002, arrêt pour Simple Rechargement.
Du 25/10/2002 au 05/07/2003, cycle 3	Du 05/07/2003 au 25/08/2003, arrêt pour Simple Rechargement.
Du 25/08/2003 au 18/06/2004, cycle 4	Du 18/06/2004 au 25/07/2004, arrêt pour Simple Rechargement.
Du 25/07/2004 au 14/05/2005, cycle 5	Du 14/05/2005 au 20/07/2005, arrêt pour Visite Partielle
Du 20/07/2005 au 06/05/2006, cycle 6	Du 06/05/2006 au 13/06/2006, arrêt pour Simple Rechargement.
Du 13/06/2006 au 10/03/2007, cycle 7	Du 10/03/2007 au 10/05/2007, arrêt pour Simple Rechargement.
Du 10/05/2007 au 01/03/2008, cycle 8	Du 01/03/2008 au 08/04/2008, arrêt pour Simple Rechargement.
Du 08/04/2008 au 11/04/2009, cycle 9	Du 11/04/2009 au 12/06/2009, arrêt pour Simple Rechargement.
Du 12/06/2009 au 16/04/2010, cycle 10	Du 16/04/2010 au 31/05/2010, arrêt pour Simple Rechargement.
Du 31/05/2010 au 13/08/2011, cycle 11	Du 13/08/2011 au 01/12/2011, arrêt pour Visite Décennale

Cycle de production	Type d'arrêt
Du 01/12/2011 au 25/06/2012, début du cycle 12	Du 25/06/2012 au 02/07/2012, arrêt pour Intervention
Du 02/07/2012 au 30/04/2013, fin du cycle 12	Du 30/04/2013 au 12/08/2013, arrêt pour Simple Rechargement.
Du 12/08/2013 au 13/07/2014, cycle 13	Du 13/07/2014 au 31/10/2014, arrêt pour Simple Rechargement.
Du 31/10/2014 au 12/03/2016, cycle 14	Du 12/03/2016 au 12/05/2016, arrêt pour Simple Rechargement.
Du 12/05/2016 au 20/05/2017, cycle 15	Du 20/05/2017 au 08/09/2017, arrêt pour Visite Partielle
Du 03/09/2017 au 22/09/2018, cycle 16	Du 22/09/2018 au 02/11/2018, arrêt pour Simple Rechargement.
Du 02/11/2018 au 14/03/2020, cycle 17	Du 14/03/2020 au 10/09/2020, arrêt pour visite partielle.
Le 10/09/2020, début du cycle 18	

Tranche 2

Cycle de production	Type d'arrêt
Le 27/11/1999, divergence de la tranche	
Le 24/12/1999, couplage au réseau et début cycle 1	Du 22/11/2001 au 16/03/2002, arrêt pour Visite Complète Initiale
Du 16/03/2002 au 21/12/2002, cycle 2	Du 21/12/2002 au 30/01/2003, arrêt pour Simple Rechargement.
Du 30/01/2003 au 13/09/2003, cycle 3	Du 13/09/2003 au 20/10/2003, arrêt pour Simple Rechargement.
Du 20/10/2003 au 14/08/2004, cycle 4	Du 14/08/2004 au 11/09/2004, arrêt pour Simple Rechargement.
Du 11/09/2004 au 06/08/2005, cycle 5	Du 06/08/2005 au 22/10/2005, arrêt pour Visite Partielle
Du 22/10/2005 au 15/07/2006, cycle 6	Du 15/07/2006 au 08/08/2006, arrêt pour Simple Rechargement.
Du 08/08/2006 au 09/06/2007, cycle 7	Du 09/06/2007 au 05/08/2007, arrêt pour Simple Rechargement.
Du 05/08/2007 au 31/05/2008, cycle 8	Du 31/05/2008 au 29/06/2008, arrêt pour Simple Rechargement.
Du 29/06/2008 au 11/07/2009, cycle 9	Du 11/07/2009 au 13/09/2009, arrêt pour Simple Rechargement.
Du 13/09/2009 au 15/10/2010, cycle 10	Du 15/10/2010 au 24/11/2010, arrêt pour Simple Rechargement.
Du 24/11/2010 au 30/10/2011, début du cycle 11	Du 30/10/2011 au 24/11/2011, arrêt pour intervention 2GEV001TP phase 4
Du 24/11/2011 au 18/02/2012, fin du cycle 11	Du 18/02/2012 au 30/09/2012, arrêt pour Visite Décennale et contrôle GMPP
Du 30/09/2012 au 12/11/2013, cycle 12	Du 12/11/2013 au 01/03/2014, arrêt pour Simple Rechargement.
Du 01/03/2014 au 25/04/2015, cycle 13	Du 25/04/2014 au 22/07/2015, arrêt pour Simple Rechargement.
Du 22/07/2015 au 10/09/2016, cycle 14	Du 10/09/2016 au 26/01/2017, arrêt pour Simple Rechargement

Cycle de production	Type d'arrêt
Du 27/01/2017 au 17/03/2018, cycle 15	Du 17/03/2018 au 30/06/2018, arrêt pour Visite Partielle.
Du 30/06/2018 au 19/07/2019, cycle 16	Du 19/07/2019 au 05/09/2019, arrêt pour simple rechargement
Du 05/09/2019 au 30/01/2021, cycle 17	Depuis le 30/01/2021, arrêt pour visite partielle en cours

III. Modifications apportées au voisinage du CNPE de CIVAUX

La surveillance de l'environnement industriel est réalisée en application d'une prescription interne d'EDF. Lors de l'année 2020, aucune modification notable au voisinage du CNPE de CIVAUX 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'étanolamine, de sous-produits issus des traitements biocides, dégradation de la monochloramine et de l'hydrazine dans l'environnement etc.).

EDF mène également des études afin d'améliorer la connaissance de l'incidence de ses rejets sur l'homme et l'environnement. Ces évaluations d'impact nécessitent en effet l'utilisation de valeurs de référence qui font l'objet d'une veille scientifique :

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

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

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

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

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

1 Bilan des évènements significatifs pour l'environnement déclarés

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

Typologie	Date	Description de l'évènement	Principales actions correctives
ESE 6	17/01/2020	Perte de 370kg de fluide frigorigène R134a sur 1DEG031GF (impact environnement : émissions de gaz à effet de serre)	Réalisation d'un programme pluriannuel de remplacement des groupes froids fuyards.
ESE 6	01/09/2020	Déclaration du cumul annuel des pertes de fluides frigorigènes (impact environnement : émissions de gaz à effet de serre)	
ESE 1	01/12/2020	Dépassement du seuil de décision en activité bêta-total de la chaine 0KRT101MA du BTE sur la 4ème période de novembre 2020.	Sécurisation du confinement des différentes zones du BTE.

2 Bilan des incidents de fonctionnement

Le CNPE de CIVAUX n'a pas eu, durant l'année 2020, d'indisponibilité notable sur des matériels tels que :

- les dispositifs de traitement des effluents et de prélèvement,
- les dispositifs de mesure et de surveillance,
- les réservoirs d'entreposage d'effluents.

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 Vienne. Au contact de ces tubes, la vapeur se condense.
  Sur les fleuves ou les rivières dont le débit est plus faible comme pour la Vienne, les CNPE fonctionnent avec un circuit en partie fermé : Le refroidissement de l'eau chaude issue du condenseur se fait par échange avec de l'air froid dans une grande tour réfrigérante atmosphérique appelée « aéroréfrigérant ». Une partie de l'eau est vaporisée sous forme d'un panache visible, quand le CNPE fonctionne, au sommet de la tour. Le reste de l'eau refroidie retourne dans le condenseur. Avec ce système, le prélèvement en eau est beaucoup moins important, seulement de l'ordre de 2 m3 par seconde par tranche.

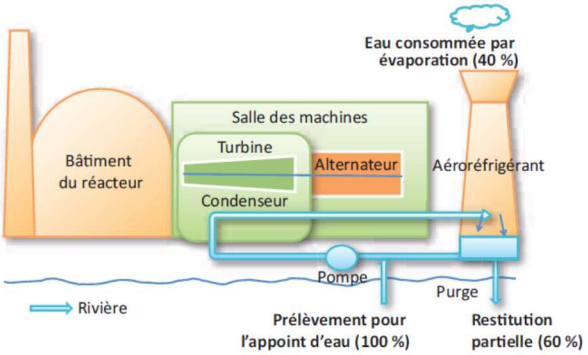


Figure 1 : Schéma d'un CNPE avec un circuit de refroidissement fermé (Source : EDF)

Annuellement, en moyenne, le volume d'eau nécessaire au fonctionnement du circuit de refroidissement d'un réacteur de CIVAUX est d'environ 50 millions de mètres cubes, le refroidissement étant assuré par un aéroréfrigérant, soit respectivement un besoin de 6 litres d'eau prélevés pour produire 1 kWh.

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

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

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

I. Prélèvements d'eau de la VIENNE pour le refroidissement

1. Cumul mensuel

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel du prélèvement dans le milieu naturel de l'année 2020.

	Prélèvement d'eau (en millions de m^3)
Janvier	9,56
Février	9,57

Mars	7,48
Avril	5,03
Mai	3,87
Juin	3,80
Juillet	4,73
Août	7,18
Septembre	8,32
Octobre	10,04
Novembre	9,98
Décembre	10,29
TOTAL	89,84

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

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

Année	Milieu	Volume total prélevé (m^3)	Volume prélevé pour le refroidissement (m3)
2018	Eau de Vienne	104 042 213	102 0313 74
2019		115 349 040	114 240 040
2020		91 307 793	89 841 984
Prévisionnel 2020		110 000 000	/

Commentaires : Le volume annuel d'eau prélevé est inférieur au prévisionnel qui avait été défini pour l'année 2020, compte tenu des modifications de programme industriel liées à la crise sanitaire (prolongation arrêt de TR1 et fonctionnement à charge réduite de la TR2). Le volume total (eaux de refroidissement + eaux à usage industriel), de 91,307 millions de m3, est porté à 91,365 millions de m^3 en considérant les essais périodiques des pompes incendies.

3. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des volumes annuels d'eau prélevés cette année avec les valeurs limites de prélèvement fixées par la décision ASN n°2009-DC-0138 dans sa version modifiée par la décision ASN n°2011-DC-0234.

Limites de prélèvement			Prélèvement	
Prescriptions	**Valeur**	**Unité**	**Valeur maximale**	**Valeur moyenne**
Débit instantané	6	m^3 / s	3,89	2.84
Volume journalier	432 000	m^3	335 719	245 483
Volume annuel	120 000 000	m^3	89 841 984	/

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

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

Aucune opération de curage de la prise d'eau en Vienne n'a été réalisée en 2020.

5. Opérations exceptionnelles de prélèvements en Vienne.

Le CNPE de CIVAUX n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de prélèvement d'eau dans le milieu en 2020.

II. Prélèvement d'eau de la Vienne destinée à l'usage industriel

1. Cumul mensuel

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel du prélèvement dans le milieu naturel de l'année 2020.

	Prélèvement d'eau (en millions de m^3)
Janvier	0,12
Février	0,11
Mars	0,14
Avril	0,14
Mai	0,13
Juin	0,14
Juillet	0,15
Août	0,11
Septembre	0,10
Octobre	0,11
Novembre	0,11
Décembre	0,11
TOTAL	1,47

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

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

Année	Milieu	Volume prélevé pour usage industriel (millier de m3)
2018	Eau de Vienne	2 011
2019		1 109
2020		1 466
Prévisionnel 2020		/

Commentaires : Le volume annuel d'eau prélevé pour l'usage industriel est cohérent par rapport au volume prélevé les années précédentes. Il n'y a pas de prévisionnel établi sur les prélèvements liés à l'usage industriel, le prévisionnel porte sur le volume total prélevé (refroidissement + industriel).

III. Prélèvement d'eau potable

1. Cumul annuel et comparaison pluriannuelle et au prévisionnel des prélèvements d'eau pour 2020

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

Année	Milieu	Volume (m^3)
2018	Eau Potable	47 610
2019		63 400
2020		28 177
Prévisionnel 2020		60 000

Commentaires : Le volume annuel de consommation d'eau potable est inférieur à celui prévu, d'une part suite à la réparation des fuites qui avaient entraîné une surconsommation en 2019, et d'autre part suite à la crise sanitaire, pendant laquelle les effectifs ont été fortement réduits sur le site pendant plusieurs mois.

IV. Milieu de prélèvement : valeurs limites et maintenance

1. 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°2009-DC-0138 modifiée par la décision n°2011-DC-0234.

Milieu	Limites de prélèvement		Prélèvement		Unité
	Prescriptions	Valeur	Valeur maximale	Valeur moyenne	
Vienne	Débit instantané	6	3.93	2.89	m^3 / s
	Volume journalier	432 000	339 732	249 496	m^3
	Volume annuel	120	91.31		millions de m^3

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

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

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

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'Ilot 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 CIVAUX, la solution retenue est la réalisation de puits de pompage en nappe phréatique. Le début des travaux est prévu pour mai 2021.

3. Opérations exceptionnelles de prélèvements

Le CNPE de Civaux n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de prélèvement d'eau dans la Vienne en 2020.

Partie III – Restitution et consommation d'eau

I. Restitution d'eau

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

		Restitution d'eau				Unité
		Eau de refroidissement	Rejet radioactifs	Rejets industriels	Rejets d'eaux évaporées	
Restitution mensuelle	Janvier	6,29	0,0142	0,0566	3,27	millions de m^3
	Février	5,77	0,0097	0,0604	3,80	
	Mars	4,43	0,0119	0,0719	3,04	
	Avril	2,71	0,0063	0,0658	2,32	
	Mai	2,86	0,0080	0,0633	1,01	
	Juin	2,64	0,0049	0,0540	1,17	
	Juillet	2,77	0,0026	0,0737	1,96	
	Août	5,85	0,0134	0,0260	1,33	
	Septembre	5,92	0,0111	0,0072	2,41	
	Octobre	5,94	0,0098	0,0484	4,10	
	Novembre	5,78	0,0067	0,0580	4,20	
	Décembre	6,13	0,0085	0,0655	4,16	
TOTAL	Restitution au milieu aquatique	**57,84**				millions de m^3
	Pourcentage de restitution d'eau au milieu aquatique par rapport au prélèvement	**63,32**				%
	Restitution globale	90,60				millions de m^3
	Pourcentage de restitution d'eau globale par rapport au prélèvement	99,19				%

II. Consommation d'eau

1. Cumul mensuel

La consommation d'eau correspond à la différence entre la quantité d'eau prélevée et la quantité d'eau restituée au milieu aquatique. Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel de consommation d'eau de l'année 2020.

	Consommation d'eau de Vienne (en millions de m3)
Janvier	0,052
Février	0,043
Mars	0,059
Avril	0,063
Mai	0,061
Juin	0,080
Juillet	0,070
Août	0,069
Septembre	0,085
Octobre	0,049
Novembre	0,041
Décembre	0,036
TOTAL (en millions de m3)	0,708

2. Comparaison aux valeurs limites

Limites d'évaporation		Fraction évaporée		Unité
Prescriptions	**Valeur**	**Valeur maximale**	**Valeur moyenne**	
Débit instantané	1.7	1.29	1.03	m^3 / s
Volume journalier	146 900	111 077	88 745	m^3
Volume annuel	51	32,76		millions de m^3

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

Partie IV - Rejets d'effluents

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

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

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

Les rejets d'effluents se présentent sous différentes formes :

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

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

I. Rejets d'effluents à l'atmosphère

1. Rejets d'effluents à l'atmosphère radioactifs

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

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

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

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

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

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

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

a. Règles spécifiques de comptabilisation

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

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

radionucléides dont l'activité mesurée est inférieure au seuil de décision[1] donnent lieu à une comptabilisation d'activité rejetée égale au SD.

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

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

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

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

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

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

c. Cumul mensuel

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

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

	^{41}Ar (GBq)	^{85}Kr (GBq)	^{131m}Xe (GBq)	^{133}Xe (GBq)	^{135}Xe (GBq)	^{133m}Xe (GBq)	^{131}I (GBq)	^{132}I (GBq)	^{133}I (GBq)	^{58}Co (GBq)	^{60}Co (GBq)	^{134}Cs (GBq)	^{137}Cs (GBq)
Janvier	2,16E+00	4,39E-02	1,82E-02	1,60E+01	1,01E+01	/	2,17E-04	/	4,12E-04	2,77E-05	3,68E-05	2,26E-05	2,79E-05
Février	1,34E+00	5,04E+00	4,72E-02	1,43E+01	8,99E+00	/	3,54E-04	/	3,58E-04	2,71E-05	3,66E-05	2,13E-05	2,75E-05
Mars	9,43E-01	2,10E+00	8,63E-02	3,66E+01	9,78E+00	/	2,75E-03	5,21E-03	6,16E-03	2,86E-05	3,31E-05	2,15E-05	2,59E-05
Avril	8,34E-01	8,98E+00	1,71E-01	1,95E+01	1,08E+01	/	1,13E-03	/	4,45E-04	5,09 E-05	1,51E-04	2,63E-05	3,13E-05
Mai	2,36E-01	1,32E+01	1,36E-03	1,59E+01	9,63E+00	/	1,09E-04	/	3,66E-04	2,46E-05	4,19E-05	2,14E-05	2,66E-05
Juin	5,70E-01	8,57E+00	3,55E-02	1,53E+01	9,55E+00	/	7,04E-05	/	3,82E-04	2,78E-05	1,15E-04	2,12E-05	2,73E-05
Juillet	7,25E-01	2,45E-01	6,17E-02	1,56E+01	9,79E+00	/	7,63E-05	/	4,22E-04	2,82E-05	4,35E-05	2,29E-05	2,98E-05
Août	2,07E-01	/	/	1,44E+01	9,07E+00	/	1,17E-04	/	3,36E-04	2,71E-05	3,88E-05	2,12E-05	2,74E-05
Septembre	9,95E-01	/	/	1,28E+01	7,75E+00	/	7,42E-05	/	3,89E-04	2,43E-05	3,51E-05	2,09E-05	2,44E-05
Octobre	1,39E+00	3,01E+00	1,27E-03	1,45E+01	9,10E+00	/	6,75E-05	/	3,81E-04	2,30E-05	3,61E-05	1,96E-05	2,48E-05
Novembre	1,94E+00	4,55E+00	4,79E-03	1,45E+01	8,32E+00	/	9,71E-05	/	4,24E-04	2,45E-05	3,83E-05	4,11E-05	2,46E-05
Décembre	2,19E+00	5,22E+00	2,73E-02	1,60E+01	9,69E+00	4,75E-3	6,67E-04	/	1,13E-03	2,64E-05	3,78E-05	2,30E-05	2,58E-05
TOTAL ANNUEL	1,35E+01	5,10E+01	4,55E-01	2,05E+02	1,13E+02	4,75E-3	5,73E-03	5,21E-03	1,12E-02	3,40E-04	6,44E-04	2,83E-04	3,23E-04

	Volumes rejetés (m^3)	Activités gaz rares (GBq)	Activité Tritium (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Iodes (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)
Janvier	3,09E+08	2,84E+01	1,04E+02	/	6,287E-04	1,150E-04
Février	2,79E+08	2,97E+01	8,12E+01	/	7,112E-04	1,124E-04
Mars	3,15E+08	4,95E+01	8,47E+01	2,463E+01	1,412E-02	1,092E-04
Avril	3,39E+08	4,03E+01	1,35E+02	/	1,570E-03	2,596E-04
Mai	3,05E+08	3,90E+01	1,02E+02	/	4,750E-04	1,145E-04
Juin	2,99E+08	3,41E+01	9,96E+01	1,555E+02	4,524E-04	1,914E-04
Juillet	3,27E+08	2,65E+01	1,09E+02	/	4,983E-04	1,244E-04
Août	2,89E+08	2,36E+01	6,93E+01	/	4,532E-04	1,145E-04
Septembre	2,68E+08	2,16E+01	6,58E+01	1,474E+01	4,627E-04	1,047E-04
Octobre	2,76E+08	2,80E+01	8,16E+01	/	4,488E-04	1,035E-04
Novembre	2,72E+08	2,93E+01	7,65E+01	/	5,211E-04	1,285E-04
Décembre	2,95E+08	3,31E+01	8,68E+01	9,290E+00	1,800E-03	1,130E-04
TOTAL ANNUEL	3,57E+09	3,83E+02	1,09E+03	2,04E+02	2,21E-02	1,59E-03

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 rejets de l'année 2020 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2020 :

Année	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)				
	Gaz rares	Tritium	Carbone 14	Iodes	Autres produits de fission et d'activation
2018	1,89E+03	1,37E+03	2,18E+02	7,65E-02	1,95E-03
2019	4,78E+02	1,39E+03	2,39E+02	1,56E-02	1,36E-03
2020	**3,81E+02**	**1,09E+03**	**2,04E+02**	**2,21E-02**	**1,59E-03**
Prévisionnel 2020	8,00E+02	1,50E+03	2,00E+02	4,00E-02	3,00E-03

Commentaires : Les rejets radioactifs à l'atmosphère sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2020.

e. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2020 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2009-DC-0139 de l'Autorité de Sûreté Nucléaire du 2 juin 2009 fixant les limites de rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux des installations nucléaires de base n° 158 et n° 159 exploitées par EDF-SA sur la commune de Civaux.

		Limites annuelles de rejet		Rejet	
Paramètres	**Localisation prélèvement**	**Prescriptions**	**Valeur**	**Valeur maximale**	**Valeur moyenne**
Gaz rares	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	2,50E+04	4,95E+01	3,19E+01
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	/	/	/
		Débit moyen journalier (Bq/jour)	5,00E+07	8 ,61E+05	5,90E+03
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	/	/	/
		Débit moyen journalier (Bq/jour)	5,00E+07	6,00E+05	4,01E+03
Carbone 14	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	1,40E+03	1,56E+02	5,10E+01
Tritium	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	5,00E+03	1,35E+02	9,12E+01
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	5,00E+06	4,48E+04	1,77E+04
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	5,00E+06	3,18E+04	1,71E+04
Iodes	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	8,00E-01	1,41E-02	1,85E-03
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	5,00E+02	9,98E+00	3,24E-01
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	5,00E+02	1,11E+01	4,16E-01
Autres produits de fission et produits d'activation	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	1,00E-01	2,60E-04	1,33E-04
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	5,00E+02	1,32E-01	2,97E-02
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	5,00E+02	8,11E-02	2,13E-02

Commentaires : Les rejets radioactifs à l'atmosphère respectent les valeurs limites de rejet de la décision ASN n° 2009-DC-0139. Les débits instantanés ont respecté les valeurs de la décision ASN n° 2009-DC-0139 tout au long de l'année 2020.

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

Les rejets radioactifs diffus ont notamment pour origine :

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

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

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

	Volume (m^3)	Rejets de vapeur du circuit secondaire		Rejets au niveau des évents des réservoirs d'eau de refroidissement des piscines et d'entreposage des effluents liquides	
		Tritium (Bq)	Iodes (Bq)	Tritium (Bq)	Iodes (Bq)
Janvier	2,09E+04	0	0	2,11E+08	0
Février	1,70E+04	0	0	2,44E+08	0
Mars	1,78E+04	0	0	6,95E+07	0
Avril	8,47E+03	0	0	8,51E+07	0
Mai	1,53E+04	2,00E+08	0	4,84E+07	0
Juin	3,67E+03	0	0	2,37E+07	0
Juillet	1,17E+04	0	0	1,00E+08	0
Août	5,18E+03	0	0	1,05E+07	0
Septembre	1,71E+04	2,16E+08	0	1,70E+07	0
Octobre	8,59E+03	0	0	8,30E+07	0
Novembre	6,71E+03	0	0	7,46E+07	0
Décembre	1,66E+04	1,04E+09	0	1,07E+08	0
TOTAL ANNUEL	1,49E+05	1,46E+09	0	1,07E+09	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 (SO2, NOX) de ces matériels de petites puissances sont faibles sachant qu'ils ne fonctionnent que peu de temps (moins de 50 h/an par diesel) lors des essais périodiques ou d'incidents.
- Les émissions de fluides frigorigènes. En effet, un CNPE est équipée de groupes frigorifiques pour assurer la production d'eau glacée et pour la réfrigération des locaux techniques et administratifs. Ces matériels utilisent des produits pouvant accroître l'effet de serre. Le fonctionnement des matériels et les opérations de maintenance conduisent à des émissions de fluides frigorigène. Ces émissions sont réglementairement déclarées et comptabilisées et des actions sont prises pour remédier à la situation.
- Les opérations de maintenance effectuées dans les bâtiments réacteur des CNPE : Lors de ces opérations, une quantité plus ou moins importante de calorifuges est changée par des produits neufs. Pendant les phases de montée en température correspondant à la remise en service des installations, certains types de calorifuges émettent, par dégradation thermique, des vapeurs formolées dans l'enceinte, qui peuvent être à l'origine de rejets de monoxyde de carbone.
- Le conditionnement de circuit à l'arrêt : à l'occasion des arrêts de tranche pour une durée supérieure à une semaine, la conservation humide des générateurs de vapeur permet de s'affranchir du risque de corrosion des matériaux constitutifs et de disposer d'une barrière biologique (écran d'eau) pour réaliser des travaux environnants. Les générateurs de vapeur sont alors remplis avec de l'eau déminéralisée conditionnée à l'hydrazine et additionnée avec de l'ammoniaque dans des proportions définies dans les spécifications chimiques de conservation à l'arrêt.

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

La quantité annuelle évaluée d'oxyde de soufre (SOx) et d'azote (NOx) rejetée dans l'atmosphère lors du fonctionnement périodique des groupes électrogènes de secours (2 moteurs Diesels par tranche) ayant fonctionné pendant 109 heures, de la turbine à combustion (1 TAC pour le site) ayant fonctionné pendant 19 heures et des diesels d'ultime secours (1 DUS par tranche) ayant fonctionné pendant 85 heures, au total sur les 2 tranches pour 2020 est de :

Paramètre	Unité	Groupes électrogènes	TAC DUS	TOTAL
SOx	kg	2,1	0,6 (TAC) 0,2 (DUS)	2,9
NOx	kg	304	85,7 (TAC) 31,7 (DUS)	421,4

b. Rejets de formaldéhyde et de monoxyde de carbone

En 2020, 3,35 m^3 de calorifuges dans les enceintes du bâtiment réacteur de l'unité 1 ont été renouvelés.

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

Concentration calculée	Unité	Paramètres	EBA	ETY
Concentration maximale ajoutée dans l'atmosphère	mg/m^3	Formaldéhyde	5,54^E-4	1,25^E-5
		Monoxyde de carbone	5,17^E-4	1,17^E-5

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

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

Paramètre	Unité	TOTAL
Ammoniac	kg	121
Ethanolamine		4,4

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

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

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

Paramètre	Unité	TOTAL
Chloro-fluoro-carbone (CFC)	Kg	0
Hydrogéno-chloro-fluor-carbone (HCFC)		7,6
Hydrogéno-fluoro-carbone (HFC)		503,6
Hexafluorure de soufre (SF6)		5,96

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

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

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

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

II. Rejets d'effluents liquides

1. Rejets d'effluents liquides radioactifs

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

- Les effluents provenant du circuit primaire dits « effluents primaires hydrogénés » contiennent des gaz de fission (xénons, iodes, césiums, ...) et des produits d'activation (cobalts, manganèse, tritium, carbone 14...) et de fission. Ces effluents sont

essentiellement produits en phase d'exploitation du fait des mouvements d'eau primaire effectués lors des variations de puissance ou de l'ajustement des paramètres chimiques de l'eau du réacteur…).

- Les effluents issus des circuits auxiliaires dits « effluents usés » constituent le reste des effluents. Ils résultent principalement des opérations de maintenance nécessitant des vidanges de circuit (filtres, déminéraliseurs, échangeurs…), des opérations d'évacuation du combustible usé et de conditionnement des résines usées, des actions de maintien de la propreté des installations (lavage du sol et du linge).

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

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

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

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

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

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

a. Règles spécifiques de comptabilisation

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

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

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

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

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

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

Le tableau ci-dessous est un rappel du spectre de référence des rejets radioactifs liquides.

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

c. Cumul mensuel

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

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

	^{131}I (GBq)	^{54}Mn (GBq)	^{63}Ni (GBq)	^{58}Co (GBq)	^{60}Co (GBq)	^{110m}Ag (GBq)	^{123m}Te (GBq)	^{124}Sb (GBq)	^{125}Sb (GBq)	^{134}Cs (GBq)	^{137}Cs (GBq)
Janvier	3,01E-04	3,33E-04	1,50E-03	3,00E-04	3,70E-03	1,04E-03	8,05E-04	2,94E-04	8,12E-04	3,09E-04	3,79E-04
Février	4,98E-04	5,61E-04	2,25E-03	4,97E-04	3,36E-03	5,64E-04	4,68E-04	4,86E-04	1,37E-03	5,06E-04	6,13E-04
Mars	3,09E-04	3,36E-04	1,13E-03	3,03E-04	4,80E-03	9,24E-04	4,61E-04	2,91E-04	7,96E-04	3,16E-04	5,89E-04
Avril	3,20E-04	3,51E-04	1,57E-03	3,33E-04	2,90E-03	3,89E-04	2,17E-04	3,33E-04	8,96E-04	4,04E-04	7,54E-04
Mai	1,92E-04	1,88E-04	8,44E-04	1,91E-04	1,70E-03	4,33E-04	1,19E-04	1,95E-04	5,19E-04	4,95E-04	1,42E-03
Juin	1,55E-04	1,75E-04	6,60E-04	1,75E-04	2,38E-03	2,65E-03	4,68E-04	1,55E-04	4,57E-04	1,65E-04	4,10E-04
Juillet	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Août	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Septembre	1,31E-04	1,77E-04	6,01E-04	1,44E-04	3,29E-03	4,66E-03	4,53E-04	6,26E-04	3,78E-04	1,99E-04	1,20E-03
Octobre	5,21E-04	5,78E-04	1,88E-03	5,37E-04	1,12E-02	1,23E-02	1,60E-03	5,34E-04	1,40E-03	5,52E-04	7,55E-04
Novembre	2,18E-04	2,62E-04	9,03E-04	2,35E-04	4,45E-03	1,30E-03	1,70E-04	2,13E-04	6,09E-04	2,24E-04	2,70E-04
Décembre	3,47E-04	3,84E-04	1,11E-03	3,84E-04	2,35E-03	1,44E-03	5,43E-04	3,15E-04	9,20E-04	3,60E-04	7,35E-04
TOTAL ANNUEL	**2,99E-03**	**3,35E-03**	**1,24E-02**	**3,06E-03**	**4,10E-02**	**2,57E-02**	**5,31E-03**	**3,44E-03**	**8,15E-03**	**3,53E-03**	**7,13E-03**

	Volumes rejetés (m^3)	Activité Tritium (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Iodes (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)
Janvier	1,43E+04	1,14E+04	1,90E+00	3,01E-04	7,96E-03
Février	9,68E+03	1,78E+04	6,66E+00	4,99E-04	8,43E-03
Mars	1,19E+04	5,22E+03	4,72E+00	3,09E-04	8,82E-03
Avril	6,33E+03	4,30E+03	4,18E+00	3,20E-04	6,58E-03
Mai	7,97E+03	2,53E+03	4,26E+00	1,92E-04	5,27E-03
Juin	4,94E+03	1,02E+03	8,14E-01	1,55E-04	7,03E-03
Juillet	2,62E+03	1,97E-02	/	/	/
Août	1,34E+04	9,92E-02	/	/	/
Septembre	1,11E+04	2,79E+02	6,43E-02	1,31E-04	1,11E-02
Octobre	9,83E+03	5,04E+03	3,82E+00	5,21E-04	3,04E-02
Novembre	6,71E+03	4,78E+03	5,61E+00	2,18E-04	7,73E-03
Décembre	8,53E+03	7,70E+03	7,21E+00	3,47E-04	7,40E-03
TOTAL ANNUEL	**1,07E+05**	**6,01E+04**	**3,92E+01**	**2,99E-03**	**1,01E-01**

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

d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)			
	Tritium	**Carbone 14**	**Iodes (MBq)**	**Autres PA et PF (MBq)**
2018	6,99E+04	3,13E+01	3,53E+00	3,23E+02
2019	7,00E+04	2,53E+01	2,49E+00	1,60E+02
2020	6,01E+04	3,92E+01	2,90E+00	1,01E+02
Prévisionnel 2020	7,70E+04	2,00E+01	4,00E+00	2,00E+02

Commentaires : Les rejets radioactifs liquides sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2020.

e. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2020 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision n°2009-DC-0138 modifiée.

	Limites annuelles de rejet		Rejet	
Paramètres	**Prescriptions**	**Valeur**	**Valeur maximale (GBq)**	**Valeur moyenne (GBq)**
Tritium	Activité annuelle rejetée (GBq)	9,00E+04	1,78E+04	6,01E+03
Carbone 14	Activité annuelle rejetée (GBq)	1,90E+02	7,21E+00	3,92E+00
Iodes	Activité annuelle rejetée (GBq)	1,00E-01	5,21E-04	2,99E-04
Autres PA et PF	Activité annuelle rejetée (GBq)	5,00E+00	3,04E-02	1,01E-02

Commentaires : Les limites réglementaires de rejets ont été respectées.

f. Surveillance des eaux réceptrices

Des prélèvements d'eau de Vienne sont réalisés lors de chaque rejet d'effluents liquides radioactifs (à mi-rejet). Des prélèvements journaliers sont également réalisés en dehors des périodes de rejet. Plusieurs analyses sont réalisées sur ces échantillons d'eau filtrée (mesure de l'activité bêta globale, du tritium et de la teneur en potassium sur l'eau et mesures de l'activité bêta globale sur les matières en suspension). Ces analyses permettent de s'assurer du respect des valeurs d'activité volumique limites fixées par la réglementation.

Les résultats des mesures réalisées sur les eaux de surface pour l'année 2020 sont donnés dans le tableau suivant (valeurs moyennes et maximales).

	Paramètre analysé	Activité volumique horaire à mi-rejet			Activité volumique : moyenne journalière		
		Valeur moyenne mesurée en 2020	Valeur maximale mesurée en 2020	Limite réglementaire	Valeur moyenne mesurée en 2020	Valeur maximale mesurée en 2020	Limite réglementaire
Eau filtrée	Activité bêta globale	0,173 Bq/L	0,329 Bq/L	2 Bq/L	-	-	-
	Tritium	45,4 Bq/L	73,3 Bq/L	280 Bq/L	44,2 Bq/L	67,9 Bq/L	140(1) / 100(2) Bq/L
	Potassium	2,40mg/L	3,56mg/L	-	-	-	-
Matières en suspension	Activité bêta globale	0,055 Bq/kg sec	0,083 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 2020 sont cohérentes avec les valeurs attendues du fait des rejets d'effluents autorisés du CNPE. Les mesures d'activité bêta globale et de l'activité en tritium dans l'eau sont très inférieures aux limites réglementaires.

2. Rejets d'effluents liquides chimiques

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

Ces rejets d'effluents chimiques sont issus :

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

Les principales substances utilisées sont :

- l'acide borique (H_3BO_3) : le bore contenu dans cet acide est « avide » des neutrons produits lors de la réaction nucléaire. C'est une substance neutrophage, qui permet

donc le contrôle de la réaction de fission et donc le pilotage du réacteur. Ce bore est dissous dans l'eau du circuit primaire.

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

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

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

Les circuits fermés de refroidissement des condenseurs véhiculent de l'eau chaude dans laquelle peuvent se développer des salissures et des micro-organismes. Pour limiter leur développement 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.

a. Etat des connaissances sur la toxicité de la morpholine / de l'éthanolamine et de leurs produits dérivés

« Il n'y a pas d'évolution récente des connaissances sur la toxicité de l'éthanolamine et des sous-produits associés. Les principaux effets connus sont rappelés ci-après.
– L'éthanolamine a des propriétés irritantes (oculaire, cutané, brûlure d'œsophage dans le cas de l'ingestion) et corrosives. Aucune VTR issue des bases de données de référence n'est associée à cette substance.
– Les produits de dégradation de l'éthanolamine sont constitués des ions acétates, formiates, glycolates et oxalates, ainsi que de méthylamine et d'éthylamine. Il s'agit de substances

irritantes voire corrosives, qui sont faiblement toxiques dans les conditions de rejet. Aucune VTR issue des bases de données de référence n'est associée à ces substances.
L'étude d'impact n'a pas mis en évidence de risque sanitaire attribuable aux rejets liquides d'éthanolamine et de ses produits dérivés. »

b. Règles spécifiques de comptabilisation

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

c. Rejets d'effluents liquides chimiques via l'émissaire principal

i. Cumul mensuel

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

	Acide borique (kg)	Lithine en Li (kg)	Hydrazine (kg)	Ethanolamine (kg)	Azote (kg)	Détergents (kg)	DCO (kg)	MES (kg)	Phosphates (kg)	Métaux totaux (kg)	Sodium (kg)	Chlorures (kg)	Sulfates issus de T, S, Ex (kg)
Janvier	9,72E+02	1,30E-01	4,16E-02	7,60E-01	1,54E+02	1,42E+01	4,80E+01	1,40E+01	1,34E+00	2,52E+00	4,39E+03	6,51E+03	1,20E+01
Février	6,22E+02	1,10E-01	2,42E-02	3,13E-01	7,63E+01	9,68E+00	2,90E+01	9,70E+00	2,85E+00	1,48E+00	3,22E+03	4,85E+03	4,70E+00
Mars	4,56E+02	2,60E-01	8,09E-02	1,76E+00	9,31E+01	1,19E+01	8,20E+01	2,50E+01	1,26E+01	2,76E+00	2,47E+03	3,76E+03	1,60E+01
Avril	2,89E+01	3,90E-02	1,58E-02	5,68E-01	4,21E+01	6,33E+00	1,90E+01	1,10E+01	7,06E+00	1,39E+00	2,28E+03	3,66E+03	1,00E+01
Mai	1,84E+01	2,90E-01	2,16E-02	1,99E-01	4,56E+01	7,97E+00	7,30E+01	6,00E+01	8,74E+00	4,59E+00	2,99E+03	4,84E+03	1,50E+01
Juin	5,05E+02	6,70E-02	1,24E-02	1,24E-01	1,11E+01	4,95E+00	4,10E+01	1,20E+01	1,71E+01	1,19E+00	1,25E+03	2,42E+03	1,20E+01
Juillet	/	/	6,50E-03	6,50E-02	3,06E+00	2,62E+00	2,10E+01	2,60E+00	1,54E+00	5,33E-01	1,75E+03	4,07E+03	1,20E+01
Août	/	/	3,50E-02	3,35E-01	2,57E+01	1,34E+01	4,00E+01	1,30E+01	2,96E+00	6,49E+00	5,57E+03	9,01E+03	3,20E+01
Septembre	5,30E+02	1,50E-02	2,77E-02	2,77E-01	3,30E+01	2,20E+01	6,40E+01	1,10E+01	1,20E+01	2,80E+00	4,87E+03	7,20E+03	1,10E+01
Octobre	1,81E+03	5,40E-02	2,93E-02	2,47E-01	2,52E+01	9,83E+00	8,30E+01	4,20E+01	4,91E+01	8,24E+00	2,71E+03	4,69E+03	9,10E+00
Novembre	5,01E+02	2,60E-02	1,67E-02	1,67E-01	4,07E+01	6,71E+00	2,10E+01	8,20E+00	3,31E+01	1,33E+00	2,18E+03	4,17E+03	5,60E+00
Décembre	1,07E+03	2,60E-02	2,12E-02	2,12E-01	1,14E+02	8,53E+00	2,50E+01	1,08E+01	1,13E+01	2,53E+00	2,72E+03	4,99E+03	5,60E+00
TOTAL ANNUEL	**6,51E+03**	**1,02E+00**	**3,33E-01**	**5,03E+00**	**6,64E+02**	**1,18E+02**	**5,45E+02**	**2,20E+02**	**1,60E+02**	**3,59E+01**	**3,64E+04**	6,02E+04	**1,45E+02**

ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

Substances	Unité	2018	2019	2020	Prévisionnel 2020
Acide borique	kg	8633,6	6790,7	6510	8000
Hydrazine	kg	0,372	0,415	0,33	0,5
Ethanolamine	kg	2,07	3,01	5,03	4
Détergents	kg	134,93	408,35	118	100
Azote	kg	632,8	754,5	664	900
Phosphates	kg	254,6	274,7	160	550
Sodium	kg	30 582	25 794	36 400	40 000
Chlorures	kg	38 545	39 787	60 200	60 000
Métaux totaux	kg	45,28	49,65	36	50
MES	kg	238,60	255,54	210	/
DCO	kg	680,67	747,97	540	/
AOX	kg	0,002	0,002	0,03	S.O
THM	kg	0,0	0,0	0,0014	S.O

Commentaires : Les valeurs sont conformes au prévisionnel, à l'exception de l'éthanolamine, pour laquelle les rejets annuels sont légèrement supérieurs au prévisionnel, du fait du manque de retour d'expérience sur la consommation d'éthanolamine lors de l'établissement du prévisionnel (substance utilisée depuis juillet 2018).

iii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-après permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2020 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision n° 2009-DC-0139 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 2 juin 2009 fixant les limites de rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux des installations nucléaires de base n° 158 et n° 159 exploitées par EDF-SA sur la commune de Civaux.

	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	3,50E+01	2,54E+00	2,54E-01	3,20E+03	5,10E+02	2,75E+02	4,20E+01	1,80E+04	6,51E+03
Ethanolamine	1.0	3,78E-02	1,54E-02	1,00E+01	5,20E-01	-	-	5,40E+02	5,03E+00
Hydrazine	0.1	9,89E-04	4,22E-04	1,00E+00	2,00E-02	-	-	2,50E+01	3,33E-01
Lithine	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Détergents	2.8	9,50E-02	3,09E-02	1,40E+02	1,41E+00	2,00E+01	1,24E+00	1,70E+03	1,18E+02
Azote	6.9	1,29E+00	1,96E-01	1,00E+02	2,30E+01	5,00E+01	1,90E+01	1,10E+03	6,63E+02
Phosphates	2.9	5,26E-01	1,22E-02	6,10E+01	6,00E-01	2,00E+01	6,00E-01	6,00E+02	1,60E+02
Sodium	1,70E+01	4,57E-01	7,56E-02	7,60E+02	2,19E+01	-	-	-	3,64E+04
Chlorures	2,00E+01	9,26E+00	-	1,08E+03	5,92E+02	-	-	-	6,02E+04
Métaux totaux	0.3	5,17E-02	7,07E-03	5,00E+00	6,65E-01	-	-	1,00E+02	3,59E+01
Sulfates issus de la station de déminéralisation	0.43	0,00E+00	0,00E+00	-	-	-	-	3,00E+03	0,00E+00
MES	2.9	7,54E-01	7,11E-02	5,30E+01	6,05E+00	-	-	-	2,20E+02
DCO	1,30E+01	6,57E-01	1,10E-01	1,80E+02	1,11E+01	-	-	-	5,45E+02

L'article 5.3.1 de la décision ASN n°2017-DC-0588 demande une évaluation de la quantité annuelle de lithine rejetée. En 2020, la quantité de lithine rejetée par le CNPE de Civaux est évaluée à 1.0 kg.

Commentaires : Les rejets liquides chimiques respectent les valeurs limites annuelles de rejet de la décision ASN n° 2009-DC-0139. En 2020, il n'y a pas eu de chloration massive du circuit CRF, ni de dé-chloration à la station de déminéralisation. C'est pourquoi, les rejets de sulfates, AOX et THM sont sans objet.

d. Rejets d'effluents liquides chimiques via l'émissaire secondaire

Ce paragraphe présente les rejets du CNPE de CIVAUX pour l'année 2020 de substances chimiques liées à l'exploitation des structures communes telles que décrites dans la décision n° 2011-DC-0234 du 5 juillet 2011 de l'Autorité de sûreté nucléaire modifiant la décision n°2009-DC-0138 du 2 juin 2009 de l'Autorité de sûreté nucléaire :

Situé à l'aval immédiat de l'ouvrage de rejet principal en Vienne, l'émissaire secondaire collecte les effluents suivants :

- eaux pluviales des aires goudronnées du site ;

- les effluents de l'installation de déminéralisation provenant de :

    - la surverse de l'épaississeur des boues traitées,

    - la surverse de la station de prétraitement ;

    - les eaux de nettoyage des filtres à sable de la station de déminéralisation ;

- les effluents issus de la station d'épuration du site après traitement ;

- les eaux de ruissellement des aires d'entreposages des déchets TFA ;

- les eaux de lavage non polluées des aires de dépotage et d'entreposage ;

-les eaux de vidange du circuit d'eau de circulation CRF, des bâches incendie (JPD) et d'eau brute (SEB), de la bâche d'entreposage de l'eau potable ;

- les eaux d'exhaure de la station de pompage, des galeries électriques vers les transformateurs auxiliaires et sous-sol du local d'éclissage ;

- les eaux de nettoyage des filtres de la station de pompage d'eau brute (SFI) ;

- eaux non polluées de lutte contre l'incendie

i. Cumul mensuel

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

	Chlorures (kg)	Sodium (kg)	AOX (kg)	THM (kg)	CRT (kg)	Hydrocarbures (kg)	Nitrites (kg)	Nitrates (kg)	DCO	Azote Kjeldahl (kg)	DBO5 (kg)	MES (KG)
Janvier	9,10E+02	2,70E+02	-	-	-	9,50E+00	-	-	-	-	-	-
Février	7,90E+02	2,30E+02	-	-	-	3,50E+00	-	-	-	-	-	-
Mars	8,00E+02	2,30E+02	3,04E-02	1,40E-03	1,60E-02	3,00E+00	-	-	-	-	-	-
Avril	9,00E+02	2,40E+02	-	-	-	3,00E+00	1,50E+00	1,00E+02	9,40E+01	1,30E+01	1,40E+01	6,40E+01
Mai	9,00E+02	2,30E+02	-	-	-	4,00E+00	-	-	-	-	-	-
Juin	7,00E+02	1,00E+02	-	-	-	3,00E+00	-	-	-	-	-	-
Juillet	4,00E+02	1,00E+02	-	-	-	2,00E+00	-	-	-	-	-	-
Août	1,40E+03	2,00E+02	-	-	-	4,00E+00	5,00E-01	1,90E+02	1,60E+01	2,00E+00	1,00E+00	1,20E+01
Septembre	2,10E+03	3,00E+02	-	-	-	5,00E+00	-	-	-	-	-	-
Octobre	1,10E+03	3,00E+02	-	-	-	3,00E+00	-	-	-	-	-	-
Novembre	1,00E+03	1,00E+02	-	-	-	4,00E+00	-	-	-	-	-	-
Décembre	1,00E+03	1,00E+02	-	-	-	7,00E+00	-	-	-	-	-	-
TOTAL ANNUEL	**1,20E+04**	**2,40E+03**	**3,04E-02**	**1,40E-03**	**1,60E-02**	**5,10E+01**	**2,00E+00**	**2,90E+02**	**1,10E+02**	**1,50E+01**	**1,50E+01**	**7,60E+01**

ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Les limites réglementaires relatives aux rejets des substances chimiques dans l'émissaire secondaire sont réglementées par la décision ASN n° 2009-DC-0139.

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

Paramètres	Unité	2018	2019	2020	Prévisionnel 2020
Chlorures	kg	9700	10000	12000	-
Sodium	kg	2900	2500	2400	-
AOX	mg/l	0.053	0.027	0,0304	-
THM	mg/l	0.052	0.044	0,0014	-
CRT	mg/l	0.01	0.01	0,016	-
Nitrites	kg	8.3	1.9	2,0	-
Nitrates	Kg	660	24	290	-
Hydrocarbures	mg/l		100	51	-
Azote Kjeldhal	kg	29	10	15	-
DBO5	kg	50	11	15	-
DCO	kg	140	47	110	-
MES	kg	55	19	76	-
Sulfates	Kg	-	83	-	10
Fer	kg	<10	<10	<10	10

Commentaires : Les quantités rejetées pour l'année 2020 sont conformes au prévisionnel.

iii. Comparaison aux limites et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous présente les rejets annuels relatifs à l'émissaire secondaire pour chaque type de substance chimique.

Paramètres	Limite	Rejet		Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet
	Concentration maximale ajoutée au rejet (mg/L)	Valeur maximale	Valeur moyenne	Flux 24h ajouté (kg)	Valeur maximale (kg)	Flux 2h (kg)	Valeur maximale (kg)	Flux annuel ajouté (kg)	Flux annuel (kg)
Chlorures	-	2,20E+01	1,40E+01	-	-	-	-	-	-
Sodium	-	3,70E+00	2,79E+00	-	1,10E+01	-	-	-	-
AOX	3,00E-01	1,90E-01	1,90E-01	-	3,04E-02	-	-	-	-

THM	-	0.0088	0.008	-	1,40E-03	-	-	-	-
CRT	-	8,80E-03	8,00E-03	-	1,40E-03	-	-	-	-
CRT	-	8,80E-03	8,00E-03	-	1,40E-03	-	-	-	-

Commentaires : Conformes aux limites imposées.

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

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

4. Opérations exceptionnelles de rejets d'effluents liquides

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

III. Rejets thermiques

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

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

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

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

L'échauffement de l'eau (écart de température entre la sortie et l'entrée : ΔT°C) est lié à la puissance thermique (Pth) 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 CIVAUX et des différents circuits secondaires nécessaires à son fonctionnement doivent respecter les limites fixées dans la décision modifiée n° 2009-DC-0139 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 2 juin 2009 fixant les limites de rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux des installations nucléaires de base n° 158 et n° 159 exploitées par EDF-SA sur la commune de Civaux.

Le CNPE de CIVAUX réalise en continu des mesures de températures en amont (SM1), au rejet (SM2) et en aval du CNPE (SM3) et un suivi des rejets thermiques conformément aux autorisations de rejet en vigueur. Le bilan du suivi pour l'année 2020 est présenté dans les tableaux suivants :

	Température amont (°C)			Température rejet (°C)			Echauffement amont-aval calculé (°C)			Température aval après mélange (°C)		
	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy
Janvier	9,2	4,4	6,8	23,2	10,8	17,8	0,7	0,1	0,3	9,3	5,1	7,3
Février	11,1	7,0	9,0	25,9	11,6	19,2	0,3	0,1	0,2	11,2	7,5	9,4
Mars	13,2	7,8	10,1	25,4	13,4	19,7	0,2	-0,0	0,1	13,4	8,0	10,3
Avril	19,4	7,6	15,6	26,9	16,7	23,5	0,4	0,1	0,2	19,7	7,8	15,9
Mai	24,5	13,2	18,4	28,5	14,2	20,7	0,2	-0,3	0,0	24,5	13,3	18,6
Juin	27,0	17,4	20,8	24,2	11,1	17,4	-0,0	-0,3	-0,1	26,9	17,4	20,8
Juillet	28,4	21,0	23,9	25,2	13,4	18,6	-0,1	-1,1	-0,3	27,0	21,0	23,6
Août	28,8	19,5	24,3	25,5	14,6	20,4	0,1	-1,5	-0,5	27,7	19,5	23,9
Septembre	24,6	15,6	20,6	24,2	11,9	18,7	0,5	-0,9	-0,3	23,8	15,4	20,4
Octobre	17,7	11,6	13,8	27,9	13,2	20,3	1,1	-0,1	0,3	17,6	12,3	14,2
Novembre	14,8	6,1	10,8	27,4	14,8	21,3	1,1	0,3	0,6	15,8	7,7	11,9
Décembre	9,6	5,9	7,4	25,0	14,4	19,8	1,5	-0,0	0,3	9,9	6,1	7,8

2 Comparaison aux limites

Les rejets thermiques doivent respecter les limites fixées à l'article 7 de la décision n° 2009-DC-0139 modifiée de l'Autorité de sûreté nucléaire du 2 juin 2009 fixant les limites de rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux des installations nucléaires de base n° 158 et n° 159 exploitées par Électricité de France (EDF-SA) sur la commune de Civaux.

Paramètres	Unité	Limite en vigueur	Valeurs maximales
Echauffement amont-aval calculé avec T° de Vienne <25°C	°C	2	1,5
Echauffement amont-aval calculé avec T° de Vienne >25°C	°C	0	0
Température aval après mélange	°C	-	27,7

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 2020.

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

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

Partie V - Prévention du risque microbiologique

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

Ces micro-organismes trouvent en effet un terrain de développement favorable dans l'eau des circuits de refroidissement dits «semi fermés » des CNPE. Ces circuits de refroidissement, équipés de tours aéroréfrigérantes, sont soumis depuis le 1er avril 2017 à une réglementation commune, la décision ASN n° 2016-DC-0578 relative à la prévention des risques résultant de la dispersion de micro-organismes pathogènes, qui fixe des seuils à partir desquels des actions doivent être menées afin de rétablir les concentrations à des niveaux inférieurs Cette réglementation sera applicable au CNPE à partir du 01er janvier 2022.

Afin de limiter ces proliférations, le CNPE de CIVAUX applique un traitement biocide par UV à la purge de l'eau des circuits de refroidissement depuis l'année 1999.

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

I. Bilan annuel des colonisations en circuit

Les valeurs maximales observées en 2020 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 2020	Seuil d'action
Legionella pneumophila Tr1	100 UFC / L	5 000 000 UFC / L
Legionella pneumophila Tr2	1 500 UFC / L	5 000 000 UFC / L
Naegleria fowleri	16 Nf / L	100 *N.fowleri* / L

Pendant toute la durée du suivi microbiologique, la concentration en Naegleria fowleri calculée dans la vienne après dilution du rejet n'a jamais atteint la valeur limite de 100 Nf/L, et la concentration en Legionella pneumophila n'a jamais atteint le seuil d'action de 5 000 000 UFC/L.

II. Synthèse des traitements biocides et rejets associés

Ce rapport présente les résultats des suivis microbiologiques et le suivi du traitement biocide aux ultraviolets applique aux effluents des purges des circuits de refroidissement du Centre Nucléaire de Production d'Electricité de Civaux pour l'année 2020.

La décision n°2016-DC-0578 de l'Autorité de Sureté Nucléaire relative aux suivis microbiologiques impose aux CNPE de définir des actions préventives, curatives et correctives visant à maintenir la concentration des *Naegleria fowleri* inferieure a 100 Nf/L en aval du rejet dans l'environnement, et la concentration des *Legionella pneumophila* inferieure a 10 000 UFC/L dans l'eau des circuits de refroidissement. Dans ce contexte, et conformément à cette décision, des surveillances des concentrations en *Naegleria fowleri* et en *Legionella pneumophila* ont été réalisées au cours de 2020.

Le suivi amibien a été réalisé à une fréquence mensuelle en début et fin d'année dans les effluents de purge des circuits de refroidissement, de l'ouvrage de rejet principal et à l'aval proche du site. Ces mêmes points ont été prélevés quotidiennement entre le 15 avril et le 15 octobre. Des analyses ont également été effectuées à l'amont du site dans l'environnement à une fréquence mensuelle durant toute l'année.

En raison de la crise sanitaire liée à la Covid-19 et a la faible consommation énergétique qui en a découlé, des suivis de charges ont été réalisés et les plannings des arrêts de tranche ont été adaptés.
Ainsi, au cours de la période estivale, les réacteurs des deux tranches ont été en puissance simultanément durant 26 jours réduisant, de ce fait, le risque microbiologique. L'état des tranches a donc favorise durant la majorité de la saison l'apparition de faibles colonisations d'amibes pathogènes au sein des circuits de refroidissement. Néanmoins, une prolifération au sein du circuit de la tranche 1 a pu être observée au cours du mois d'octobre. Les concentrations amibiennes mesurées à l'aval du site n'ont pas dépassé une valeur de 5 Nf/L. Au vu de ces résultats, il n'y a eu aucun dépassement de la limite de 100 Nf/L en aval du rejet dans l'environnement, fixée par la décision ASN n°2016-DC-0578.

Comme exige par la décision ASN n°2016-DC-0578, le CNPE de Civaux a défini une stratégie de traitement préventif et curatif. Celle-ci est basée sur l'action germicide des rayons ultraviolets (UV).
Cette année, la mise en service des installations de traitement UV s'est faite de manière préventive pour éviter tout risque sanitaire lors de la montée en puissance des tranches et lorsque le débit de la Vienne était faible. Du fait des fonctionnements des réacteurs, les installations de traitement ont été mise en service alternativement, en tranche 2 du 15 juillet au 24 septembre puis en tranche 1 du 24 septembre au 26 novembre. L'efficacité des deux installations de traitement UV a été mise en évidence puisque les abattements des amibes pathogènes ont été satisfaisants.

La croissance des populations de légionnelles a également été fortement impactée par l'état des tranches. En effet, les concentrations en *Legionella pneumophila* mesurées dans les effluents des purges des tranches et dans le circuit de refroidissement de la purge (CVP) sont toujours restées inferieures à la limite de 10 000 UFC/L fixée par la décision ASN n°2016-DC-0578. De ce fait, la fréquence de prélèvement a été bimensuelle tout au long de l'année.

Un suivi des concentrations en *Legionella* spp. a également été effectué dans le circuit de réfrigération intermédiaire (circuit TRI) et dans les circuits d'eau brute secouru des tranches 1 et 2 (circuits SEC) qui sont soumis à certaines prescriptions de a l'arrêté du 13 décembre 2004 relatif aux installations de refroidissement par dispersion d'eau dans un flux d'air. La concentration limite en *Legionella* spp. autorisée dans ce type de circuits est de 1 000 UFC/L, et n'a jamais été atteinte. Le prélèvement est donc reste a une fréquence trimestrielle dans ces circuits.

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

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

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

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

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

Ces études radioécologiques ont permis de caractériser finement les niveaux de radioactivité d'origine naturelle et artificielle dans les différents compartiments de l'environnement autour du CNPE, et de préciser l'influence des rejets d'effluents liquides et à l'atmosphère. Les données collectées depuis plusieurs décennies ont montré que la

radioactivité naturelle constitue la principale composante de la radioactivité dans l'environnement, et que la radioactivité artificielle provient majoritairement d'une rémanence des retombées des essais nucléaires atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl. Du fait de l'éloignement de ces événements anciens et des efforts réalisés par EDF pour diminuer les rejets de ses installations nucléaires, le niveau de radioactivité dans l'environnement à proximité du CNPE a considérablement diminué depuis une vingtaine d'année.

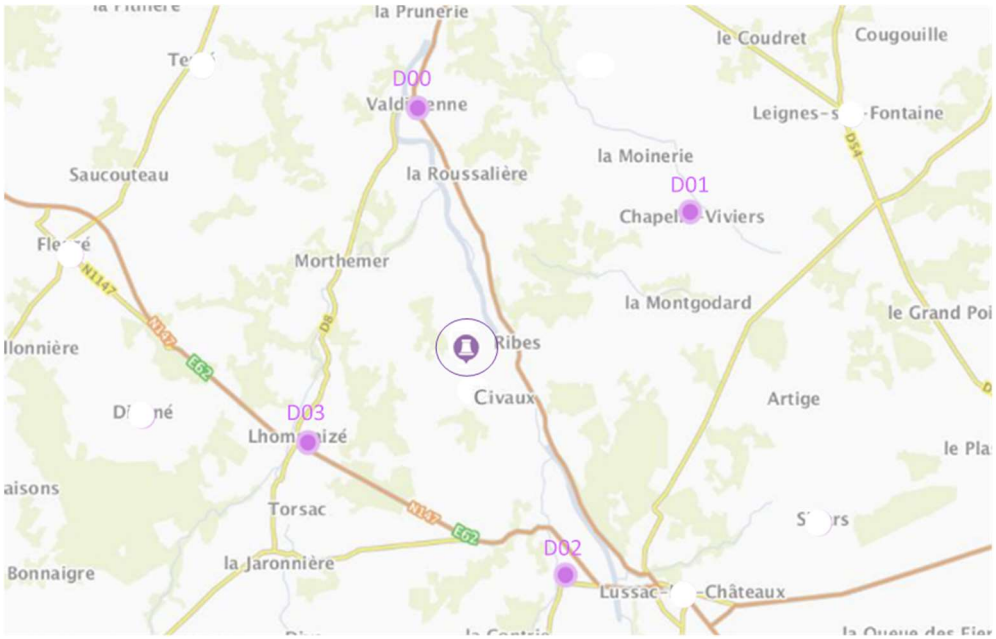
1. Surveillance de la radioactivité ambiante

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

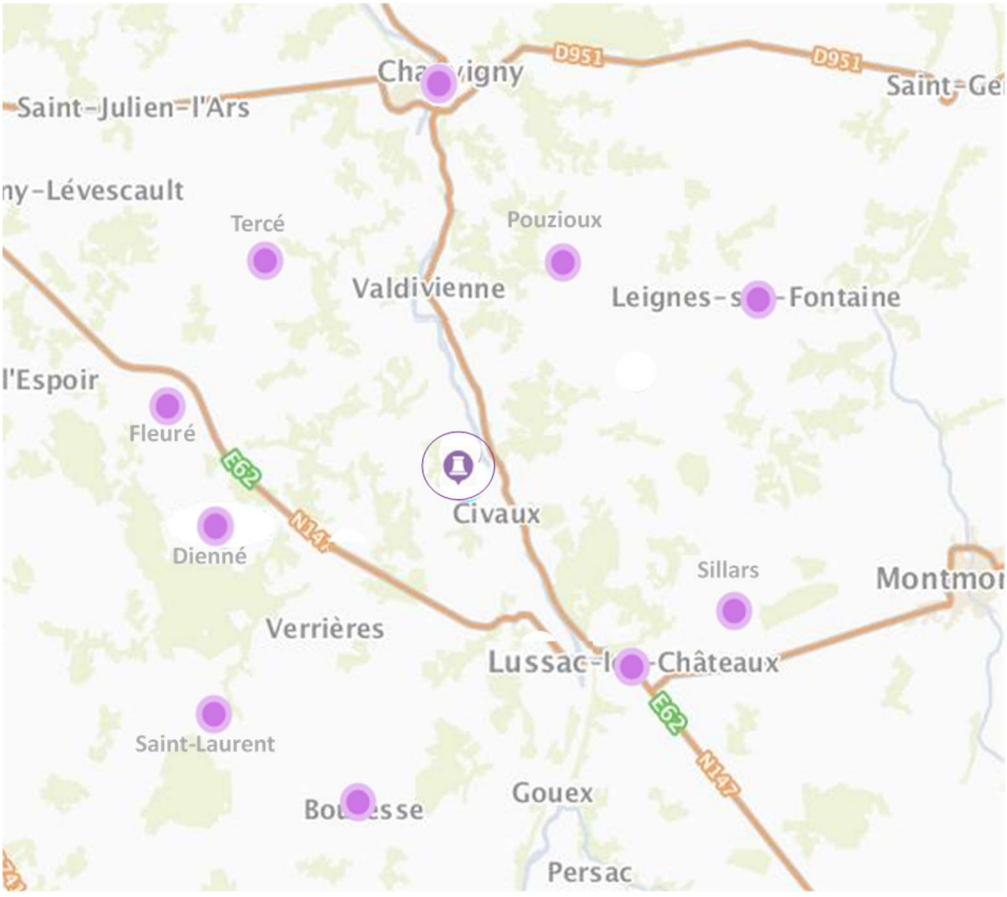
Réseau de balises radiamétriques « Clôture »

Réseau des balises radiamétriques « 1Km »

Réseau des balises radiamétriques « 5Km »



Réseau des balises radiamétriques « 10km »



Les informations (débits de dose et états de fonctionnement) issues des balises sont envoyées en continu vers un centralisateur qui permet la visualisation et l'enregistrement des données. Les débits de dose moyens enregistrés par les différents réseaux de mesure pour l'année 2020 sont présentés dans le tableau suivant. Les débits de dose maximaux et les données relatives à l'année antérieure sont également présentés à titre de comparaison.

Réseau de mesure	Débit de dose moyen année 2020 (nSv/h)	Débit de dose max année 2020 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2019 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2018 (nSv/h)
Clôture	125	254	119	126
1 km	112	176	108	114
5 km	129	221	121	127
10 km	122	191	116	109

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

2. Surveillance du compartiment atmosphérique

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

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

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

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

Compartiment	Paramètres		Moyenne annuelle	Valeur minimale mesurée	Valeur maximale mesurée	Limite réglementaire (pour chaque analyse)
Poussières atmosphériques (Bq/m³)	Bêta globale		5.61E-04	<9,07E-05	1.88E-03	1,00E-02
	Spectrométrie gamma	^{58}Co	<7,06E-06	<5,50E-06	<9,70E-06	-
		^{60}Co	<5,21E-06	<3,70E-06	<6,8E-06	-
		^{134}Cs	<6,12E-06	<4,6E-06	<7,7E-06	-
		^{137}Cs	<4,47E-06	<3,30E-06	<5,20E-06	-
		^{40}K	<1,15E-04	<8,20E-05	<1,40E-04	-
Tritium atmosphérique (Bq/m³)			<1,47E-01	<8,28E-02	<1,99E-01	50
Eau de pluie (Bq/L)	Bêta globale		1,99E-01	<8,39E-02	3,51E-01	-
	Tritium		<4,96E+00	<4,50E+00	<5,84E+00	-

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

3. Surveillance du milieu terrestre

Les résultats des mesures réalisées sur le compartiment terrestre pour l'année 2020 sont donnés dans le tableau suivant. Concernant les résultats des analyses par spectrométrie

gamma, seules les activités relatives aux radionucléides d'origine artificielle et supérieures aux seuils de décision sont présentées.

Nature du prélèvement	Radionucléide		Périodicité	Moyenne annuelle	Valeur minimale mesurée	Valeur maximale mesurée
Végétaux (Bq/kg sec)	Spectro gamma	^{137}Cs	Mensuelle	<3.87E-01	<3,00E-01	<5,00E-01
		^{40}K		6,22E+02	1,86+02	1,00E+03
Lait (Bq/L)	Spectro gamma	^{137}Cs	Mensuelle	<4,00E-01	<3,00E-02	<5,00E-01
		^{40}K		4,04E+01	2,81E+01	6,60E+01

Commentaires :
Pas de prélèvement de végétaux « hors vent dominant » au mois de septembre à cause de la sècheresse (pas d'herbe à prélever).

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

4. Surveillance du milieu aquatique

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

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 mesurée
Tritium	Bq/L	<20
Bêta global	Bq/L	<1

Commentaires : RAS

II. Physico-chimie des eaux souterraines

Une surveillance physico-chimique des eaux souterraines est effectuée sur les paramètres physicochimiques par le biais de prélèvements sur 17 piézomètres du CNPE.

Paramètres	Unité	Valeur maximale mesurée
pH	-	11
Conductivité	µS/cm	647
AOX	mg/L	0,011
Azote de Kjeldahl (NTK)		<0,5
Chlorures		26
DCO		<10
Fer dissous		<0,01
Fer Total		0,24
Hydrocarbures		<0,05
Nitrates		16
Orthophosphates		0.12

Commentaires : RAS

III. Chimie et physico-chimie des eaux de surface

1. Physico-chimie en continu

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

Les tableaux suivants présentent les résultats du suivi sur l'année 2020 pour les stations amont (SM1), rejet (SM2) et aval (SM3).

Station amont - SM1	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Oxygène dissous (mg/L)	10,5	9,6	9,8	8,9	8,0	7,5	7,3	7,3	8,1	9,1	10,1	10,8
Conductivité (µS/cm)	110,3	106,0	97,1	138,6	130,5	150,5	183,5	200,9	192,2	150,0	168,5	122,3
pH	7,4	7,3	7,2	7,6	7,4	7,5	7,8	7,8	7,6	7,3	7,4	7,4
Température	6,8	9,0	10,1	15,6	18,4	20,8	23,9	24,3	20,6	13,8	10,8	7,4

Station rejet - SM2	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Oxygène dissous (mg/L)	9,5	9,2	8,9	8,1	8,6	9,1	8,9	8,8	9,2	9,1	9,0	9,1
Conductivité (µS/cm)	158,1	158,4	153,2	231,3	168,7	209,8	285,7	236,5	258,7	235,7	277,2	194,9
pH	7,7	7,7	7,7	7,9	7,8	7,9	8,0	7,9	7,8	7,8	8,0	7,7
Température	17,8	19,2	19,7	23,5	20,7	17,4	18,6	20,4	18,7	20,3	21,3	19,8

Station aval - SM3	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Oxygène dissous (mg/L)	10,8	9,9	9,1	9,4	8,5	8,0	7,9	7,8	8,2	9,1	10,0	10,7
Conductivité (µS/cm)	122,8	129,4	127,3	136,9	131,4	152,9	195,4	207,2	201,3	151,8	176,0	133,0
pH	7,4	7,2	7,2	7,6	7,4	7,4	7,6	7,8	7,6	7,3	7,5	7,3
Température	7,3	9,4	10,3	15,9	18,6	20,8	23,6	23,9	20,4	14,2	11,9	7,8

Commentaires :

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.

IV. Physico-chimie et suivi Hydrobiologique des eaux réceptrices

Les tableaux suivants présentent le suivi 2020 des analyses chimiques et physico-chimique des eaux de surface (Vienne) :

- Le CNPE fait réaliser par le laboratoire AQUASCOP via IANESCO des mesures de certains paramètres physico-chimiques soutenant la vie biologique. Des prélèvements d'eau de la Vienne sont effectués mensuellement, en amont (MAZEROLLES), en aval 1 (CUBORD), en aval 2 (VALDIVIENNE), ainsi que des mesures bimestrielles en aval 3 (BONNES).
- Les rejets chimiques 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 la Vienne en amont et sur les points en aval du CNPE.
    - Les rejets chimiques résultant du fonctionnement du CNPE sont issus :

- des produits de conditionnement des circuits pour réduire la corrosion ou participer à la maitrise de la réactivité ;
- des traitements de purification des eaux de Vienne par déminéralisation pour en faire une utilisation industrielle;
- de l'usure normale des matériaux par érosion.
- du lavage du linge utilisé en zone contrôlée.

Point de prélèvement : pont de MAZEROLLES

MAZEROLLES (amont)	Unité	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Température de l'eau	°C	8	9	9	8	17	21	23	24	20	16	12	6
Conductivité à 25°C (IN SITU)	µS/cm	113	107	91	115	97	158	145	206	192	166	165	167
Oxygène dissous	mgO2/L	12,1	11,6	11,9	11,8	8	7.7	8,5	8,3	9	9.1	10.6	11.9
pH	-	7,5	7,2	7,2	7,6	7,3	7.4	7,5	7,6	7,6	7.5	7.5	7.5
Saturation en oxygène dissous	%	105	98	102	105	83	87	99	99	99	92	97	99
Turbidité	NFU	5,8	12	45	3.8	11	3.8	3.3	1,7	1,1	7.7	4.5	7
Titre alcalimètrique complet (TAC)	°F	2,3	2,4	2,6	2.9	2,6	3.6	3,2	5,1	4,5	3.5	4	3.5
Carbone organique dissous (COD)	mg/L	4,1	4,9	6,9	3.8	6,4	5.3	5,4	6,5	4,7	4.9	6.9	7.1
Silice (SiO2)	mg/L	13	12	10	11	12	5	10	4,7	2,7	5.3	13	12
Calcium dissous	mg/L	7,9	8,2	6,8	8.2	6,8	10	9	13	13	10	12	11
Magnésium dissous	mg/L	2,5	2,7	2,6	2.5	2,4	3.3	2,6	3,5	3,3	2.7	3.7	3.1
Sodium dissous	mg/L	9	7,2	6,4	9.8	7,2	15	13	21	18	18	14	16
Potassium dissous	mg/L	1,9	1,9	2	1.7	1,8	2	2,1	3,2	3,2	3	2.9	2.6
Hydrogénocarbonates HCO3	mg/L	28	29	32	35	32	43	39	63	55	42	49	43
Sulfates (SO4)	mg/L	9,3	7,4	5,7	10	6	16	14	20	21	18	16	17
DBO5J	mgO2/L	<0,5	0,8	2	<0.5	0,6	0.6	<0,5	<0,5	<0,5	<0.5	<0.5	0.6
ST-DCO	mgO2/L	16	24	48	15	24	20	14	20	11	12	20	22
Matières en suspension (MES)	mg/L	8	21	160	7	15	8	5	2	2	16	4	8
Nitrates (NO3)	mg/L	8,3	7,6	5,6	6.7	5,4	7.1	5,9	4,5	7	5	7.1	6.6
Nitrites (NO2)	mg/L	0,03	0,02	0,03	0.01	0,04	0.03	0,03	0,02	0,01	0.01	0.02	0.02
Ammonium (NH4)	mg/L	0,05	0,03	0,06	0.01	0,05	0.04	<0,01	0,01	0,02	<0.01	<0.01	0.03
Chlorures (Cl)	mg/L	9,1	8	6,8	9	7,2	13	12	18	19	14	14	15

MAZEROLLES (amont)	Unité	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Azote Kjeldahl (NTK)	mg/L	<0,5	0,6	1,5	<0.5	0,5	<0.5	<0,5	0,5	<0,5	<0.5	<0.5	0.7
Phosphore total (en P)	mg/L	0,05	0,08	0,26	0.04	0,08	0.06	0,07	0,06	0,04	0.08	0.06	0.06
Bore (B)	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0.05	<0,05	<0.05	<0,05	<0,05	<0,05	<0.05	<0.05	<0.05
Orthophosphates (PO4)	mg/L	0,05	0,06	0,02	<0,02	0,06	0.03	0,12	0,09	0,08	0.12	0.09	0.05
Agents de surface anion. (en lauryl sulfate)	mg/L	<0,05	<0.05	<0,05	<0,05	<0,05	<0.05	<0,05	<0,05	<0,05	<0.05	<0.05	<0.05
Hydrazine	mg/L	<0,2	<0.2	<0,2	<0,2	<0,2	<0.2	<0,2	<0,2	<0,2	<0.2	<0.2	<0.2
METAUX TOTAUX	mg/L	1,01	2,44	10,28	0,83	1,89	1,14	1,03	0,70	0,49	1,59	1,00	1,21
Aluminium total (Al)	µg/L	360	940	3 800	240	580	260	220	88	68	560	260	330
Chrome total (Cr)	µg/L	1,3	2	7,5	1.3	1,7	1.4	1,2	1,3	0,8	1.4	1.3	1.2
Cuivre total (Cu)	µg/L	1,6	2,6	7,9	1.7	2,7	2.1	2,8	7	1,8	2.4	2.2	2.2
Fer total (Fe)	µg/L	580	1 400	6 000	550	1 200	780	720	520	370	870	690	810
Manganèse total (Mn)	µg/L	34	50	270	34	62	62	48	44	35	130	33	51
Nickel total (Ni)	µg/L	0,8	1,5	4,4	0.7	1,1	1.3	1	0,9	1,1	1.1	1.1	1
Plomb total (Pb)	µg/L	0,7	1,5	7,2	0.5	1,2	0.8	0,8	0,6	0,5	1.2	0.7	0.8
Titane total (Ti)	µg/L	12	32	150	9.4	21	11	7,5	3,3	2,5	23	10	12
Zinc total (Zn)	µg/L	17	10	34	5	20	26	30	35	15	8	6	8
Indice hydrocarbure (C10-C40)	µg/L	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Chloroforme (trichlorométhane)	µg/L	<0,15	<0,15	<0,15	<0.15	<0,15	<0.15	<0,15	<0,15	<0,15	<0.15	<0.15	<0.15
Ethanolamine	µg/L	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Morpholine	µg/L	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Coliformes thermotolérants	/100mL	900	900	8 000	100	<100 0	100	100	20	30	1700	100	<100
Coliformes totaux	/100mL	900	1 600	8 000	700	4 000	400	100	200	300	2000	600	1200
Escherichia coli	/100mL	780	840	7 100	130	310	140	93	46	77	1700	180	1100
Entérocoques	/100mL	94	340	2 400	15	180	110	93	77	<15	1600	77	380
Choropyle a	µg/L	/	/	8	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	/	/
Phéopigments	µg/L	/	/	10	<5	13	<5	<5	<5	<5	<5	/	/

MAZEROLLES (amont)	Unité	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Acides chloroacétiques	µg/L	/	/	<4,5	/	/	<4,5	/	/	<4,5	/	/	<4,5
Acide dibromoacétique	µg/L	/	/	<1	/	/	<1	/	/	<1	/	/	< 1
Acides haloacétiques totaux	µg/L	/	/	< 5,5	/	/	< 5.5	/	/	< 5,5	/	/	< 5.5
Acide monochloroacétique	µg/L	/	/	<1	/	/	<1	/	/	<1	/	/	< 1
Acide dichloroacétique	µg/L	/	/	<1	/	/	<1	/	/	<1	/	/	< 1
Acide trichloroacétique	µg/L	/	/	<2.5	/	/	<2.5	/	/	<2.5	/	/	<2.5

Point de prélèvement : pont de CUBORD

CUBORD (aval 1)	Unité	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Température de l'eau	°C	8	9	9	8	17	20	23	23	20	16	12	7
Conductivité à 25°C (IN SITU)	µS/cm	122	107	94	123	99	165	156	215	207	176	171	178
Oxygène dissous	mgO2/L	12,1	11,5	11,8	11.6	7,8	7.3	8.8	7,3	8,5	9	10.5	11.6
pH	-	7,5	7,2	7,1	7.7	7,4	7.6	7.6	7,6	7,5	7.5	7.5	7.5
Saturation en oxygène dissous	%	105	98	103	102	81	81	103	86	93	92	97	98
Turbidité	NFU	4,7	12	36	3.3	11	3.3	2.2	1,5	1,1	6.6	4.2	6
Titre alcalimètrique complet (TAC)	°F	2,6	2,4	2,5	3.2	2,5	3.7	3.3	5,3	4,8	3.8	3.8	3.7
Carbone organique dissous (COD)	mg/L	4,4	5,1	6,8	3.8	6,4	5.2	6.3	6,6	5,3	5.6	7.2	7.6
Silice (SiO2)	mg/L	13	12	10	11	12	5	9.9	4,8	2,5	5.4	14	13
Calcium dissous	mg/L	9,2	8	7,3	9.5	7,4	11	9.7	14	14	11	13	12
Magnésium dissous	mg/L	2,7	2,7	2,5	2.6	2,5	3.4	2.8	3,8	3,6	2.9	3.8	3.3
Sodium dissous	mg/L	9,1	7,1	6,4	9.7	7,3	15	14	22	20	19	14	18
Potassium dissous	mg/L	2	1,9	2,1	1.7	1,9	2	2.1	3,4	3,5	3.1	3	2.8
Hydrogénocarbonates HCO3	mg/L	32	30	30	40	31	46	40	64	58	46	46	45
Sulfates (SO4)	mg/L	9,6	7,5	5,6	10	6	16	16	20	20	19	16	19

CUBORD (aval 1)	Unité	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
DBO5J	mgO2/L	<0,5	<0,5	2	<0.5	2	<0.5	<0.5	<0,5	<0,5	<0.5	<0.5	<0.5
ST-DCO	mgO2/L	15	19	50	14	24	20	14	20	13	13	22	23
Matières en suspension (MES)	mg/L	8	21	150	4	16	7	4	2	2	13	5	8
Nitrates (NO3)	mg/L	8,7	7,7	5,6	7.0	5,6	6.3	5.9	4,5	4,6	5.2	7.8	6.8
Nitrites (NO2)	mg/L	0,03	0,03	0,03	0.01	0,04	0.03	0.02	0,02	<0,01	0.01	0.02	0.02
Ammonium (NH4)	mg/L	0,05	0,03	0,06	0.02	0,06	0.03	0.01	0,02	0,02	0.01	<0.01	0.03
Chlorures (Cl)	mg/L	9,5	8,1	6,8	9.1	7,3	13	13	18	18	15	15	16
Azote Kjeldahl (NTK)	mg/L	<0,5	0,6	1,6	<0.5	0,6	<0.5	<0.5	0,6	<0,5	<0.5	0.5	0.6
Phosphore total (en P)	mg/L	0,05	0,08	0,27	0.03	0,08	0.06	0.07	0,06	0,04	0.07	0.06	0.06
Bore (B)	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0.05	<0,05	<0.05	<0.05	<0,05	<0,05	0.05	<0.05	<0.05
Orthophosphates (PO4)	mg/L	0,05	0,06	0,03	0.02	0,08	0.06	0.13	0,1	0,09	0.11	0.1	0.07
Agents de surface anion. (en lauryl sulfate)	mg/L	<0,05	<0.05	<0,05	<0.05	<0,05	<0.05	<0.05	<0,05	<0,05	<0.05	<0.05	<0.05
Hydrazine	mg/L	<0,2	<0.2	<0,2	<0.2	<0,2	<0.2	<0.2	<0,2	<0,2	<0.2	<0.2	<0.2
METAUX TOTAUX	mg/L	1,00	2,44	10,81	0,68	1,90	1,04	0,93	0,63	0,52	1,13	1,02	1,19
Aluminium total (Al)	µg/L	330	940	3 900	180	590	240	190	80	90	320	250	330
Chrome total (Cr)	µg/L	1,4	2	7,6	1	1,7	1.3	1.3	1,1	0,7	1.2	1.2	1.2
Cuivre total (Cu)	µg/L	1,7	3,6	10	1.6	3	2.1	3.1	1,9	1,9	2.1	2.4	2
Fer total (Fe)	µg/L	600	1 400	6 400	460	1 200	730	670	470	370	690	730	790
Manganèse total (Mn)	µg/L	34	48	260	29	61	49	41	42	48	96	35	46
Nickel total (Ni)	µg/L	0,8	1,5	4,5	0.7	1,6	1.3	0.9	0,8	1,1	0.9	1.2	1
Plomb total (Pb)	µg/L	0,6	1,5	7,7	0.4	1,2	0.8	0.7	0,5	0,4	1	0.7	0.8
Titane total (Ti)	µg/L	11	31	150	6.3	21	9.3	6	3	3	13	9.5	12
Zinc total (Zn)	µg/L	21	12	69	5	25	19	19	34	7	6	6	7
Indice hydrocarbure (C10-C40)	µg/L	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Chloroforme (trichlorométhane)	µg/L	<0,15	<0,15	<0,15	<0.15	<0,15	<0.15	<0.15	<0,15	<0,15	<0.15	<0.15	<0.15
Ethanolamine	µg/L	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

CUBORD (aval 1)	Unité	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Morpholine	µg/L	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Coliformes thermotolérants	/100mL	1 000	1 000	8 000	300	<1000	200	100	100	80	600	80	600
Coliformes totaux	/100mL	1 300	1 200	8 000	500	14 000	7000	300	200	200	700	400	1500
Escherichia coli	/100mL	710	840	8 300	200	465	130	77	77	180	560	130	1300
Entérocoques	/100mL	140	350	3 000	15	190	140	110	45	46	670	140	500
Acides chloroacétiques	µg/L	/	/	<4,5	/	/	<4,5	/	/	<4,5	/	/	<4,5
Acide dibromoacétique	µg/L	/	/	<1	/	/	<1	/	/	<1	/	/	< 1
Acides haloacétiques totaux	µg/L	/	/	< 5,5	/	/	< 5.5	/	/	< 5,5	/	/	< 5.5
Acide monochloroacétique	µg/L	/	/	<1	/	/	<1	/	/	<1	/	/	< 1
Acide dichloroacétique	µg/L	/	/	<1	/	/	<1	/	/	<1	/	/	< 1
Acide trichloroacétique	µg/L	/	/	<2.5	/	/	<2.5	/	/	<2.5	/	/	<2.5

Point de prélèvement : pont de St MARTIN la rivière

VALDIVIENNE (aval 2)	Unité	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Température de l'eau	°C	8	9	9	9	17	20	23	25	21	16	12	7
Conductivité à 25°C (IN SITU)	µS/cm	125	111	97	122	101	170	166	224	217	186	175	183
Oxygène dissous	mgO2/L	12	11,5	11,7	11.6	7,2	7.2	8.6	7,9	8,8	8.8	10.5	11.6
pH	-	7,6	7,3	7,1	7.6	7,4	7.5	7.5	7,9	7,8	7.4	7.5	7.5
Saturation en oxygène dissous	%	105	98	102	104	75	81	99	95	97	91	97	98
Turbidité	NFU	4,5	12	37	3.8	11	3	3.0	1,4	1,1	4.4	4.2	6.4
Titre alcalimètrique complet (TAC)	°F	2,7	2,6	2,7	3.1	2,7	4.1	3.8	5,8	5,2	4.4	4.1	3.8
Carbone organique dissous (COD)	mg/L	4,3	5,1	7,4	3.7	6,4	5.3	5.5	6,4	5	5.1	7.2	7.3
Silice (SiO2)	mg/L	13	12	10	11	12	5.1	9.9	5,3	2,8	5.2	13	12
Calcium dissous	mg/L	9,7	8,6	7,6	9.4	7,6	12	11	16	16	12	14	12
Magnésium dissous	mg/L	2,9	2,8	2,5	2.7	2,6	3.7	3.1	4	4	3.2	4	3.4

VALDIVIENNE (aval 2)	Unité	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Sodium dissous	mg/L	9,1	7,2	6,2	9.5	7,2	15	15	22	20	19	14	18
Potassium dissous	mg/L	2	2	2,1	1.7	1,9	2.1	2.1	3,3	3,6	3.2	3	2.8
Hydrogénocarbonates HCO3	mg/L	33	31	33	38	33	51	46	70	63	53	50	46
Sulfates (SO4)	mg/L	9,6	7,7	6,4	10	6	15	16	20	21	20	16	20
DBO5J	mgO2/L	<0,5	0,6	2	<0.5	0,5	0.6	0.8	<0,5	<0,5	<0.5	0.6	<0.5
ST-DCO	mgO2/L	15	22	47	12	24	17	14	18	14	16	22	17
Matières en suspension (MES)	mg/L	8	20	140	5	16	7	4	<2	<2	8	5	9
Nitrates (NO3)	mg/L	8,7	7,7	6,6	6.9	5,8	6.4	6.1	4,8	4,5	5.5	7.9	7
Nitrites (NO2)	mg/L	0,03	0,03	0,03	0.01	0,04	0.03	0.02	0,02	<0,01	0.01	0.02	0.02
Ammonium (NH4)	mg/L	0,05	0,03	0,06	0.01	0,05	0.02	<0.01	0,02	0,01	0.01	<0.01	0.04
Chlorures (Cl)	mg/L	9,6	8,1	6,7	9.1	7,2	13	13	19	19	15	14	16
Azote Kjeldahl (NTK)	mg/L	0,5	0,6	1,5	<0.5	0,6	<0.5	<0.5	0,5	<0,5	<0.5	<0.5	0.7
Phosphore total (en P)	mg/L	0,05	0,08	0,25	0.03	0,08	0.06	0.07	0,06	0,05	0.06	0.06	0.06
Bore (B)	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0.05	<0,05	<0.05	<0.05	<0,05	<0,05	<0.05	<0.05	<0.05
Orthophosphates (PO4)	mg/L	0,05	0,05	0,03	<0.02	0,07	0.02	0.11	0,12	0,09	0.12	0.09	0.07
Agents de surface anion. (en lauryl sulfate)	mg/L	<0,05	<0.05	<0,05	<0.05	<0,05	<0.05	<0.05	<0,05	<0,05	<0.05	<0.05	<0.05
Hydrazine	mg/L	<0,2	<0.2	<0.2	<0.2	<0,2	<0.2	<0.2	<0,2	<0,2	<0.2	<0.2	<0.2
Indice hydrocarbure (C10-C40)	µg/L	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Chloroforme (trichlorométhane)	µg/L	<0,15	<0,15	<0,15	<0.15	<0,15	<0.15	<0.15	<0,15	<0,15	<0.15	<0.15	<0.15
Ethanolamine	µg/L	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Morpholine	µg/L	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Choropyle a	µg/L	/	/	7	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	/	/
Phéopigments	µg/L	/	/	7	<5	6	<5	<5	<5	<5	<5	/	/
Acides chloroacétiques	µg/L	/	/	<4,5	/	/	<4,5	/	/	<4,5	/	/	<4,5
Acide dibromoacétique	µg/L	/	/	<1	/	/	<1	/	/	<1	/	/	< 1
Acides haloacétiques totaux	µg/L	/	/	< 5,5	/	/	< 5.5	/	/	< 5,5	/	/	< 5.5
Acide monochloroacétique	µg/L	/	/	<1	/	/	<1	/	/	<1	/	/	< 1

VALDIVIENNE (aval 2)	Unité	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Acide dichloroacétique	µg/L	/	/	<1	/	/	<1	/	/	<1	/	/	< 1
Acide trichloroacétique	µg/L	/	/	<2.5	/	/	<2.5	/	/	<2.5	/	/	<2.5

Point de prélèvement : pont de BONNES

BONNES (aval 3)	Unité	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Température de l'eau	°C	7	/	9	so	17	/	23	/	20	/	12	/
Conductivité à 25°C (IN SITU)	µS/cm	129	/	98	so	107	/	204	/	264	/	196	/
Oxygène dissous	mgO2/L	11,9	/	11,5	so	6,9	/	8.9	/	9,3	/	10.5	/
pH	-	7,5	/	7,1	so	7,4	/	7.6	/	7,7	/	7.5	/
Saturation en oxygène dissous	%	104	/	100	so	71	/	102	/	102	/	97	/
Sulfates (SO4)	mg/L	9	/	5,7	so	5,9	/	18	/	21	/	16	/
DBO5J	mgO2/L	<0,5	/	1	so	0,8	/	<0.5	/	<0,5	/	<0.5	/
ST-DCO	mgO2/L	14	/	45	so	25	/	13	/	12	/	22	/
Matières en suspension (MES)	mg/L	9	/	150	so	20	/	3	/	<2	/	5	/
Nitrates (NO3)	mg/L	8,9	/	5,9	so	5,8	/	7.6	/	7	/	10	/
Nitrites (NO2)	mg/L	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Ammonium (NH4)	mg/L	0,05	/	0,06	so	0,05	/	0.01	/	0,02	/	0.01	/
Chlorures (Cl)	mg/L	9,6	/	6,8	so	7,1	/	14	/	19	/	15	/
Azote Kjeldahl (NTK)	mg/L	<0,5	/	1,5	so	<0,5	/	<0.5	/	<0,5	/	0.6	/
Phosphore total (en P)	mg/L	0,05	/	0,25	so	0,09	/	0.06	/	0,04	/	0.06	/
Bore (B)	mg/L	<0,05	/	<0,05	so	<0,05	/	<0.05	/	<0,05	/	<0.05	/
Orthophosphates (PO4)	mg/L	0,05	/	0,08	so	0,08	/	0.11	/	0,05	/	0.1	/
Agents de surface anion. (en lauryl sulfate)	mg/L	<0,05	/	<0,05	so	<0,05	/	<0.05	/	<0,05	/	<0.05	/
METAUX TOTAUX	mg/L	1,11	/	9,84	/	2,10	/	0,77	/	0,34	/	0,92	/
Aluminium total (Al)	µg/L	400	/	3 700	so	670	/	140	/	43	/	210	/
Chrome total (Cr)	µg/L	1,4	/	6,8	so	1,9	/	1.2	/	0,6	/	1.3	/

BONNES (aval 3)	Unité	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Cuivre total (Cu)	µg/L	1,7	/	7,4	so	3	/	2.9	/	1,5	/	2.3	/
Fer total (Fe)	µg/L	640	/	5 700	so	1 300	/	570	/	250	/	670	/
Manganèse total (Mn)	µg/L	33	/	240	so	73	/	33	/	21	/	35	/
Nickel total (Ni)	µg/L	0,8	/	4,1	so	1,1	/	0.8	/	1,1	/	1.5	/
Plomb total (Pb)	µg/L	0,7	/	6,9	so	1,3	/	0.6	/	0,3	/	0.6	/
Titane total (Ti)	µg/L	14	/	140	so	24	/	4.7	/	1,3	/	8.8	/
Zinc total (Zn)	µg/L	17	/	32	so	27	/	22	/	19	/	6	/
Indice hydrocarbure (C10-C40)	µg/L	<50	/	<50	so	<50	/	<50	/	<50	/	<50	/
Chloroforme (trichlorométhane)	µg/L	<0,15	/	<0,15	so	<0,15	/	<0.15	/	<0,15	/	<0.15	/
Coliformes thermotolérants	/100mL	600	2 000	10 000	300	<1000	800	300	60	40	800	100	400
Coliformes totaux	/100mL	600	3 000	13 000	800	5 000	800	700	200	100	1000	700	1300
Escherichia coli	/100mL	590	1 100	4 000	160	640	220	250	77	30	870	220	1400
Entérocoques	/100mL	160	430	2 500	46	230	46	94	46	30	550	93	700
Acides chloroacétiques	µg/L	/	/	< 4.5	/	/	/	/	/	< 4.5	/	/	/
Acide dibromoacétique	µg/L	/	/	< 1	/	/	/	/	/	< 1	/	/	/
Acides haloacétiques totaux	µg/L	/	/	< 5,5	/	/	/	/	/	< 5,5	/	/	/
Acide monochloroacétique	µg/L	/	/	<1	/	/	/	/	/	<1	/	/	/
Acide dichloroacétique	µg/L	/	/	<1	/	/	/	/	/	<1	/	/	/
Acide trichloroacétique	µg/L	/	/	<2.5	/	/	/	/	/	<2.5	/	/	/

Conclusion de la surveillance pérenne :

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la surveillance chimique et hydroécologique (physicochimique et hydrobiologique) réglementaire du CNPE de Civaux, répondant aux prescriptions de l'Autorité de Sûreté Nucléaire, en vue de mettre en évidence toute influence particulière du site sur la Vienne. Ce programme a évolué depuis juillet 2016, en intégrant les exigences DCE de l'arrêté du 25 janvier 2010 modifié, conformément à la Décision ASN n°2013-DC-0360 modifiée.

Ce document présente les résultats de cette surveillance obtenus par le groupement AQUASCOP –
IANESCO au cours de l'année 2020, et plus particulièrement :

· **Surveillance chimique** au niveau de 3 stations de mesure (Mazerolles, Cubord et Valdivienne), et de manière plus allégée à la station de Bonnes. Cette surveillance concerne :

O Métaux (Al, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Ti, Zn) et métalloïde (Bore) : dosés mensuellement à Mazerolles et Cubord et à fréquence bimestrielle à Bonnes, sur eau brute (sauf bore) et filtrée ; des mesures dans les bryophytes sont également réalisées à Mazerolles et Cubord (analyses semestrielles) ;

O acides mono, dichloro et trichloroacétique : suivi semestriel (Bonnes) ou trimestriel (3 autres stations) ;

O agents de surface anioniques (détergents) : suivi mensuel, sauf Bonnes (bimestriel)

O indice hydrocarbure et chloroforme : suivi mensuel, sauf Bonnes (bimestriel) ;

O Morpholine, hydrazine et éthanolamine, dosées mensuellement dans l'eau au niveau de 3 stations (Mazerolles, Cubord et Valdivienne).

· **Surveillance hydroécologique** au niveau de 4 stations de mesures (Mazerolles, Cubord, Valdivienne et Bonnes) :

O **Suivi mensuel des principaux paramètres physico-chimiques** (31 paramètres) utilisés pour évaluer la qualité des eaux de surface ; stations de Mazerolles, Cubord et Valdivienne ;

O **Suivi des peuplements planctoniques et benthiques** (phyto et zooplancton, diatomées, Macro invertébrés), **ainsi que la végétation aquatique.** Ce suivi est à fréquence variable selon le groupe biologique concerné et concerne 2 à 4 stations ;

O **Suivi bactériologique** au niveau de la station de Bonnes (fréquence mensuelle), couplé à un suivi physicochimique restreint (19 paramètres seulement ; fréquence bimestrielle).

Ce suivi 2020 s'est inscrit dans un **contexte climatique exceptionnel sur le plan thermique, avec cependant une hydrologie annuelle assez contrastée**. L'hydrologie a été plutôt excédentaire en période hivernale, avec l'occurrence de quelques crues significatives. Si le début de printemps est marqué par une baisse rapide et importante du débit, cet épisode de basses eaux est temporaire et plusieurs variations de niveau lui font suite.

Cependant, des conditions d'étiage sévère et durable s'instaurent dès le début juillet et perdurent jusqu'à la fin de l'été. L'arrivée de l'automne s'accompagne d'une élévation sensible du niveau d'eau, avec plusieurs pics de débit susceptibles de lessiver les fonds de la rivière (90,2 m3/s le 5 octobre). Des conditions de hautes eaux s'installent ensuite durablement en décembre.

Soulignons que cette programmation (échantillonnage des macros invertébrées en particulier), a été sensiblement perturbée par la pandémie de la COVID19, mais aussi par certains épisodes de hautes eaux.
Ainsi, on notera que la première campagne hydrobiologique, prévue initialement en avril 2020, a dû être reportée de plus d'un mois, la sensibilité particulière de cette intervention ne permettant pas de respecter les gestes barrières et autres mesures sanitaires imposées par ce contexte épidémique. De même, la seconde campagne prévue initialement mi-juin a dû également être repoussée afin de respecter un délai suffisant avec la campagne précédente. La dernière campagne a également dû être reportée à la suite d'une brusque variation de

niveau, consécutive à un épisode climatique pluvieux annonçant le basculement saisonnier et la fin des conditions d'étiage estivo-automnales. **Ces modifications de planning ne remettent pas en cause les objectifs globaux de surveillance de l'écosystème.**

Les variations temporelles des **indicateurs physico-chimiques** semblent essentiellement induites par les conditions hydroclimatiques annuelles (température élevée et ensoleillement important), auxquelles s'ajoutent les effets d'une forte crue de fin d'hiver (mars) et l'installation d'un étiage estival sévère.

Les caractéristiques physico-chimiques observées en amont et en aval du CNPE de Civaux sont globalement similaires. Si quelques disparités sont notées pour certains paramètres (relatifs au bilan de l'oxygène ou à certains nutriments par exemple), les valeurs moyennes obtenues pour ces derniers sont globalement assez voisines. Par ailleurs, ces différences n'apparaissent pas liées au fonctionnement du CNPE, mais plutôt aux variables environnementales et structurelles rencontrées sur les sites de prélèvement (positionnement, végétalisation, anciens aménagements, etc.).

Sur l'ensemble des 30 **paramètres chimiques** contrôlés, 11 sont non quantifiés en amont et en aval du CNPE. L'analyse spatio-temporelle des 19 paramètres quantifiés affiche peu de disparités interstationnelles, notamment entre l'amont et l'aval proche du CNPE de Civaux.

Les **analyses de métaux réalisées sur des bryophytes** récoltés sur place, de part de d'autre du CNPE de Civaux, permettent de conclure à une absence de contamination métallique de la Vienne.
Pour chaque campagne, l'évolution des paramètres est variable entre l'amont et l'aval du CNPE. Les seules élévations notables constatées à l'aval du CNPE ne concernent que le fer et le titane, et uniquement en juin. Cette disparité doit cependant être relativisée, d'une part car l'écart interstationnel s'inverse au cours du suivi, et d'autre part car la source de contamination (si celle-ci était avérée) se situerait à l'amont du CNPE.

Les résultats relatifs à la **qualité microbiologique** des eaux de la Vienne révèlent la responsabilité prépondérante des événements hydrologiques sur le niveau de contamination bactériologique de celles-ci. Ils permettent également de conclure à l'absence de différence notable, répétée et prolongée pour l'année 2020, entre les 3 différentes stations suivies, excepté une contamination ponctuelle en coliformes totaux concernant essentiellement l'aval proche du CNPE et dont le déterminisme reste indéfini.

Les teneurs en **chlorophylle a** sont régulièrement très faibles, puisque inférieures au seuil de quantification analytique. Les dosages réalisés en mars font exception en fournissant des teneurs légèrement supérieures à ce seuil ; il s'agit néanmoins de valeurs peu significatives puisque enregistrées lors d'un épisode de crue ayant pu très probablement mettre en suspension du matériel algal d'origine benthique et/ou induire une dérive planctonique à partir de la retenue du Barrage de Chardes situées quelques dizaines de kilomètres en amont.
Les concentrations en pigments chlorophylliens actifs (chlorophylle a) peuvent être considérées comme identiques aux stations amont et aval, les quelques écarts observés sur le plan des phéopigments ne suffisant pas à retenir une quelconque influence du CNPE sur ce paramètre biologique.

Le **phytoplancton et le zooplancton** de la Vienne au niveau du CNPE de Civaux (stations amont « Mazerolles » et aval éloigné « Valdivienne ») ont fait l'objet d'un échantillonnage mensuel entre mars et octobre 2020.
Pour le phytoplancton, les méthodologies mises en œuvre se réfèrent au « *Protocole standardisé d'échantillonnage et de conservation du phytoplancton en grands cours d'eau*

applicable aux réseaux de mesure DCE » (Cemagref, version 2, décembre 2010) ; les préconisations de la norme XP T90-719 (sept. 2017) ont également été respectées.
Comme les années précédentes, cette communauté développe de faibles densités, en relation avec la typologie du milieu et la pauvreté nutritionnelle des eaux de la Vienne ; ce constat est d'ailleurs en adéquation avec les teneurs en pigments chlorophylliens également mesurés dans le cadre de cette surveillance hydro-écologique. Un faible développement algal se produit en phase printanière, faisant suite à une forte période de crues. Cette expertise présente des résultats très similaires à ceux acquis antérieurement dans le cadre de ce suivi.
Ces constatations sont également valables pour le zooplancton. Les 2 stations du suivi présentent des peuplements très proches, aussi bien au niveau de la composition taxonomique que de la densité zooplanctonique.
Les résultats acquis dans le cadre de ce suivi 2020 ne permettent pas de mettre en évidence un quelconque impact du CNPE de Civaux sur la communauté planctonique présente dans les eaux de la Vienne.

Les communautés de **diatomées benthiques** ont fait l'objet d'expertises printanière (juin) et automnale (octobre), en 2 points du suivi du CNPE De Civaux : station amont (Mazerolles) et station aval éloigné (Valdivienne). La méthode normalisée (NF T90-354 – indice IBD) a été appliquée.
Le suivi 2020 des communautés de diatomées benthiques de la Vienne au niveau du CNPE de Civaux conduit à des résultats similaires au printemps et à l'automne. Les résultats indiciels sont comparables aux deux stations de suivi.
Sur la base de cette expertise, il est possible de conclure que le fonctionnement du CNPE de Civaux n'a pas d'impact sur les communautés de diatomées de la Vienne.

La **végétation aquatique** de la Vienne est expertisée sur la base de 2 campagnes d'échantillonnage réalisées au printemps (juin) et en automne (fin septembre) aux stations amont (Mazerolles) et aval proche (Cubord – Ile de Traineau). La méthode normalisée dite de « Indice Biologique Macrophytique en Rivière » (IBMR – NF T90-395) est mise en œuvre.
La bio-indication fournie par la **végétation aquatique** révèle un niveau trophique et des cortèges floristiques relativement proches entre l'amont et l'aval proche du CNPE. L'IBMR indique aux 2 stations une bonne qualité biologique pour le paramètre macrophytes.
Aucun impact du fonctionnement du CNPE n'est perçu, tant sur la dynamique végétale que sur le niveau trophique de la Vienne à ce niveau de son cours.

L'expertise des peuplements de **macro-invertébrés benthiques** met en œuvre le protocole MGCE, qui s'appuie sur les normes XP T90-337 (phase d'échantillonnage) et XP T90-388 (analyses au laboratoire). Les prélèvements ont été réalisés de part et d'autre du CNPE lors de 4 campagnes (mai, juillet, août et octobre), le calendrier des échantillonnages ayant été influencé par les contraintes particulières liées à la pandémie COVID19 (décalage de la campagne d'avril en mai).
La bio-indication fournie par cette communauté benthique exprime une bonne à très bonne qualité biologique sur l'ensemble du suivi. Aucune différence imputable au fonctionnement du CNPE n'est perçue entre l'amont et l'aval éloigné.

Ainsi, l'ensemble des résultats de la surveillance chimique et hydro-écologique mise en œuvre en 2020 permet de conclure à l'absence d'impact avéré du CNPE de Civaux sur le fonctionnement écologique de la Vienne.

V. Acoustique environnementale

L'arrêté du 7 février 2012 fixe les règles générales applicables à toutes les phases du cycle de vie des installations nucléaire de base visant à garantir la protection des intérêts contre l'ensemble des inconvénients ou des risques que peuvent présenter les INB. Le titre IV

sur la maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement fixe deux critères visant à limiter l'impact du bruit des installations nucléaires de base.

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

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

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

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

Au second semestre 2020, des mesures acoustiques ont été menées au CNPE de Civaux et dans son environnement proche pour actualiser les données d'entrée. Ces mesures de longue durée, effectuées avec les meilleures techniques disponibles, ont permis de prendre en compte l'influence des conditions météorologiques.

Les valeurs d'émergence obtenues aux points situés en Zone à Émergence Réglementée du site de Civaux sont statistiquement conformes vis-à-vis de l'article 4.3.5 de l'arrêté INB du 7 février 2012. Les contributions des sources industrielles calculées en limite d'établissement sont inférieures à 60 dBA et les points de ZER associés présentent des valeurs d'émergences statistiquement conformes.

En cohérence avec l'approche « nuisance » proposée par EDF pour les points situés en Zone à Émergence Réglementée, les niveaux sonores mesurés en limite d'établissement du site de Civaux permettent d'atteindre les objectifs fixés par l'article 4.3.5 de l'arrêté INB du 7 février 2012.

La Mission Communication du CNPE de CIVAUX 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.

Le numéro vert permet de retrouver toute l'actualité du CNPE de CIVAUX, 24 heures sur 24 : 0800 22 29 99.

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

Une surveillance des niveaux de radioactivité est effectuée dans l'environnement du CNPE de Civaux dans le cadre du programme de surveillance réglementaire et du suivi radioécologique du CNPE (cf. Partie VI Surveillance de l'environnement, I- Surveillance de la radioactivité dans l'environnement).

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

L'IRSN produit également un bilan radiologique de l'environnement français disponible au lien suivant :
https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/environnement/IRSN-ENV_Bilan-Radiologique-France-2015-2017.pdf

À partir des activités annuelles rejetées par radionucléide, une dose efficace 1 est calculée en tenant compte des mécanismes de transfert de l'environnement jusqu'à l'homme. Cette dose permet de « mesurer » le niveau d'exposition attribuable aux rejets d'effluents radioactifs liquides et atmosphériques d'une installation et de le positionner par rapport à la limite réglementaire pour l'exposition de la population aux rayonnements ionisants conformément à l'article R1333-11 du Code de la Santé Publique.

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

Les principales hypothèses retenues sont les suivantes :

- les habitants consomment pour partie des aliments produits dans l'environnement proche du CNPE ;
- ils vivent toute l'année sur leur lieu d'habitation (non prise en compte de leurs périodes d'absence pour le travail, les vacances…) ; l'eau captée à l'aval des installations est considérée comme provenant de captages d'eaux superficielles, même s'il s'agit de captages en nappes d'eaux souterraines, ce qui revient à considérer que le milieu aquatique à l'aval du CNPE est toujours influencé par les rejets d'effluents liquides de l'installation ;
- on considère que l'eau de boisson n'a subi aucun traitement de potabilisation (autre que la filtration), et donc qu'aucune rétention de radionucléides n'a été effectuée lors de procédés de traitement ;
- la pêche de poissons dans les fleuves à l'aval des CNPE est supposée systématique, sans exclure les zones de pêche interdite.

Les principaux facteurs d'incertitudes dans le calcul de dose sont associés essentiellement à quelques données et paramètres difficiles à acquérir sur le terrain, tels que

certaines caractéristiques de l'environnement et comportements précis des populations riveraines (les rations alimentaires par exemple).

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

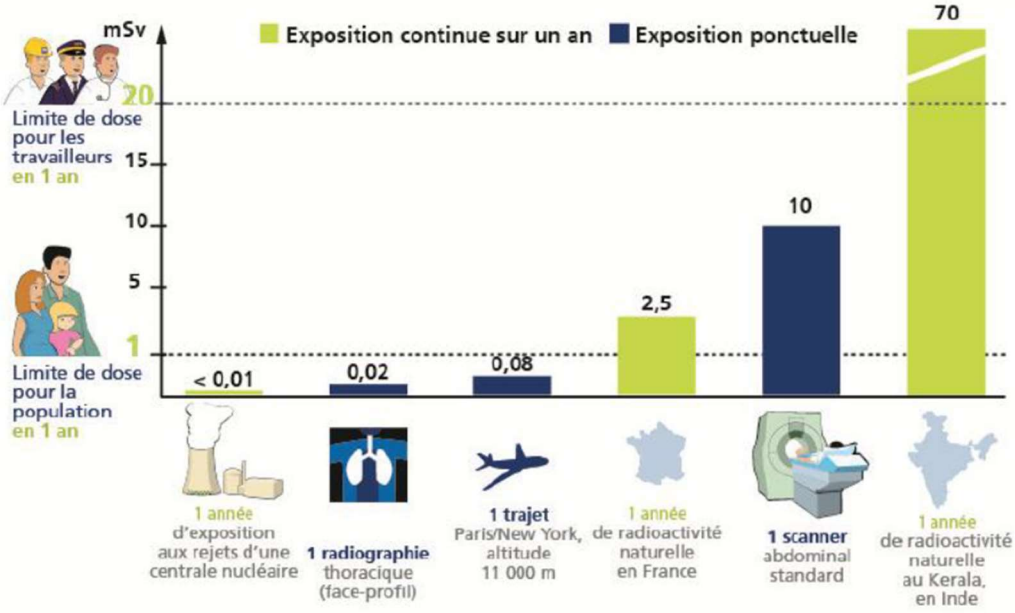


Figure 1 : Echelle des ordres de grandeur de doses résultant de situations courantes et comparaison aux seuils réglementaires (Source : EDF)

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

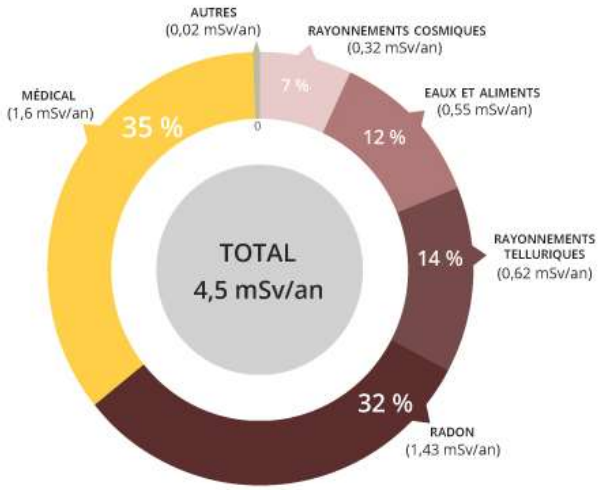


Figure 2 : Part relative des différentes sources d'expositions de la population française aux rayonnements ionisants (Source : Bilan IRSN 2015)

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

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

ENFANT DE 10 ANS	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	2,4E-07	5,4E-06	5,7E-06
Rejets d'effluents liquides	S.O	6,3E-04	6,3E-04
Total	**2,4E-07**	**6,4E-04**	**6,4E-04**

ENFANT DE 1 AN	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	2,3E-07	6,6E-06	6,8E-06
Rejets liquides	S.O	1,1E-03	1,1E-03
Total	**2,3E-07**	**1,1E-03**	**1,1E-03**

Les valeurs de doses calculées sont inférieures à 1.10-3 mSv/an pour l'adulte et pour l'enfant de 10 ans et 1.10-2 mSv/an pour l'enfant de 1 an.
Les valeurs de doses calculées pour l'adulte, l'enfant de 10 ans et l'enfant de 1 an, attribuables aux rejets d'effluents radioactifs de l'année 2020 sont plus de 100 fois inférieures à la limite d'exposition fixée à 1 mSv par an pour la population, par l'article R1333-11 du Code de la Santé Publique. L'ensemble des populations résidant de manière permanente ou temporaire autour du CNPE est exposé à une dose efficace inférieure ou égale à la dose calculée pour la personne représentative, présentée ci-dessus.
Ces résultats sont cohérents avec ceux de l'étude d'impact de l'installation, dont les hypothèses et modalités de calcul restent pertinentes au regard des évolutions scientifiques.

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

I. Les déchets radioactifs

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

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

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

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

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

1. Les catégories de déchets radioactifs

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

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

Ces déchets proviennent essentiellement :

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

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

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

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

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

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

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

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

inoxydable qui sont entreposés dans l'usine précitée : ce sont des déchets « de moyenne activité à vie longue (MAVL) ».

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

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

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

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

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

2. Le transport des déchets

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

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

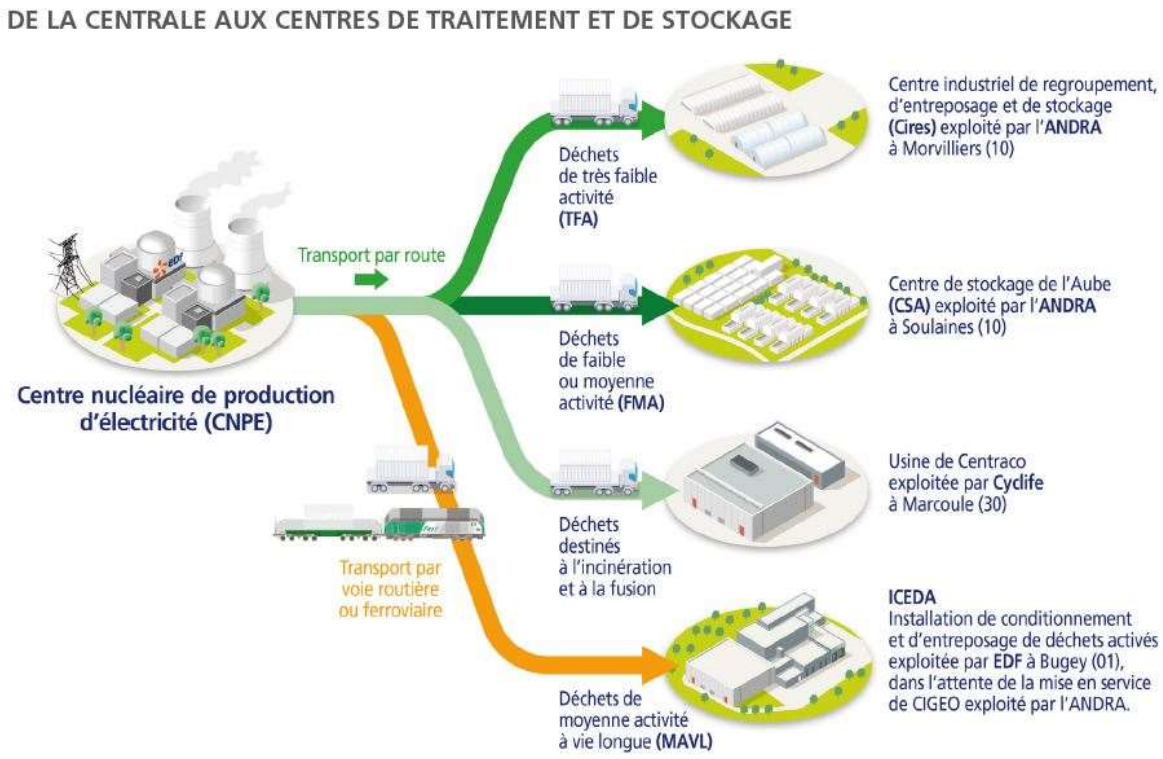


Figure 2 : Transport des déchets radioactifs (Source : EDF)

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

Le tableau suivant présente les quantités de déchets en attente de conditionnement au 31 décembre 2020 pour les 2 réacteurs en fonctionnement du CNPE de CIVAUX.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2020	Commentaires
TFA	96,302 tonnes	En conteneur sur l'aire TFA
FMAVC (Liquides)	5,848 tonnes	Effluents de lessivage chimique, huiles, solvants…

FMAVC (Solides)	65,999 tonnes	Localisation Bâtiment des Auxiliaires Nucléaires (BAN) et Bâtiment Auxiliaire de Conditionnement (BAC)
FAVL	0 tonne	
MAVL	81 objets	Concerne les grappes et les étuis dans les piscines de désactivation (déchets technologiques, galette inox, bloc béton et chemise graphite)

Le tableau suivant présente les quantités de déchets conditionnés en attente d'expédition au 31 décembre 2020 pour les 2 réacteurs en fonctionnement du CNPE de CIVAUX.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2020	Type d'emballage
TFA	86 colis	Tous types d'emballages confondus
FMAVC	33 colis	Coques béton
FMAVC	299 colis	Fûts (métalliques, PEHD)
FMAVC	0 colis	Autres (caissons, pièces massives…)

Le tableau suivant présente le nombre de colis évacués et les sites d'entreposage en 2020 pour les 2 réacteurs en fonctionnement du CNPE de CIVAUX.

Site destinataire	Nombre de colis évacués
Cires à Morvilliers	365
CSA à Soulaines	68
Centraco à Marcoule	1270

En 2020, 1703 colis ont été évacués vers les différents sites de traitement ou de stockage appropriés (Centraco et Andra).

II. Les déchets non radioactifs

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

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

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

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

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

Quantités 2020 en tonnes	Déchets dangereux		Déchets non dangereux non inertes		Déchets inertes		Total	
	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés
Sites en exploitation	9298	6599	37876	33797	66410	65409	113585	105805
Sites en déconstruction	1017	56,1	707	609	447	447	2170	1112

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 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 internes restent relativement stables.

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

- la création en 2006 du Groupe Déchets Economie Circulaire, chargé d'animer la gestion des déchets conventionnels pour l'ensemble des entités d'EDF. Ce groupe, qui s'inscrit dans le cadre du Système de Management Environnemental certifié ISO

14001 d'EDF, est composé de représentants des Divisions/Métiers des différentes Directions productrices de déchets. Ses principales missions consistent à apporter de la cohérence en proposant des règles et outils de référence aux entités productrices de déchets,

- les entités productrices de déchets conventionnels disposent d'un outil informatique qui permet en particulier de maîtriser les inventaires de déchets et leurs voies de gestion,
- la définition depuis 2008 d'un objectif de valorisation pour l'ensemble des déchets valorisables. Cet objectif est actuellement fixé à 90%,
- la prise en compte de la gestion des déchets dans les contrats de gestion des sites,
- la mise en place de structures opérationnelles assurant la coordination et la sensibilisation à la gestion des déchets de l'ensemble des métiers,
- la création de stages de formation spécifiques « gestion des déchets conventionnels »,
- le recensement annuel des actions de prévention de production des déchets.

En 2020, les 2 unités de production du CNPE de CIVAUX ont produit 2087 tonnes de déchets conventionnels : 87,50 % 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

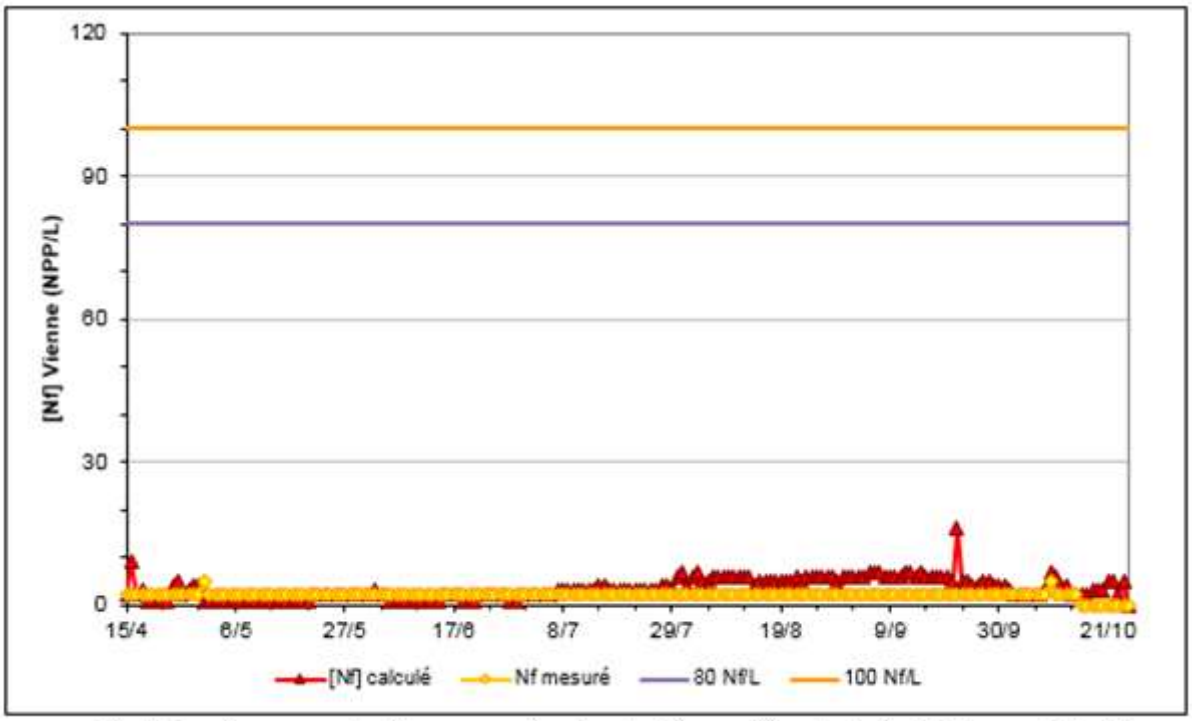
TFA - Très Faible Activité

THE – Très Haute Efficacité

UFC - Unité Formant Colonie

ANNEXE 1 : Suivi microbiologique du CNPE de CIVAUX Année 2020

Suivi amibes



Evolution des concentration mesurées et calculées en Naegleria fowleri en aval du site

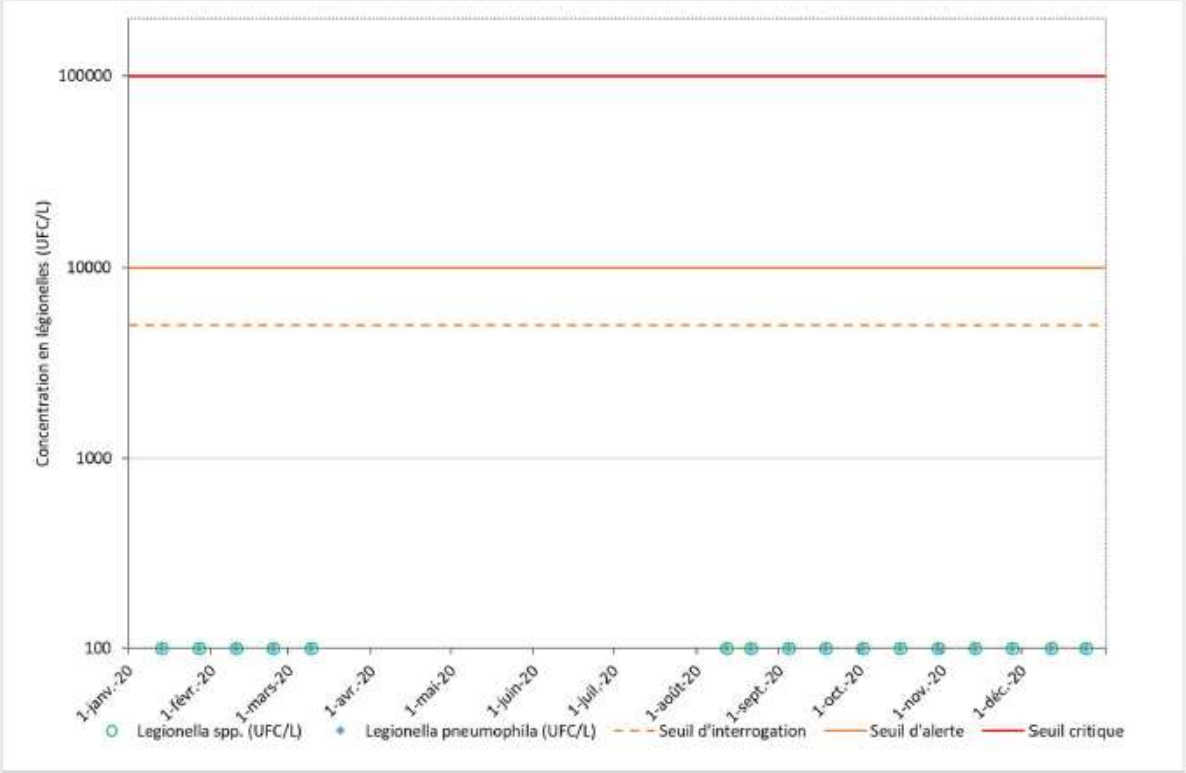
	Du 1er janvier au 31 décembre					
Concentrations	Moyenne	Minimum	Maximum	Médiane	Nombre de valeurs	Nombre ≥LQ
Naegleria totales (*Nt*/L)	5	<1	35	<3	199	83
Naegleria fowleri (*Nf*/L)	4	<1	16	<3		33

Bilan des concentrations en Naegleria totales et Naegleria fowleri calculées à l'aval du site

Au cours de l'année 2020, les concentrations calculées et mesurées en *Naegleria fowleri* sont restées faibles en aval du rejet dans l'environnement. Les limites règlementaires de 80 et 100 *Nf*/L fixées par la décision ASN n°2016-DC-0578, n'ont jamais été atteintes. L'obtention de ces résultats permet de montrer l'efficacité de la stratégie de traitement préventif qui a permis d'éviter la mise en œuvre d'actions curatives.

Suivi légionnelles

Suivi des concentrations en légionelles en tranche 1



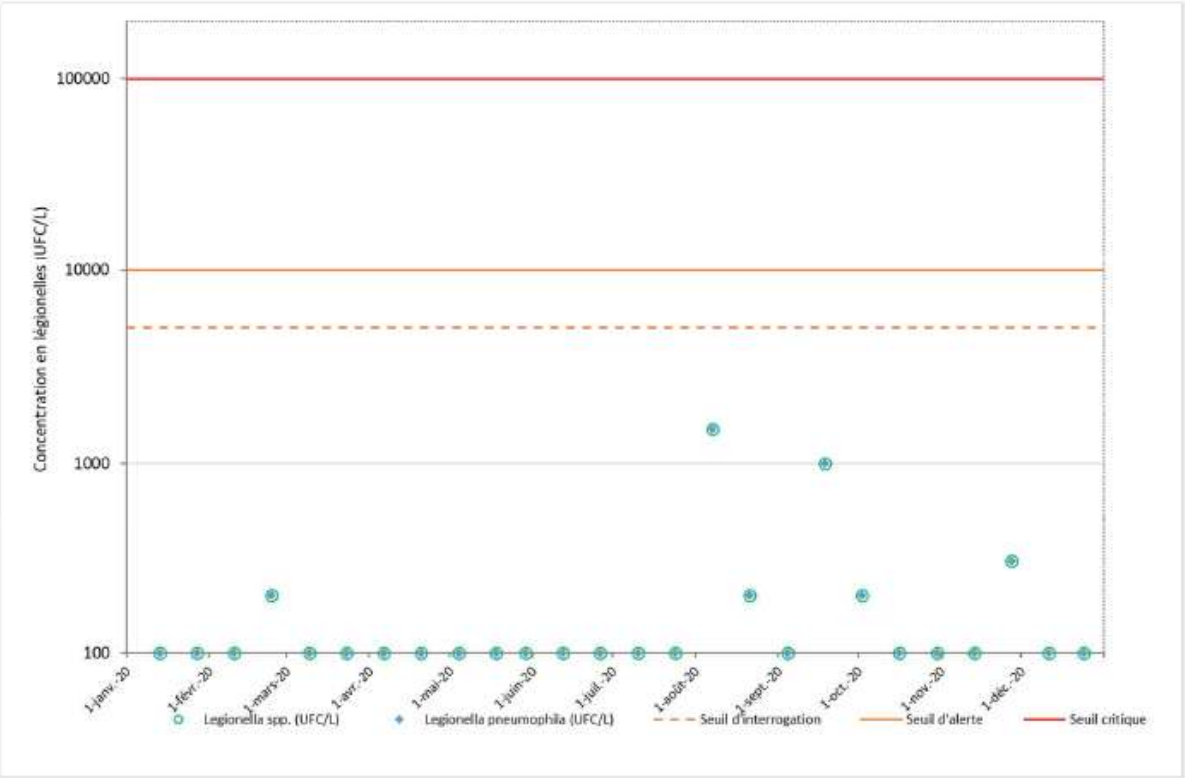
Concentrations en Legionella spp. et en Legionella pneumophila dans le circuit de refroidissement de la tranche 1

	Du 1er janvier au 31 décembre					
Concentrations	Moyenne	Minimum	Maximum	Médiane	Nombre de valeurs	Nombre ≥LQ
Legionella spp. (UFC/L)	100	<100	100	<100	16	1
Legionella pneumophila (UFC/L)	100	<100	100	<100		1

Bilan statistique des concentrations mesurées en Legionella spp. et Legionella pneumophila dans le circuit de refroidissement de la tranche 1

La fréquence du suivi légionelles de la tranche 1 est restée bimensuelle tout au long de l'année puisque tous les résultats des mesures en légionelles ont été inférieurs à 10 000 UFC/L. Le suivi a été suspendu du 13 mars au 8 août pendant l'arrêt de tranche. La figure fait apparaitre les valeurs des différents seuils définis par la décision ASN n°2016-DC-0578 à 10 000 et 100 000 UFC/L, ainsi que le seuil d'interrogation de 5 000 UFC/L spécifique au CNPE de Civaux. Elle fait apparaitre que les concentrations sont restées très en deçà de ces valeurs et que les concentrations en Legionella spp. et Legionella pneumophila n'ont pas dépassé la limite de quantification.

Suivi des concentrations en légionelles en tranche 2



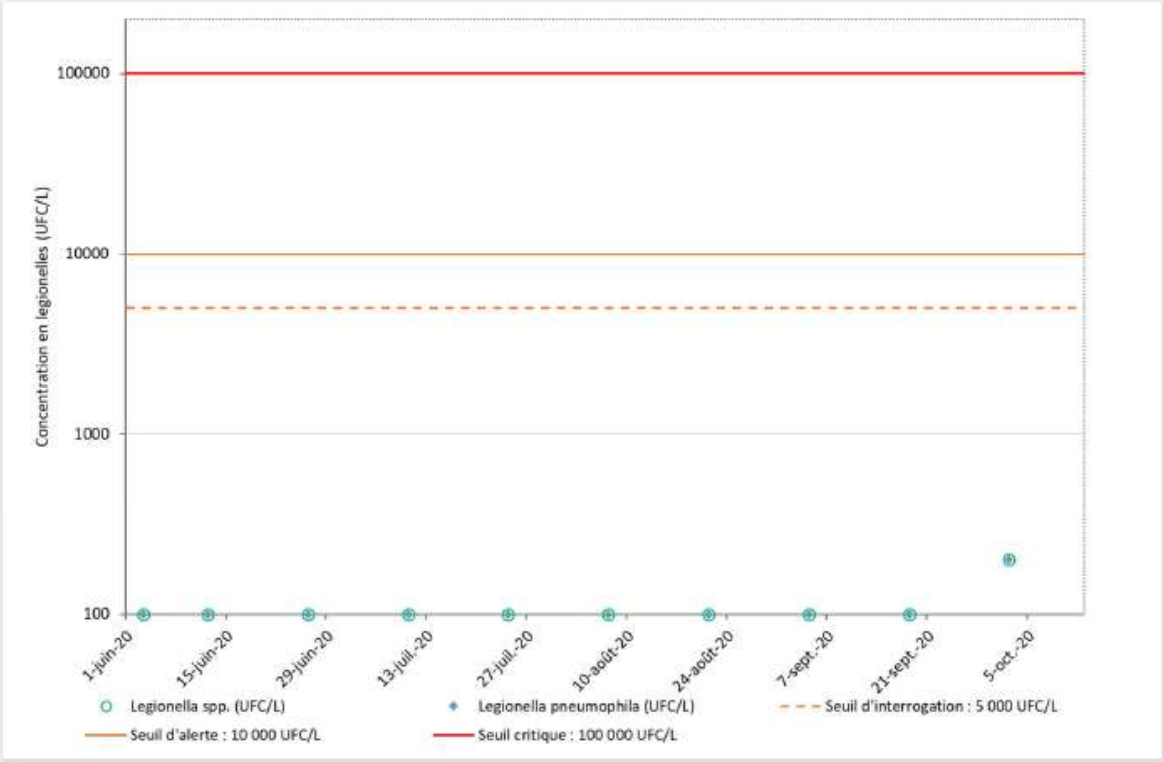
Concentrations en Legionella spp. et en Legionella pneumophila dans le circuit de refroidissement de la tranche 2

	Du 1er janvier au 31 décembre					
Concentrations	Moyenne	Minimum	Maximum	Médiane	Nombre de valeurs	Nombre ≥LQ
Legionella spp. (UFC/L)	208	<100	1 500	<100	26	8
Legionella pneumophila (UFC/L)	208	<100	1 500	<100		8

Bilan statistique des concentrations mesurées en Legionella spp. et Legionella pneumophila dans le circuit de refroidissement de la tranche 2

Le suivi des concentrations de légionnelles a été réalisé sans interruption à une fréquence bimensuelle toute l'année. Ce bilan précise que huit détections de légionelles ont été observées au cours de l'année. Néanmoins, ces concentrations supérieures aux seuils de détections sont ponctuelles et n'ont jamais dépassé la concentration maximale de 1 500 UFC/L obtenue le 7 août. Cette valeur maximale confirme que l'ensemble des seuils ont été respectés.

Suivi des concentrations en légionelles sur CVP



Concentration en Legionella spp. et Legionella pneumophila dans le circuit refroidissement de la purge (CVP)

	Du 1er juin au 12 octobre					
Concentrations	Moyenne	Minimum	Maximum	Médiane	Nombre de valeurs	Nombre ≥LQ
Legionella spp. (UFC/L)	110	<100	200	<100	10	1
Legionella pneumophila (UFC/L)	110	<100	200	<100		1

Bilan statistique des concentrations mesurées en Legionella spp. et Legionella pneumophila dans le circuit de refroidissement de la purge (CVP)

Un suivi de la concentration en Legionella pneumophila est obligatoire dès lors que le circuit CVP est en fonctionnement. Le circuit CVP a été mis en service le 1er juin, et les prélèvements ont débuté le 3 juin. Durant toute la durée de fonctionnement du CVP, le suivi légionelles de l'installation a été bimensuel. Le dernier prélèvement a eu lieu le 2 octobre et les installations ont été arrêtées le 12 octobre.

Seul le prélèvement du 2 octobre s'est révélé positif à la présence de Legionella pneumophila avec une concentration négligeable de 200 UFC/L. Ainsi la limite de 10 000 UFC/L fixée par la décision a été respectée dans l'eau du circuit CVP.

ANNEXE 2 : Suivi radio écologique annuel du CNPE de CIVAUX Année 2019

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

- Année 2019 -

Bassin de la Loire

Rapport SUB/RE/RC/Y-L

Indice	Date	Etabli par	Vérifié par	Approuvé par	Modifications / commentaires
03	12/05/2021	S. Andriambahiny G. Rousseau	M. Mokili	G. Rousseau	Version définitive
Signatures					Version provisoire transmise le 09/10/2020. Réception du document D455620114874 le 17/12/2020 – Remarques EDF. Prise en compte du document D455620114874 et transmission de la seconde version provisoire le 08/03/2021 et du document SUB/RCSDE/D455620114874 (commentaires SUBATECH). Réception du document D455620114874 ind.B le 30/03/2021 - Remarques complémentaires EDF. Prise en compte du document D455620114874 ind.B et transmission du document SUB/RCSDE/D455620114874_EDF_v3 le 23/04/2021 (commentaires SUBATECH). Réception de remarques complémentaires EDF le 29/04/2021 – Commentaires de SUBATECH transmis le 03/05/2021 et édition de la version définitive le 12/05/2021.

Liste de diffusion

Destinataires		Nombre d'exemplaires
EDF/DIPDE/DEED	Geoffrey DEOTTO Cécile BOYER Elsa VITORGE Sophie CHAMPEL	1 version informatique (.pdf)
EDF/R&D	Beatriz LOURINO-CABANA Cécile COUEGNAS	1 version informatique (.pdf)
EDF C.N.P.E de Belleville-sur-Loire C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux C.N.P.E. de Chinon-Avoine C.N.P.E. de Civaux	 Delphine REBBOUH Lamia LAMOUREUX Luc GUILLOUX Céline CORMIER Xavier MARTIN	1 version informatique (.pdf)
SUBATECH	Sabrina ANDRIAMBAHINY Gurvan ROUSSEAU	1 version informatique (.pdf)

Coordination

Gurvan ROUSSEAU	SUBATECH

Interprétation et rédaction

Gurvan ROUSSEAU	SUBATECH
Sabrina ANDRIAMBAHINY	SUBATECH
Marcel Bandombele MOKILI	SUBATECH

Organisation et réalisation des prélèvements

Gurvan ROUSSEAU	SUBATECH
Nancy LE GRALL	SUBATECH
Vanessa PAGANO	SUBATECH
Aurélien DAUVE	SUBATECH
Michaël BAILLY	SUBATECH
Gaëlle GUEREL	SUBATECH
Elodie CORMIER	SUBATECH
Magali BERTAUD	SUBATECH

Traitements et métrologie

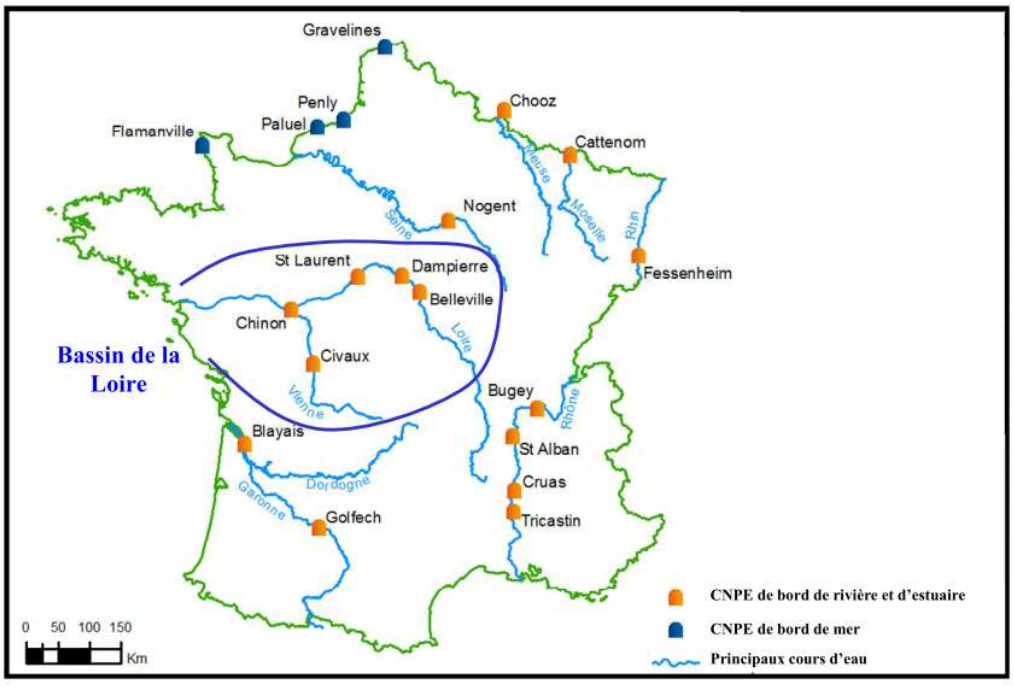
Nancy LE GRALL	SUBATECH
Vanessa PAGANO	SUBATECH
Aurélien DAUVE	SUBATECH
Simon DENIAUD	SUBATECH
Anne DROUIN	SUBATECH
Elodie CORMIER	SUBATECH
Gaëlle GUEREL	SUBATECH
Guillaume MARTIN	SUBATECH
Emmanuel PLEIBER	SUBATECH
Gurvan ROUSSEAU	SUBATECH
Angélique TAILLET	SUBATECH
Frédéric LARGER	IPNL/LABRADOR
Christine OBERLIN	CDRC
Hélène SCHMIT	INOVALYS
Frédérine MARIE	PLATIN

Collaboration technique

Mathieu SAGET	AQUASCOP
Corinne BIDAULT	AQUASCOP
Yannick GELINEAU	AQUASCOP
Jean-Benoît HANSMANN	AQUASCOP

C.N.P.E. du bassin de la Loire

BELLEVILLE-SUR-LOIRE
DAMPIERRE-EN-BURLY
SAINT-LAURENT-DES-EAUX
CHINON-AVOINE
CIVAUX



Répartition des C.N.P.E. français. – Identification des C.N.P.E. du bassin de la Loire.

(Source : EDF/DIPDE)

SOMMAIRE

1. Objectifs du suivi radioécologique de l'environnement proche des Centres Nucléaires de Production d'Electricité français **15**

2. Méthodologie du suivi radioécologique de l'environnement proche des Centres Nucléaires de Production d'Electricité français **16**

3. Origine de la radioactivité dans l'environnement des C.N.P.E. **17**

4. Contexte environnemental d'implantation des C.N.P.E. **23**

5 C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire **31**

6. C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly **87**

7. C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux **145**

8. C.N.P.E. de Chinon-Avoine **211**

9. C.N.P.E. de Civaux **271**

10. Synthèse des résultats au niveau du bassin de la Loire **343**

11. Annexe **359**

12. Glossaire **377**

LISTE DES FIGURES

Figure 3-1. Evolution temporelle de l'activité en tritium de l'eau de pluie dans l'hémisphère Nord (Ottawa et Thonon-les-Bains) depuis 1955, source AIEA [29]..... 21

Figure 3-2. Evolution de l'activité spécifique moyenne en carbone 14 (bruit de fond, $Bq.kg^{-1}$ de C) des compartiments biologiques échantillonnés en milieu terrestre depuis 1945 [32]..... 21

Figure 4-1. Hydrologie de la Loire à la station de Saint-Satur (a) et à la station de Saumur (b) pour l'année 2019 (Qjm : débit moyen journalier en $m^3.s^{-1}$; QMM : débit moyen mensuel en $m^3.s^{-1}$) 25

Figure 4-2. Hydrologie de la Vienne à la station de Lussac-les-Châteaux pour l'année 2019 (Qjm : débit moyen journalier en $m^3.s^{-1}$; QMM : débit moyen mensuel en $m^3.s^{-1}$)..... 25

1. Objectifs du suivi radioécologique de l'environnement proche des Centres Nucléaires de Production d'Electricité français

En France, la production d'électricité d'origine nucléaire est assurée par 58 réacteurs à eau sous pression (R.E.P.) répartis sur 19 sites exploités par EDF [1]. L'exploitation d'un parc de Centres Nucléaires de Production d'Electricité (C.N.P.E.) génère, comme toute activité industrielle, la production de déchets solides et d'effluents atmosphériques et liquides, dont il convient d'évaluer l'impact sur l'environnement et l'homme. Pour chaque C.N.P.E., des arrêtés ministériels spécifiques fixent les limites et les conditions techniques de rejets d'effluents atmosphériques et liquides (radioactifs ou non), les moyens d'analyse, de mesure et de contrôle de ces installations ainsi que les modalités de surveillance de leur environnement (détail sur le site du Journal Officiel, www.journal-officiel.gouv.fr).

Au début des années 90, EDF a décidé de mettre en place un suivi radioécologique afin de connaître l'influence de ses installations sur l'environnement [2]. Ces études complètent les prélèvements et les analyses réalisés dans le cadre de la surveillance réglementaire à laquelle sont soumis les exploitants. Elles ont pour objectif, par le biais de techniques analytiques performantes, de déterminer précisément dans quelle mesure l'exploitation de ses installations contribue à l'apport de radionucléides artificiels dans le milieu récepteur. Ces études consistent donc à déterminer et à suivre l'influence spatiale et temporelle du fonctionnement normal de chaque C.N.P.E. en déterminant des variations de radioactivité en termes de qualité (radionucléides détectés) et de quantité (niveaux d'activité) dans l'environnement de l'installation nucléaire considérée.

Le suivi radioécologique des C.N.P.E. français repose sur l'étude des divers composants (biocénose, biotope) de l'environnement allant de la source jusqu'à l'homme, permettant de quantifier sur le long terme l'apport éventuel de radionucléides par le C.N.P.E. considéré et de le distinguer 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…). Ces études réalisées autour des installations nucléaires présentent un intérêt pour les pouvoirs publics, les exploitants, les scientifiques et les populations. Enfin, elles participent à l'amélioration des connaissances des phénomènes de transferts des radionucléides dans les différents compartiments de l'environnement.

Dans ce cadre, ce rapport présente les opérations relatives au suivi radioécologique 2019 des C.N.P.E. du bassin de la Loire (Belleville-sur-Loire, Dampierre-en-Burly, Saint-Laurent-des-Eaux, Chinon-Avoine et Civaux). Les données présentées dans ce document sont issues des résultats de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) fournis par EDF pour les années 1991 à 2007 et de ceux de SUBATECH obtenus de 2008 à 2018. Ce document s'articule en quatorze parties :

- après cette première partie introductive, la seconde partie présente la méthodologie générale de l'étude,
- un bilan de l'origine de la radioactivité présente généralement dans l'environnement est exposé dans la troisième partie,
- la quatrième partie présente le contexte environnemental d'implantation des C.N.P.E. du bassin de la Loire,
- les cinquième à neuvième parties présentent les résultats obtenus en 2019 respectivement pour les C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire, de Dampierre-en-Burly, de Saint-Laurent-des-Eaux, de Chinon-Avoine et de Civaux,
- une synthèse générale relative au bassin de la Loire constitue la dixième partie,
- enfin, les acteurs du suivi radioécologique de 2019, les méthodes de prélèvements, de préparation et de conservation des échantillons, ainsi que les techniques d'analyses sont développés en annexe.

2. Méthodologie du suivi radioécologique de l'environnement proche des Centres Nucléaires de Production d'Electricité français

La méthodologie générale est basée sur la surveillance systématique et périodique d'une zone définie, qui s'appuie sur une stratégie d'échantillonnage prenant en compte la définition et le choix des milieux à couvrir, le type de radionucléides recherchés, les types de matrices et leur disponibilité, l'époque de prélèvement, le traitement des échantillons et leurs analyses. Ces suivis annuels portent principalement sur les milieux d'accumulation (sols, sédiments), sur des bioindicateurs (bryophytes, végétaux aquatiques…) et sur des produits consommés par l'homme (légumes, laits, eaux, poissons…).

Dans le cas des suivis radioécologiques annuels des C.N.P.E., la stratégie d'échantillonnage a pour objectif d'apporter des éléments permettant de quantifier et de distinguer la radioactivité liée aux rejets d'effluents atmosphériques et liquides de l'installation nucléaire considérée de la radioactivité naturelle locale et de celle liée à d'autres activités anthropiques. Dans cet objectif, il est nécessaire de choisir des stations de prélèvement et des matrices permettant d'obtenir des résultats les plus représentatifs possible du milieu étudié. Par ailleurs, cette stratégie d'échantillonnage et d'analyse est également fortement dimensionnée par les exigences réglementaires. Dans ce cadre, le plan d'échantillonnage de 2019 a été établi sur la base de la réglementation applicable à chaque C.N.P.E., des campagnes précédentes, des informations recueillies sur chacun des sites, des normes en vigueur ainsi que des analyses à réaliser.

Pour chaque C.N.P.E., la localisation des points de prélèvement est définie en fonction des exigences réglementaires et du contexte environnemental et géographique du site (Annexe 11, page 359). Les stations de prélèvement et la nature des échantillons sont également choisies au plus proche de celles étudiées les années précédentes si possible afin d'assurer la continuité dans l'historique des données recueillies. Même si la nature des prélèvements est globalement en cohérence sur l'ensemble des C.N.P.E. français, certaines adaptations peuvent exister d'un site à l'autre en fonction des particularités locales (pratiques agricoles…) ou de la disponibilité des espèces.

Le retour d'expérience sur les études menées systématiquement depuis le début des années 90 dans l'environnement terrestre et aquatique de chaque C.N.P.E. permet aujourd'hui de définir un programme standard de prélèvements et d'analyses permettant de disposer de séries de données pertinentes et cohérentes sur de longues périodes. Les suivis ont pour objectif principal de déterminer l'évolution spatiale et temporelle des niveaux de radioactivité gamma d'origine naturelle, (le potassium 40 (^{40}K), familles du thorium 232 (^{232}Th) et de l'uranium 238 (^{238}U), le béryllium 7 (^{7}Be) et d'origine artificielle (les césium 134 et 137 (^{134}Cs et ^{137}Cs), les cobalt 58 et 60 (^{58}Co et ^{60}Co), l'argent 110 métastable (^{110m}Ag), le manganèse 54 (^{54}Mn) et l'iode 131 (^{131}I). En effet, la présence d'une partie de ces radionucléides émetteurs gamma peut être associée au fonctionnement des C.N.P.E. La caractérisation des émetteurs gamma d'origine naturelle permet de vérifier la qualité du prélèvement et des analyses. Les programmes d'analyses ont intégré progressivement la quantification du tritium (^{3}H libre et organiquement lié) et du carbone 14 (^{14}C) dans le milieu terrestre et le milieu aquatique. Auparavant, leur activité n'était déterminée que dans le cadre des bilans décennaux. Cette démarche résulte du souci d'EDF de mieux comprendre le comportement de ces deux radionucléides dans l'environnement, ceux-ci étant prépondérants dans les rejets d'effluents radioactifs atmosphériques et liquides des C.N.P.E. Enfin, des analyses d'autres émetteurs bêta (le nickel 63 (^{63}Ni) et le fer 55 (^{55}Fe)) ou d'émetteurs alpha peuvent également être réalisées.

3. Origine de la radioactivité dans l'environnement des C.N.P.E.

L'origine de la radioactivité dans l'environnement est double, une origine naturelle provenant des composantes terrestre et atmosphérique et une origine artificielle résultant des activités humaines.

3.1. La radioactivité d'origine naturelle

Tous les organismes vivants sont exposés en permanence à des rayonnements d'origine naturelle. Ils proviennent des radionucléides contenus dans l'écorce terrestre, des rayons cosmiques (les étoiles, le soleil), dans les matériaux de construction, dans l'eau, dans l'air et les aliments, dans notre corps... L'exposition à ces rayonnements n'est pas la même partout. Elle augmente notamment en fonction de l'altitude (rayons cosmiques en haute altitude) et varie en fonction de la composition des roches et des sols (activités d'uranium et de thorium élevées dans certaines régions granitiques…).

Les radionucléides d'origine tellurique existent depuis la formation de la Terre (environ 4,5 milliards d'années). Les longues périodes physiques de ces éléments (de l'ordre du milliard d'années) expliquent qu'ils subsistent encore de nos jours. Il s'agit des radionucléides naturels primordiaux, notamment le ^{40}K, qui se désintègre en donnant directement un élément stable, l'^{238}U, le ^{232}Th et l'uranium 235 (^{235}U). Les radionucléides issus de leur désintégration sont appelés les radionucléides naturels secondaires.

Parmi les descendants de ces chaînes naturelles, on compte le radon, gaz radioactif qui possède deux isotopes principaux : le radon 220 (^{220}Rn) descendant du ^{232}Th et le radon 222 de la famille de l'^{238}U. Etant sous forme gazeuse, il diffuse dans l'atmosphère et génère des produits de filiation qui contribuent fortement, par inhalation, à l'exposition de la population. L'activité du radon dans les habitations est très variable selon la zone géographique, le type de matériaux employé dans les constructions et la nature du sol. L'exposition au radon est la source principale d'exposition naturelle de l'homme [3,4].

Certaines activités humaines peuvent localement induire une augmentation de la radioactivité naturelle. Ces phénomènes sont notamment mis en jeu lors de l'utilisation d'engrais (apport essentiellement en ^{40}K, ^{238}U et ^{226}Ra) ou bien dans le cadre d'activités industrielles aboutissant à la production de déchets à radioactivité naturelle renforcée ou concentrée (extraction minière, cendres de centrales à charbon, extraction de terres rares…) [3].

Les radionucléides d'origine cosmique proviennent de la réaction des rayonnements naturels avec des éléments stables légers. La Terre est en permanence bombardée par des « rayons cosmiques », des particules de très haute énergie en provenance de l'espace. Quand ils pénètrent dans l'atmosphère, ils entrent en collision avec les noyaux des atomes de l'atmosphère et peuvent être à l'origine de la production de noyaux radioactifs. Les principaux radionucléides cosmiques rencontrés sont le ^{14}C, le ^{7}Be, le béryllium 10 (^{10}Be) et le ^{3}H.

3.2. La radioactivité d'origine artificielle

La radioactivité artificielle est le résultat de différentes activités humaines. Les radionucléides associés sont, pour la plupart, issus de travaux et d'essais nucléaires atmosphériques militaires, de l'industrie nucléaire, des activités de recherche (physique des particules, biologie…), de laboratoires pharmaceutiques et pour une part non négligeable d'activités industrielles (ex. : peintures luminescentes) ou de médecine nucléaire.

Les paragraphes suivants s'intéressent plus particulièrement aux essais nucléaires atmosphériques, aux accidents graves survenus dans l'industrie nucléaire, aux installations nucléaires dont les C.N.P.E. d'EDF et enfin aux sources locales potentielles de radioactivité.

3.2.1. Essais nucléaires

Le principal apport de radionucléides artificiels dans l'environnement est lié aux essais nucléaires. Ces essais ont entraîné une dispersion non contrôlée dans l'environnement de matières radioactives qui se sont disséminées dans l'atmosphère et se sont déposées principalement dans l'hémisphère Nord en raison de la localisation des sites de tirs.

D'après l'UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) [5], le nombre des essais atmosphériques est de 423 de 1945 à 1981 (dont 128 en 1957-1958 et 128 en 1961-1962). Les radionucléides issus des retombées de ces essais sont principalement, pour les éléments de périodes les plus longues, les radio-isotopes 238, 239, 240 et 241 du plutonium, le strontium 90 (^{90}Sr), le ^{14}C et le ^{137}Cs, et pour les éléments à vie plus courte, le ^{3}H, le ^{60}Co, le ^{54}Mn, le strontium 89 (^{89}Sr), le baryum 140 (^{140}Ba) ou encore le cérium 144 (^{144}Ce).

Suite à ces essais nucléaires, la dose efficace annuelle moyenne reçue par la population mondiale était maximale en 1963 avec 150 µSv/an, elle était estimée à 5 µSv/an en 2000, principalement due à l'activité résiduelle du ^{14}C, au ^{90}Sr et au ^{137}Cs [3]. La présence de ces radionucléides dans l'environnement est encore détectable à ce jour.

3.2.2. Retombées des accidents de Tchernobyl et de Fukushima

Deux accidents graves sont à l'origine d'un relâchement significatif de radionucléides artificiels dans l'environnement à l'échelle mondiale : l'accident de Tchernobyl en 1986 [6,7] et plus récemment celle de Fukushima en 2011 [8]. Ces accidents sont classés au niveau 7 sur l'échelle internationale des évènements nucléaires et radiologiques (échelle INES), niveau le plus élevé [9,10]. Les rejets radioactifs émis dans l'atmosphère se sont dispersés suivant le déplacement des masses d'air. Les dépôts les plus importants se sont formés au voisinage immédiat des installations accidentées. La dispersion atmosphérique à très grande distance des radionucléides volatils émis lors de ces accidents a affecté l'ensemble de l'hémisphère Nord. L'importance des retombées radioactives a découlé de la distance parcourue par le panache, des trajectoires et du temps de parcours des masses d'air contaminé ainsi que des conditions météorologiques, en particulier des précipitations.

En 1986, l'accident de Tchernobyl en Ukraine a provoqué le relâchement d'une fraction importante de la radioactivité du cœur du réacteur dans l'environnement du 26 avril au 05 mai 1986. Les radionucléides (^{131}I, ^{137}Cs, ^{134}Cs, le ruthénium 103 (^{103}Ru), le tellure 123 métastable (^{123m}Te), ^{140}Ba, ^{144}Ce…) se sont déposés sur l'ensemble du continent européen, notamment en Ukraine, en Biélorussie et en Russie. En France métropolitaine, l'inhomogénéité des retombées de cet accident, plus importantes à l'Est de la France que dans la partie Ouest, était liée à l'intensité et à la localisation des pluies, à la trajectoire du panache ainsi qu'à son appauvrissement au cours du temps [6]. L'accident de Tchernobyl a marqué les opinions publiques et ses conséquences font encore l'objet de programmes internationaux de recherche [11] ou d'études d'impact au niveau national [12]. Les dépôts consécutifs du passage du nuage radioactif de l'accident de Tchernobyl sont encore à ce jour à l'origine d'un marquage de l'environnement en ^{137}Cs sur le territoire métropolitain.

En 2011, l'accident majeur de Fukushima au Japon s'est produit le 11 mars à la suite d'un tsunami provoqué par un tremblement de terre d'une magnitude 9. Les dégradations occasionnées sur la centrale nucléaire de Fukushima ont provoqué des rejets radioactifs dans l'atmosphère, notamment entre le 12 et le 22 mars 2011. Les radionucléides rejetés ont essentiellement été des produits de fission volatils (gaz et particules), en particulier des gaz rares, l'^{131}I, le ^{132}Te et, dans une moindre mesure, le ^{134}Cs et le ^{137}Cs [8]. Les mesures réalisées dans les pays européens [13-17] et en France [8,18-24] suite au passage des masses d'air contaminé en provenance du Japon ont montré principalement la présence d'^{131}I, de ^{137}Cs et de ^{134}Cs dans l'air, l'eau de pluie, les mousses terrestres, les légumes, l'herbe ou encore le lait. Les différentes observations ont montré que les régions françaises ont été touchées de façon similaire et que les niveaux d'activité étaient de 500 à 1000 fois inférieurs à ceux mesurés début mai 1986 en France suite à l'accident de Tchernobyl.

Ainsi, cet accident nucléaire majeur a faiblement impacté le territoire métropolitain en raison de la distance parcourue par le panache et des conditions météorologiques (faibles précipitations). Les activités en ^{131}I, en ^{137}Cs et en ^{134}Cs mesurées à l'état de traces dans les différents compartiments de l'environnement en France n'ont présenté aucun risque sanitaire ou environnemental [8,24]. Depuis 2012, le ^{134}Cs n'est plus détecté en France métropolitaine et, compte tenu du faible apport des dépôts liés à l'accident de Fukushima, la contribution en ^{137}Cs spécifique de cet accident n'est pas discernable des autres sources (essais aériens nucléaires et accident de Tchernobyl).

3.2.3. Installations nucléaires d'EDF

En France, les installations nucléaires effectuent des rejets de radionucléides autorisés et de manière contrôlée dans les fleuves ou la mer (effluents liquides) et dans l'air (effluents atmosphériques). Ces rejets sont effectués selon des arrêtés des autorités françaises (www.asn.fr). Ils fixent notamment les limites et les conditions techniques de ces rejets, les moyens d'analyse, de mesure et de contrôle des installations ainsi que les modalités de surveillance de l'environnement.

En ce qui concerne les C.N.P.E. d'EDF, les effluents radioactifs contiennent principalement du tritium et du carbone 14 ainsi que des produits d'activation des matériaux des structures de l'installation et des produits de fission. Les évaluations réalisées sur la base des rejets réels montrent que l'impact dosimétrique des rejets d'effluents radioactifs des C.N.P.E. est faible (<0,01 mSv/an) et principalement dû au ^{14}C (environ 65%) et au ^{3}H (environ 30%) [25].

Ces radionucléides peuvent être présents dans les effluents liquides et dans les effluents atmosphériques.

Dans les effluents liquides, la composition des radionucléides présents est large. Ils contiennent notamment du ^{3}H, du ^{14}C ainsi que d'autres radionucléides artificiels dont les principaux sont le ^{54}Mn, le ^{58}Co, le ^{60}Co, le ^{63}Ni, l'^{110m}Ag, les antimoine 124 et 125 (^{124}Sb et ^{125}Sb), le ^{123m}Te, l'^{131}I, le ^{134}Cs et le ^{137}Cs. Le ^{58}Co, le ^{60}Co, l'^{110m}Ag et le ^{63}Ni représentent à eux seuls entre 70 et 80% de l'activité des radionucléides émetteurs bêta/gamma dans les rejets d'effluents liquides, hors ^{3}H et ^{14}C.

Les rejets d'effluents atmosphériques, effectués au niveau de la cheminée, proviennent du dégazage du circuit primaire et de la ventilation des locaux. Ils sont composés de ^{3}H, de ^{14}C, d'halogènes radioactifs (isotopes de l'iode 131 et 133 (^{131}I et ^{133}I)), de gaz rares (argon 41 (^{41}Ar), krypton 85 (^{85}Kr), isotopes du xénon (^{131m}Xe, ^{133}Xe et ^{135}Xe) ainsi que d'aérosols radioactifs (^{58}Co, ^{60}Co, ^{134}Cs et ^{137}Cs). Les effluents hydrogénés atmosphériques radioactifs font l'objet d'un stockage intermédiaire (30 jours minimum) permettant de réduire l'activité par décroissance radioactive avant leur rejet (sauf ceux issus de la ventilation).

Dans le bassin de la Loire, la production repose sur cinq C.N.P.E. regroupant quatorze réacteurs. A l'amont du bassin, la production du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire est assurée par deux unités de 1300 MWe de la filière des Réacteurs à Eau Pressurisée (R.E.P.), successivement mises en service en octobre 1987 et juillet 1988. Pour le C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly, la production est basée sur quatre unités de 900 MWe de la filière des Réacteurs à Eau Pressurisée (R.E.P.), successivement mises en service de mars 1980 à août 1981. L'installation de Saint-Laurent-des-Eaux fût équipée de deux réacteurs (A1 et A2) de la filière des réacteurs Uranium Naturel Graphite Gaz (U.N.G.G.) arrêtées en 1990 (A1) et 1992 (A2). La production du C.N.P.E. repose aujourd'hui sur deux unités (réacteurs B1 et B2) de la filière des Réacteurs à Eau Pressurisée (R.E.P.) de 900 MWe chacune, mises en service en janvier et juin 1981. Première centrale nucléaire française, l'installation de Chinon-Avoine fût équipée de trois réacteurs (A1 à A3) de la filière des réacteurs Uranium Naturel Graphite Gaz (U.N.G.G.) qui ont été arrêtées respectivement en 1973, 1985 et 1990. La production du C.N.P.E. est assurée aujourd'hui par quatre unités (réacteurs B1 à B4) de la filière des Réacteurs à Eau Pressurisée (R.E.P.) de 900 MWe chacune, successivement mises en service en novembre 1982 et 1983, octobre 1986 et novembre 1987. Enfin, la production du C.N.P.E. de Civaux repose sur deux unités de la filière des Réacteurs à Eau Pressurisée (R.E.P.) de 1450 MWe chacune, mises en service en novembre 1997 et novembre 1999.

3.3. Cas particuliers du tritium et du carbone 14

3.3.1. Origines naturelle et artificielle

Le tritium et le carbone 14 présentent la particularité d'être à la fois d'origine naturelle et d'origine artificielle. Le tritium est un isotope radioactif de l'hydrogène et le carbone 14 est un isotope radioactif du carbone. Ces deux radionucléides sont des émetteurs bêta dont les périodes radioactives sont respectivement de 12,32 et 5730 ans.

L'origine naturelle de ces radionucléides est essentiellement liée à l'interaction du rayonnement cosmique avec les noyaux d'azote N et d'oxygène O. La production naturelle annuelle atmosphérique de ^{3}H est de l'ordre de 50000 à 70000 TBq et de 1000 à 1400 TBq pour le ^{14}C [3,26].

Depuis plusieurs décennies, les activités humaines (militaires, industrie nucléaire, recherche, médecine…) sont également à l'origine d'émission de ^{3}H et de ^{14}C dans l'environnement. En particulier, dans les années 50 et le début des années 60, des quantités importantes ont été produites par les essais aériens nucléaires [3].

En France métropolitaine, les rejets actuels de ^{3}H et de ^{14}C dans l'environnement sont principalement liés à l'industrie nucléaire (usines de retraitement, C.N.P.E. …). Ils s'effectuent dans le cadre d'arrêtés ministériels qui définissent les limites et les conditions techniques de rejets d'effluents radioactifs atmosphériques et liquides.

Dans les réacteurs à eau pressurisée (R.E.P.), le tritium est issu de la fission de l'uranium et du plutonium et de l'activation neutronique d'éléments légers (bore, lithium) présents dans le circuit primaire et le carbone 14 est produit majoritairement par activation de l'oxygène 17 (^{17}O) contenue dans l'eau du circuit primaire. En France, les activités moyennes de tritium rejetées par les C.N.P.E. sont de l'ordre de 10 à 30 TBq/réacteur pour les effluents liquides et de 0,3 à 0,6 TBq/réacteur pour les effluents à l'atmosphère [27]. Dans le cas du ^{14}C, les estimations indiquent des activités moyennes rejetées par réacteur de l'ordre de 10 GBq dans les effluents liquides et de 0,17 TBq dans les effluents à l'atmosphère [27]. Dans les usines de retraitement, le tritium des combustibles irradiés est principalement rejeté sous forme d'eau tritiée et le carbone 14 sous forme de CO_2. A titre d'exemple, dans les effluents liquides, l'usine de La Hague rejette annuellement environ 10000 TBq de tritium (30 g) et 70 TBq de ^{14}C [3].

Enfin, certaines industries utilisent (ou ont utilisé) également ces radionucléides et peuvent contribuer sensiblement à leur présence dans l'environnement : le ^{3}H dans des applications militaires, dans la recherche, la médecine ou la production d'objets luminescents (ex. : l'horlogerie) et le ^{14}C comme marqueur dans la recherche.

3.3.2. Comportement du tritium et du carbone 14 dans l'environnement

Dans l'environnement, le ^{3}H intègre le cycle de l'hydrogène. Il peut être présent dans toutes les molécules hydrogénées, aussi bien dans l'eau que dans la matière organique. Le tritium se trouve principalement sous forme d'eau tritiée (HTO), de tritium gazeux (HT) et de tritium « organiquement » lié (TOL) [26-28]. Les valeurs de tritium répertoriées dans la littérature montrent des gammes de variation relativement larges quelles que soient les matrices échantillonnées dans les milieux terrestre et aquatique. L'évolution temporelle depuis 1955 de l'activité en tritium de l'eau de pluie dans l'hémisphère Nord montre l'impact des essais nucléaires (Figure 3-1, page 21) [29]. Les différentes données bibliographiques indiquent que l'activité en tritium est actuellement comprise entre 1 et 2 $Bq.L^{-1}$ dans l'eau de pluie [27,30]. Dans les autres matrices de l'environnement (sols, sédiments, végétaux…), la rémanence du tritium à l'échelle du bassin versant liée aux activités anthropiques (tirs atmosphériques, industrie horlogère) peut être plus élevée et donc conduire à des activités plus importantes en tritium dans ces matrices [31].

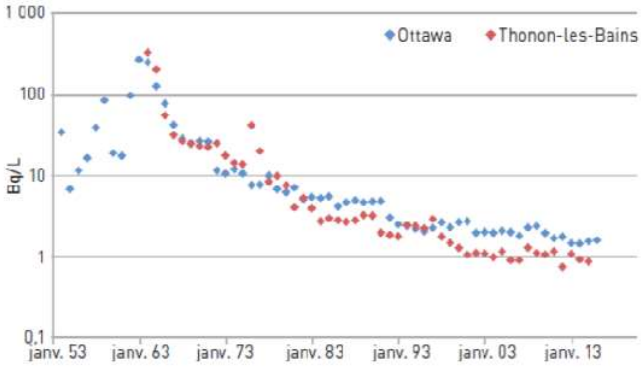


Figure 3-1. Evolution temporelle de l'activité en tritium de l'eau de pluie dans l'hémisphère Nord (Ottawa et Thonon-les-Bains) depuis 1955, source AIEA [29].

Le ^{14}C intègre le cycle biologique du carbone [26] et il se trouve principalement sous la forme de gaz carbonique (CO_2) et de matière organique. Dans les écosystèmes terrestres, les activités en ^{14}C sont relativement stables. La Figure 3-2 (page 21) montre l'évolution de l'activité spécifique moyenne en carbone 14 des compartiments biologiques échantillonnés en milieu terrestre depuis 1945 [32]. En 1950, l'activité spécifique ($^{14}C/C$) était de 226±1 $Bq.kg^{-1}$ de carbone. Dans les années 1960, l'activité a augmenté suite aux essais nucléaires pour atteindre une valeur de l'ordre de 400 $Bq.kg^{-1}$ de carbone. Depuis 1965, elle décroît lentement suite à l'arrêt des essais nucléaires atmosphériques et à la dilution par les rejets de CO_2 issus des énergies fossiles [33]. En 2019, la teneur moyenne ambiante hors influence industrielle mesurée dans le milieu terrestre sur des matières végétales est proche de 227 $Bq.kg^{-1}$ de carbone [27,34]. Dans le milieu aquatique, les teneurs sont beaucoup plus variables. Dans les bicarbonates de l'eau, elles varient actuellement entre 150 et 250 $Bq.kg^{-1}$ de carbone et elles sont proches de 200-220 $Bq.kg^{-1}$ de carbone dans les végétaux aquatiques et les poissons [3,27].

Dans les environnements soumis à l'influence d'installations industrielles, les teneurs peuvent atteindre plusieurs centaines de becquerels par kg de carbone, notamment dans l'écosystème aquatique [26,32].

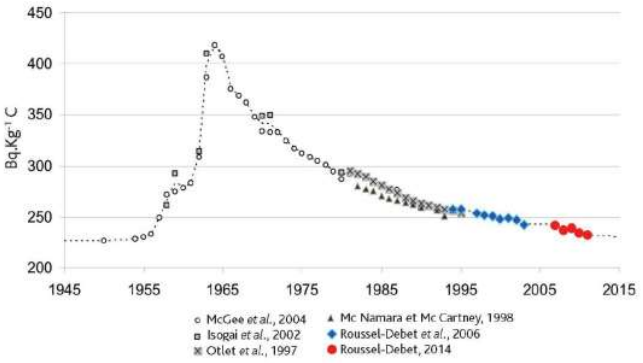


Figure 3-2. Evolution de l'activité spécifique moyenne en carbone 14 (bruit de fond, $Bq.kg^{-1}$ de C) des compartiments biologiques échantillonnés en milieu terrestre depuis 1945 [32].

3.4. Les sources locales potentielles de radioactivité

Les paragraphes suivants sont basés sur l'inventaire national des matières et déchets radioactifs de 2017 de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) [35]. Il répertorie l'origine des radionucléides selon cinq secteurs économiques : l'électronucléaire (C.N.P.E., usines de fabrication ou de traitement du combustible…), la Défense (force de dissuasion, activités de recherches…), la recherche (nucléaire civil, recherche médicale, biologie, physiques des particules, agronomie…), l'industrie (extraction de terres rares, stérilisation et conservation de produits alimentaires…) et enfin le secteur médical (activités thérapeutiques, diagnostic…).

Dans le bassin de la Loire, les sources locales potentielles de radioactivité artificielle dans l'environnement des C.N.P.E. peuvent provenir de centres de recherche, d'activités industrielles et de laboratoires pharmaceutiques situés au niveau des agglomérations d'Orléans, de Tours et de Poitiers, des centres de la défense nationale présents en région Centre, et enfin, des centres de médecine nucléaire, principalement les Centres Hospitaliers Universitaires (CHU) d'Orléans, de Tours et de Limoges ainsi que le Centre Hospitalier de Nevers.

Ces différentes sources potentielles peuvent être à l'origine de la présence dans l'environnement principalement de ^{3}H, de ^{14}C et d'^{131}I.

4. Contexte environnemental d'implantation des C.N.P.E.

4.1. Climatologie

Les C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire et de Dampierre-en-Burly sont situés à l'Est de la région Centre. Ils sont respectivement implantés dans le département du Cher (18) et du Loiret (45). Le climat de cette région présente un caractère océanique plus ou moins altéré. Il gèle en moyenne 60 jours par an et la température dépasse 25°C plus de 50 jours par an en moyenne. Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 600-700 mm en moyenne. Pour le C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire, les vents se caractérisent par une dominance des vents de Sud Sud-Est et du quart Sud-Ouest et des vents secondaires du secteur Nord Nord-Est. Au niveau du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly, les vents dominants proviennent du Sud-Ouest et les vents secondaires du Nord-Est.

Le C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux est localisé dans le département de Loir-et-Cher (41) et le C.N.P.E. de Chinon-Avoine dans le département de l'Indre-et-Loire (37). La région est sous influence atlantique caractérisée par des perturbations d'Ouest susceptibles de se succéder et de générer des précipitations importantes. Les étés secs peuvent au contraire entraîner des déficits pluviométriques importants. Il gèle en moyenne 45 jours par an et la température dépasse 25°C plus de 40 jours par an en moyenne. Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 700 mm en moyenne. Au niveau des deux sites, les vents sont orientés le long de la Loire avec une dominance des vents de Sud-Ouest et des vents secondaires de Nord-Est.

Le C.N.P.E. de Civaux est situé dans le département de la Vienne (86). La région est caractérisée par un climat océanique tempéré. Il gèle en moyenne 55 jours par an et la température dépasse 25°C plus de 45 jours par an en moyenne. Les précipitations moyennes sont d'environ 700-800 mm par an. Les vents dominants proviennent du quart Sud-Ouest et les vents secondaires du Nord-Est.

4.2. Géologie et occupation des sols

Le C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire est situé en limite sud du bassin sédimentaire parisien. Les formations principales sont composées de séries sédimentaires du Jurassique qui plongent vers le nord-ouest sous les terrains du Crétacé et le plateau tertiaire. Le crétacé est formé par des intercalations de calcaires, d'argiles (Cénomanien), de craie blanche (Turonien) et des faciès siliceux du Coniacien-Santonien. Les terrains tertiaires comprennent des cailloutis de silex avec des lentilles d'argile et de sables quartzeux, des calcaires et des marnes de Briare. Enfin, le quaternaire est composé de limons, de sables et de galets. Les principaux aquifères exploités sont la nappe alluviale, les formations de l'Eocène, la craie et les formations à silex du Crétacé. Les ressources en eau de la région sont fortement liées à la nappe alluviale du fleuve, dans laquelle ont été installés de nombreux captages. L'agriculture est très diversifiée dans l'environnement du C.N.P.E. : maraîchage, élevage bovin (viande et lait), élevage caprins (fromages), céréales/oléagineux, viticulture et production de fruits (pommes).

Le C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly se situe en bordure sud du bassin parisien. Les terrains affleurants sont constitués par des dépôts tertiaires continentaux surmontés par des alluvions quaternaires de la Loire. Les faciès rencontrés présentent une grande hétérogénéité. Néanmoins, les études menées sur la zone d'emprise permettent de définir un profil géologique « type ». Les alluvions, présentes en surface sur environ 15 m, reposent sur près de 10 m d'argiles et de calcaires constituant les dépôts tertiaires. En dessous, le substratum est constitué d'une couche d'environ 40 m de craie. Plusieurs nappes s'écoulent au niveau du site de Dampierre-en-Burly : la nappe des alluvions de la Loire, la nappe des terrains tertiaires et la nappe de la craie. Dans l'environnement proche du C.N.P.E., les agriculteurs pratiquent diverses activités : horticulture, élevage bovin (viande), céréales/oléagineux, viticulture, sylviculture et maraîchage. A proximité du C.N.P.E., les productions laitières tendent à disparaître.

Le C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux est situé en limite sud-ouest du bassin sédimentaire parisien. L'environnement proche du site est caractérisé par une structure monoclinale des terrains mésozoïques et cénozoïques. Au niveau du site, les terrains affleurants sont constitués d'alluvions quaternaires récentes. Les formations sous-jacentes sont essentiellement constituées de calcaires aux consistances variables et hétérogènes qui alternent généralement avec des niveaux marneux, parfois argileux. Plusieurs nappes phréatiques s'écoulent sous le site de Saint-Laurent-des-Eaux : la nappe alluviale de la Loire, une « nappe » des marno-calcaires et une nappe profonde, la nappe des craies altérées exploitée pour l'alimentation domestique d'une partie de la région. Les principales caractéristiques de l'agriculture à proximité du C.N.P.E. sont une prédominance des grandes cultures (céréales et oléagineux) au nord de la Loire (Beauce) et la sylviculture au sud de la Loire (Sologne). Les exploitations maraîchères et laitières sont en voie de disparition dans l'environnement proche du C.N.P.E.

Le C.N.P.E. de Chinon-Avoine est situé à l'extrémité sud-ouest du bassin sédimentaire parisien et appartient à l'auréole Crétacé du bassin. L'environnement proche du site est constitué d'alluvions de la Loire sablo-graveleuses de différentes époques, qui érodent et recoupent les terrains crétacés affleurants à proximité du fleuve. Au niveau du site, le sol est recouvert de terre végétale sablonneuse. Sous ce dépôt, des alluvions quaternaires anciennes composées de sables moyens à grossiers reposent sur une formation argileuse. Les formations sous-jacentes sont composées de différents faciès calcaires qui se succèdent sur 25 à 45 mètres puis de marnes grises. Les principaux aquifères exploités pour l'alimentation en eau potable sont la nappe alluviale, les sables et graviers du Cénomanien et la nappe du Jurassique supérieur. L'agriculture s'oriente principalement sur le maraîchage et la viticulture. A proximité du C.N.P.E., les productions laitières tendent à disparaître.

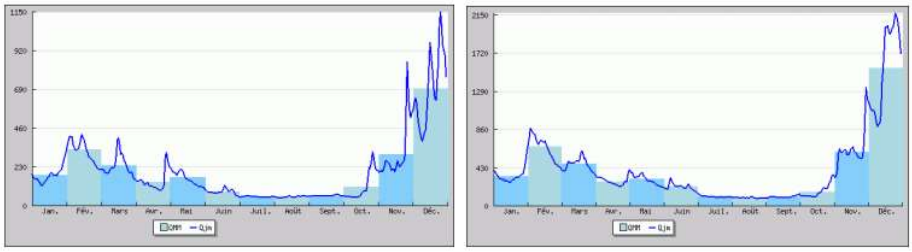
Le C.N.P.E. de Civaux s'inscrit dans la plaine alluviale de la Vienne. Le sol est composé d'une dizaine de mètres d'épaisseur d'alluvions puis, plus en profondeur, d'horizons calcaires caractérisés par des phénomènes de dolomitisation, par la présence de karsts et par des zones d'affaissement du toit des calcaires. Le contexte hydrogéologique du site est une superposition de trois nappes qui sont, de la supérieure à la plus profonde : la nappe supra-toarcienne du Jurassique, la nappe infra-toarcienne et les ressources du socle cristallin qui constituent la principale source d'approvisionnement en eau souterraine de la région. La principale caractéristique de l'agriculture à proximité du C.N.P.E. est la prédominance des grandes cultures (céréales et oléagineux). Les exploitations maraîchères et laitières sont en voie de disparition dans l'environnement proche du C.N.P.E.

4.3. Hydrographie et hydrologie de la Loire et de la Vienne

Les C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire, Dampierre-en-Burly, Saint-Laurent-des-Eaux et Chinon-Avoine sont situés sur la Loire. Ce fleuve, long de 1012 km, draine un bassin versant d'environ 117000 km². Les affluents les plus importants sont l'Allier, le Cher, l'Indre, la Vienne et la Maine. Les climats et les reliefs variés du bassin versant ligérien conditionnent un régime hydrologique particulier. En effet, la Loire a un régime irrégulier qui peut présenter de fortes crues, dues aux influences climatiques (atlantiques et méditerranéennes) et des étiages sévères liés à son substrat imperméable et à l'absence de neiges éternelles [36]. Les variations de débits s'observent à l'échelle annuelle (hautes eaux en hiver, étiages estivaux) et à l'échelle interannuelle. Cette alternance régulière des hautes eaux en saison froide et des basses eaux en saison chaude, avec des périodes d'étiage longues qui découvrent les grèves, est caractéristique de la Loire.

Les Figure 4-1 (a) et Figure 4-1 (b) (page 25) représentent respectivement les débits journaliers et mensuels moyens en amont du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire à la station de Saint-Satur et à l'aval du C.N.P.E. de Chinon-Avoine à la station de Saumur pour l'année 2019 [37].

En 2019, ces hydrogrammes montrent que la Loire a connu deux épisodes successifs de crues en novembre/décembre. En 2019, le débit moyen de la Loire a été de 201 $m^3.s^{-1}$ à Saint-Satur et de 405 $m^3.s^{-1}$ à Saumur. Sur la période 2010-2019, la crue décennale a atteint un débit de 1970 $m^3.s^{-1}$ à Saint-Satur (06/05/2013) et de 3890 $m^3.s^{-1}$ à Saumur (04/06/2016).



(a) (b)

Figure 4-1. Hydrologie de la Loire à la station de Saint-Satur (a) et à la station de Saumur (b) pour l'année 2019 (Qjm : débit moyen journalier en $m^3.s^{-1}$; QMM : débit moyen mensuel en $m^3.s^{-1}$)

La Vienne, sur laquelle est implanté le C.N.P.E. de Civaux, est une rivière longue de 372 km, qui draine un bassin de 21105 km². Elle prend sa source en Corrèze (19), au pied du Mont Audouze, sur le Plateau de Millevaches à 920 m d'altitude. Elle se jette dans la Loire à Candes-Saint-Martin, en rive gauche, dans le département de l'Indre-et-Loire (37). La Vienne est l'un des principaux affluents de la Loire, avec l'Allier et le Cher. Sur le bassin, on observe de nombreux barrages hydroélectriques principalement sur la partie amont en Limousin (complexe de Vassivière sur la Maulde et du Thaurion) puis à l'aval au niveau du complexe de l'Isle Jourdain sur la Vienne. Ainsi, le régime hydrologique de la Vienne est totalement influencé par ces équipements dont la gestion entraîne une modulation importante des débits. Les débits de la Vienne sont artificialisés. Cette artificialisation des débits n'évitent pas les phénomènes naturels de crues ou d'étiages, en particulier sur les affluents [38].

La Figure 4-2 (page 25) représente les débits journaliers et mensuels moyens en amont du C.N.P.E. de Civaux à la station de Lussac-les-Châteaux pour l'année 2019 [37].

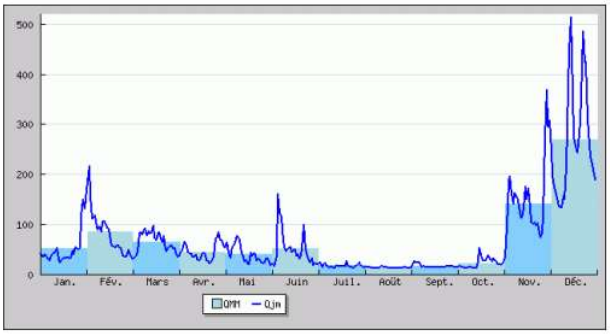


Figure 4-2. Hydrologie de la Vienne à la station de Lussac-les-Châteaux pour l'année 2019 (Qjm : débit moyen journalier en $m^3.s^{-1}$; QMM : débit moyen mensuel en $m^3.s^{-1}$)

En 2019, l'hydrogramme montre que la Vienne a connu une crue en novembre puis deux crues plus importantes en décembre. En 2019, le débit moyen de la Vienne a été de 68,5 $m^3.s^{-1}$ à Lussac-les-Châteaux, et sur la période 2010-2019, la crue décennale a atteint un débit de 725 $m^3.s^{-1}$ (16/12/2011).

Bibliographie

[1] Electricité de France. Site internet : https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/le-nucleaire-en-chiffres

[2] Duffa C., Masson M., Gontier G., Claval D. et Renaud P. – Synthèse des études radioécologiques annuelles menées dans l'environnement des centrales électronucléaires françaises depuis 1991. Radioprotection, Vol. 39, n°2, 233-254, 2004.

[3] Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire. Site internet : https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/Pages/Home.aspx

[4] Billon S., Morin A., Caër S., Baysson H., Gambard J.P., Rannou A., Tirmarche M. et Laurier D. – Evaluation de l'exposition de la population française à la radioactivité naturelle. Radioprotection, Vol. 39, n°2, 213-232, 2004.

[5] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Rapport du Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants. Nations Unies – New York, 2000.

[6] Renaud Ph., Champion D. et Brenot J. – Les retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl sur le territoire français : Conséquences environnementales et exposition des personnes. 190p, 2008, Lavoisier – Collection sciences et techniques.

[7] Linsley G. – Environmental impact of radioactive releases: Addressing global issues. IAEA Bulletin, 1/1996.

[8] 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, 90 p., 2011.

[9] INES. International Nuclear and Radiological Event Scale. AIEA. Site internet : https://www.iaea.org/

[10] INES. Les échelles de classement des incidents nucléaires et des évènements en radioprotection dans le cadre de radiotherapies. ASN. Site internet : https://www.asn.fr/

[11] Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience / report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment'. – Vienne: International Atomic Energy Agency, 2006.

[12] Renaud Ph., Métivier J.M., Castelier E., Pourcelot L. et Louvat D. – Cartographie des dépôts de ^{137}Cs en mai 1986 sur l'ensemble du territoire français métropolitain. Radioprotection, Vol. 39, n°1, 23-38, 2004.

[13] Beresford N.A., Barnett C.L., Howard B.J., Howard D.C., Welles C., Tyler A.N., Bradley S., Copplestone D. Observations of Fukushima fallout in Great Britain. Journal of Environmental Radioactivity, Vol. 114, 48-53, 2012.

[14] Fischer H.W., Hettwig B. and Pittauerová D. Traces of Fukushima fallout in the environment of Northwest Germany. Radioprotection, Vol. 46, n°6, 181-185, 2011.

[15] Piñero García F., Ferro García M.A. Traces of fission products in southeast Spain after the Fukushima nuclear accident. Journal of Environmental Radioactivity, Vol. 114, 146-151, 2012.

[16] Ioannidou A., Manenti S., Gini L., Groppi F. Fukushima fallout at Milano, Italy. Journal of Environmental Radioactivity, Vol. 114, 119-125, 2012.

[17] Kritidis P., Florou H., Eleftheriadis K., Evangeliou N., Gini M., Sotiropoulou M., Diapouli E., Vratolis S. Radioactive pollution in Athens, Greece due to the Fukushima nuclear accident. Journal of Environmental Radioactivity, Vol. 114, 100-104, 2012.

[18] IRSN. Impact à très longue distance des rejets radioactifs provoqués par l'accident de Fukushima. Mise à jour du 8 avril 2011.

[19] IRSN. Synthèse des résultats des mesures de radioactivité dans le cadre de la surveillance de l'impact à très longue distance des rejets de l'accident de Fukushima Dai-ichi en France. Note d'information n°15, 8 juin 2011.

[20] ACRO. Contrôle des retombées en France de substances radioactives continues dans les masses d'air contaminées en provenance du Japon. Communiqué n°3, 22/04/2011. Site internet : http://www.acro.eu.org.

[21] CRIIRAD. Contamination de la France par les rejets de la centrale de Fukushima Daiichi. Quels sont les risques ? Note d'information, 09/04/2011. Site internet : http://www.criirad.org.

[22] Evrard O., Van Beek P., Gateuille D., Pont V., Lefèvre I., Lansard B., Bonté P. Evidence of the radioactive fallout in France due to the Fukushima nuclear accident. Journal of Environmental Radioactivity, Vol. 114, 54-60, 2012.

[23] Perrot F., Hubert Ph., Marquet Ch., Pravikoff M.S., Bourquin P., Chiron H., Guernion P.-Y., Nachab A. Evidence of ^{131}I and $^{134,137}Cs$ activities in Bordeaux, France due to the Fukushima nuclear accident. Journal of Environmental Radioactivity, Vol. 114, 61-65, 2012.

[24] IRSN. Fukushima, un an après. Premières analyses de l'accident et de ses conséquences. Rapport IRSN/DG/2012-001, 12 mars 2012.

[25] Florence D. et Hartmann P. Les rejets radioactifs des centrales nucléaires et leur impact radiologique. SFRP, L'évaluation et la surveillance des rejets radioactifs des installations nucléaires, Strasbourg, 13 et 14/11/2002.

[26] Ménager M.T., Garnier-Laplace J. et Goyffon M. Toxicologie nucléaire environnementale et humaine. 748p, Editions Tec&Doc, Lavoisier, 2009.

[27] IRSN. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017. Rapport de mission 2018, 353 p., 2018.

[28] Belot Y., Roy M. et Métivier H. Le tritium de l'environnement à l'Homme. Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire. 191 p., 1997.

[29] AIEA. Isotopes environnementaux dans le cycle hydrologique : principes et applications (6 volumes) source Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database. Accessible at : isohis.iaea.org.

[30] IRSN. Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement. Rapport IRSN/PRP-ENV/SERIS/2017-00004, 74 p., 2017.

[31] Gontier G. et Siclet F. Le tritium organique dans les écosystèmes d'eau douce : évolution à long terme dans l'environnement des centres nucléaires de production d'électricité français. Radioprotection, Vol. 46, n°4, 457-491, 2011.

[32] IRSN : Fiche radionucléide – Carbone 14 et environnement. https://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/fiches-radionucleides/environnement/Pages/carbone-14-environnement.aspx

[33] Jean-Baptiste P. et Paterne M. – Carbone 14 et environnement global. Radioprotection, Vol. 38, n°3, 377-390, 2003.

[34] Centre de Datation par le RadioCarbone. Site internet : http://carbon14.univ-lyon1.fr.

[35] Andra. Inventaire national des matières et déchets radioactifs. 2017.

[36] Etablissement Public Loire. Etude monographique des fleuves et grandes rivières de France. Décembre 2003. Site internet : http://www.eptb-loire.fr.

[37] Banque Hydro. http://www.hydro.eaufrance.fr.

[38] R.I.V.E. de la Vienne. Diagnostic territorial du bassin versant Vienne aval. Janvier 2011.

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

- Année 2019 -

Bassin de la Loire

Belleville-sur-Loire

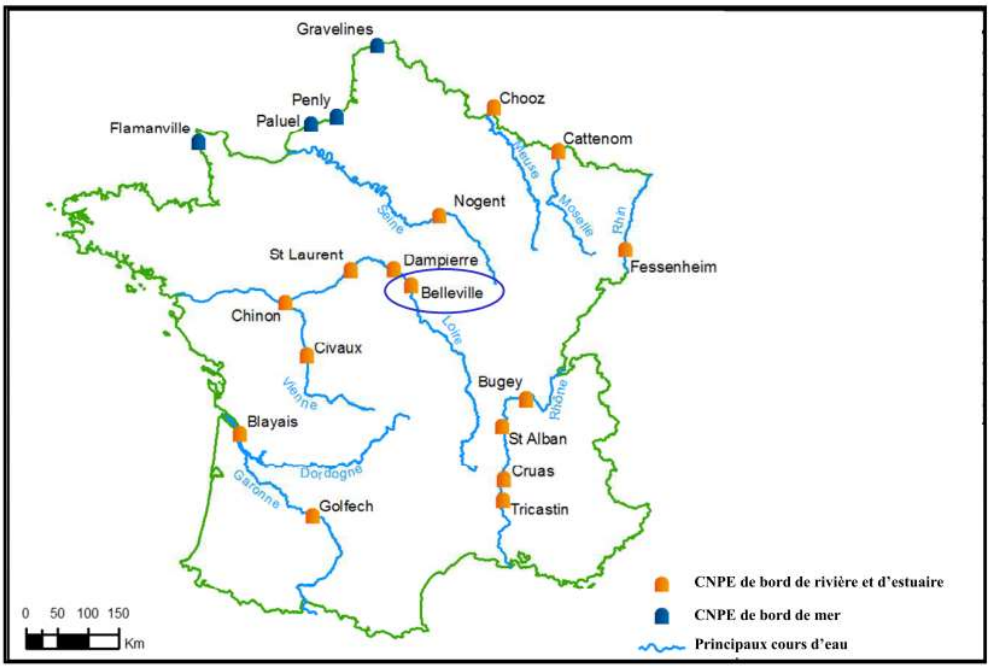
Dampierre-en-Burly

Saint-Laurent-des-Eaux

Chinon-Avoine

Civaux

C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire



Source : EDF/DIPDE.

5. Etat radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire 39

5.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques 39

5.2. Etat radiologique de l'environnement terrestre 41

5.2.1. Stratégie d'échantillonnage 41

5.2.2. Résultats et interprétation 44

5.2.2.1. Radionucléides émetteurs gamma 44

5.2.2.2. Radionucléides émetteurs bêta 46

5.3. Etat radiologique de l'environnement aquatique 49

5.3.1. Stratégie d'échantillonnage 49

5.3.2. Résultats et interprétation 52

5.3.2.1. Radionucléides émetteurs gamma 52

5.3.2.2. Radionucléides émetteurs bêta 56

5.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire 59

Résumé

L'objectif du suivi radioécologique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire 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 2019 montre que le niveau de radioactivité naturelle demeure similaire à celui constaté avant la mise en fonctionnement de l'installation de Belleville-sur-Loire.

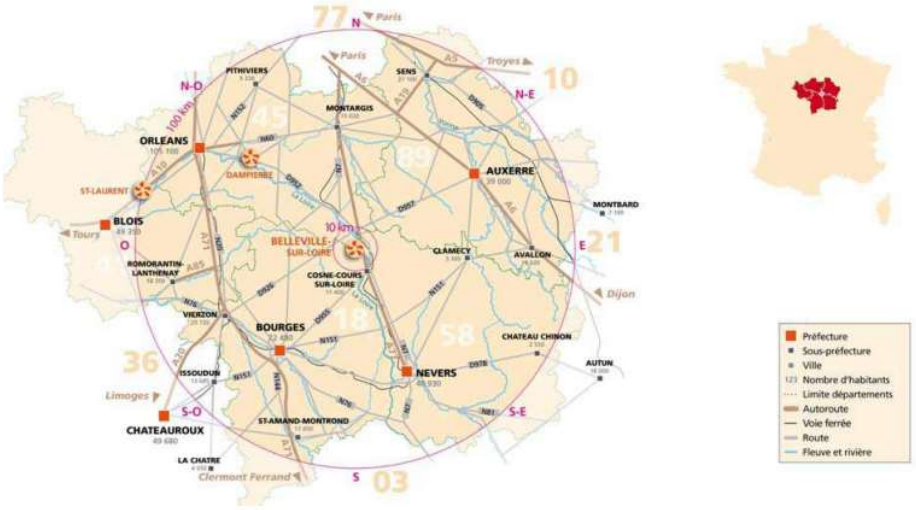
Dans **le milieu terrestre**, la radioactivité gamma d'origine artificielle est liée en 2019 uniquement à la présence du ^{137}Cs. Il provient principalement de la rémanence des retombées des anciens essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Les analyses de ^{14}C dans les échantillons prélevés dans des zones sous les vents dominants (herbe de pâturage, lait, salade) montrent des activités cohérentes avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle. Les activités en ^{3}H (libre et organiquement lié) correspondent aux observations des années précédentes et elles ne montrent pas d'influence des rejets d'effluents atmosphériques en tritium du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire sur le milieu terrestre.

En 2019, la radioactivité d'origine artificielle dans **le milieu aquatique** est caractérisée par la présence de ^{137}Cs dans tous les échantillons (sédiments, végétaux et poissons) à des niveaux d'activité équivalents pour une matrice donnée à l'amont et à l'aval du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire. Le ^{137}Cs provient principalement de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Les analyses de ^{3}H (HTO et TOL) et de ^{14}C montrent des activités conformes au niveau attendu en dehors de tout apport industriel local à l'exception des activités mesurées à l'aval dans les poissons. Ces activités montrent le marquage du milieu aquatique lié aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire pour ces radionucléides.

5. Etat radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire

5.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques

Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité (C.N.P.E.) de Belleville-sur-Loire est situé dans le département du Cher (18), à 11 km de Cosne-Cours-sur-Loire et 26 km de Gien. L'installation se situe sur la rive gauche de la Loire [1-2].



Carte 1. Implantation géographique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire.

Photo 1. C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire. Crédit : www.edf.fr.

La Figure 5-1 (page 40) présente la chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire depuis 1983.

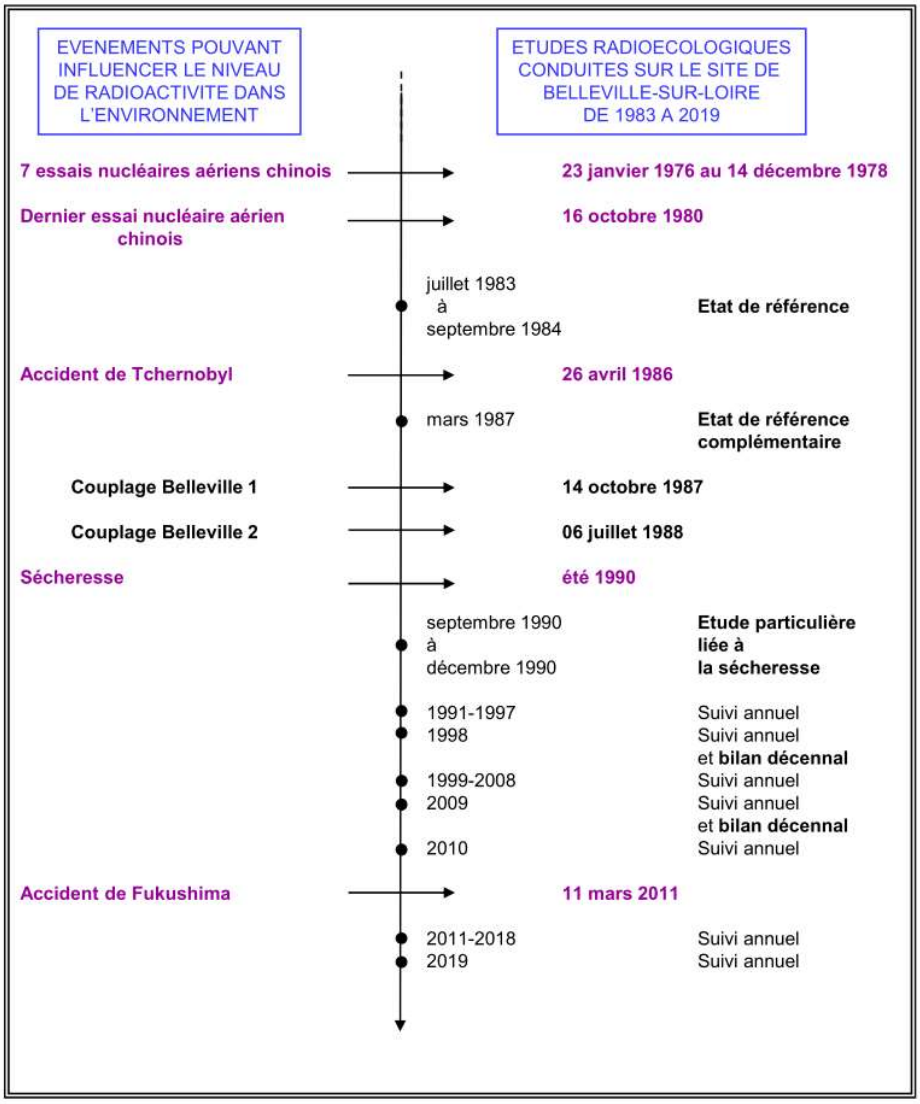


Figure 5-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire.

5.2. Etat radiologique de l'environnement terrestre

5.2.1. Stratégie d'échantillonnage

Le Tableau 5-1 (page 42) 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 5-2 (page 43) présente les stations de prélèvements et la nature des échantillons prélevés en 2019.

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 5-2 (page 43), les zones sous les vents dominants et potentiellement influencées (« ZSV » dans la suite du texte) par les rejets d'effluents atmosphériques du C.N.P.E. sont situées au Nord, au Nord-Ouest, au Nord-Est et au Sud-Ouest de l'installation alors que les zones hors des vents dominants donc non influencées (« ZHV» dans la suite du texte) se situent plutôt au Sud, Sud-Est et à l'Ouest.

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 2019, 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.

Sous les vents

Station	Situation par rapport à la centrale	Coordonnées WGS84		Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Rapport frais/sec	Rapport sec/cendres
		Latitude	Longitude							
Bois de Chailloux	5,7 km NE	47,53722	2,90444	Mousse terrestre	Mousse *Eurhynchium striatum*	Entier	16/05/19	Spectrométrie γ en frais (iode 131)	1,05	-
Neuvy-sur-Loire Station A81	1,2 km NE	47,51380	2,89000	Végétal	Lierre	Feuille	08/04/19	Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	2,78	-
Beaulieu-sur-Loire	5,5 km NO	47,54750	2,82750	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	17/09/19	Spectrométrie γ	12,74	5,84
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	10,77	-
Neuvy-sur-Loire	2,6 km NE	47,52472	2,90167	Sol non cultivé	Sol de pâturage *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	17/05/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	1,20	-
Neuvy-sur-Loire	2,6 km NE	47,52472	2,90167	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de pâturage*	Parties aériennes	16/05/19	Spectrométrie γ	4,13	15,08
Neuvy-sur-Loire	2,6 km NE	47,52472	2,90167	Lait	Lait de vache	Entier	16/05/19	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	7,73	18,46

Tableau 5-1 : Identification des échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019.

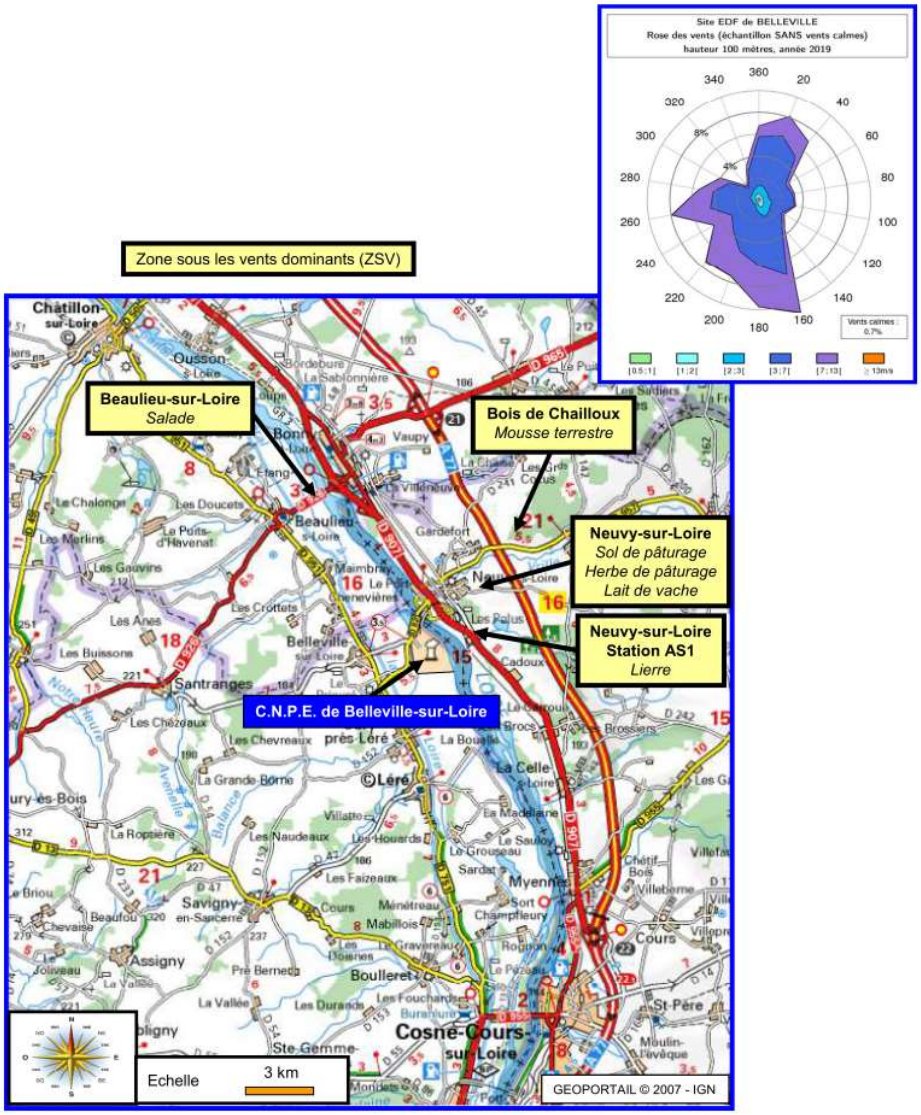


Figure 5-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire.

5.2.2. Résultats et interprétation

5.2.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

5.2.2.1.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

En 2019, 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 1991 et lors de l'état de référence de 1983-1984. Dans l'ensemble des matrices, la radioactivité d'origine tellurique est essentiellement due au ^{40}K et dans une moindre mesure aux chaînes naturelles du ^{232}Th et de l'^{238}U (Tableau 5-9, page 71). Les activités mesurées sont cohérentes avec le bruit de fond naturel observé en France [3].

Dans le lait, le ^{40}K est le seul radionucléide naturel. Les niveaux d'activité détectés sont conformes aux valeurs mesurées les années précédentes (proches de 60 Bq.L^{-1}).

Le ^{7}Be est détecté dans tous les échantillons (végétaux et sol) à l'exception du lait. Naturellement produit en haute atmosphère, le ^{7}Be se dépose 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.

5.2.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

La radioactivité d'origine artificielle est due en 2019 à la présence de ^{137}Cs dans les cinq échantillons analysés dans le milieu terrestre (Tableau 5-10, page 72). Les niveaux d'activité sont cohérents avec les observations des années antérieures et la présence de traces de ^{137}Cs en 2019 est liée principalement à la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Aucun autre radionucléide artificiel n'a été mis en évidence par spectrométrie gamma. En 2019, 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 Belleville-sur-Loire.

Les études menées lors de l'état de référence (1983-1984) mettaient déjà en évidence la présence de ^{137}Cs dans l'ensemble des compartiments échantillonnés due aux retombées des essais nucléaires (Figure 5-3, page 45). En 1987, un état de référence complémentaire révélait une augmentation des activités massiques en ^{137}Cs dans la plupart des échantillons qui s'accompagnait de la détection de ^{134}Cs liées à l'apport des retombées de Tchernobyl. Depuis 1997, les études radioécologiques mettent en évidence la présence de ^{137}Cs dans toutes les matrices du milieu terrestre, à l'exception des eaux, et à des niveaux d'activité comparables quelle que soit la zone de prélèvement (hors et sous les vents dominants). En 2011, la détection de ^{134}Cs et d'^{131}I était cohérente avec leur mise en évidence dans les retombées de l'accident de Fukushima en France métropolitaine [6]. Depuis 2012, ces deux radionucléides ne sont plus détectés.

Pour les autres radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle, des analyses réalisées sur du foin récolté en 1986 avaient mis en évidence la présence de ^{125}Sb, de ^{103}Ru, de ^{106}Ru-Rh, de ^{144}Ce-Pr et d'^{110m}Ag liée aux retombées de l'accident de Tchernobyl. L'^{241}Am détecté sporadiquement en 1993, 1996 et 1998 dans des mousses terrestres provenait des essais aériens nucléaires. A l'occasion du bilan décennal de 1998, de l'^{108m}Ag a été détecté dans des champignons. Depuis 1998, aucun de ces radionucléides artificiels n'a été détecté.

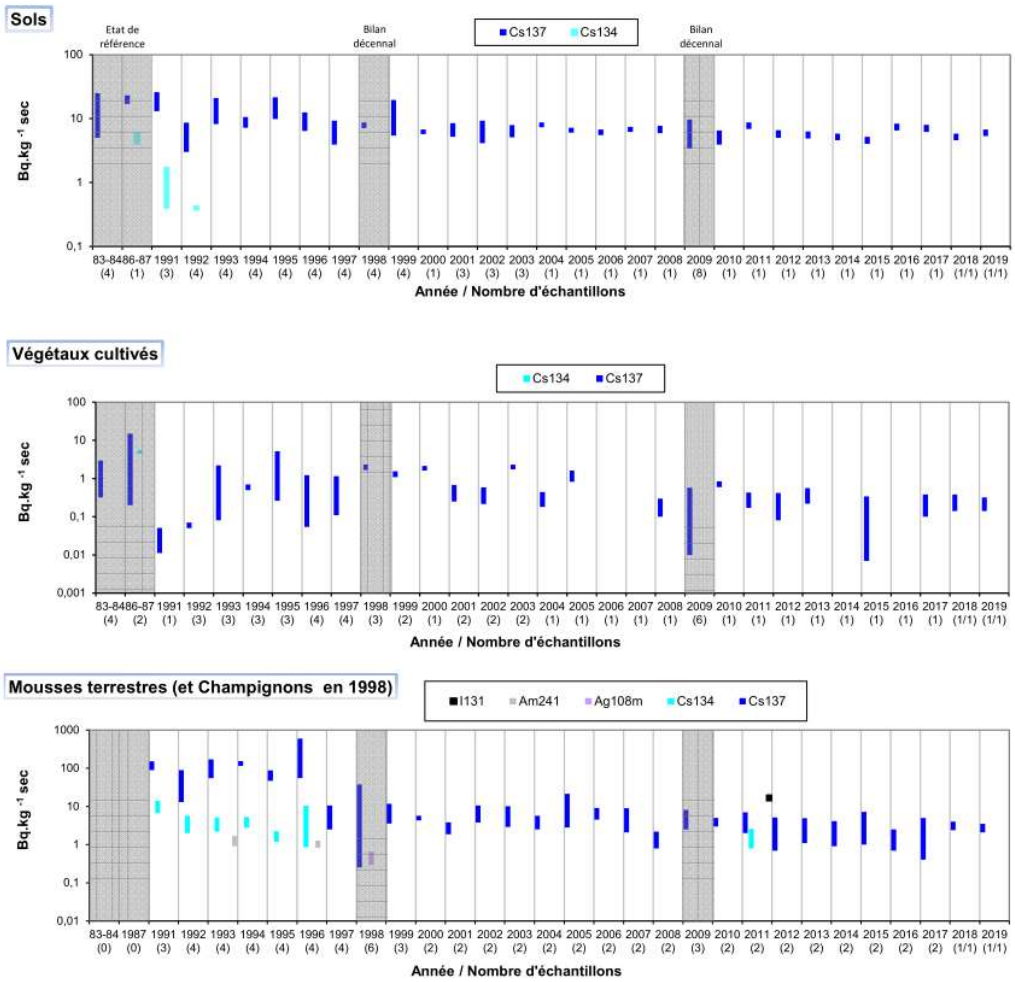


Figure 5-3. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors des études menées depuis l'état de référence de 1983/1984 au suivi radioécologique de 2019.
(*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

5.2.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

5.2.2.2.1. Tritium

En 2019, les activités en ^{3}H libre (HTO) et en ^{3}H organiquement lié (TOL) mesurées sont proches de 1-2 $Bq.L^{-1}$ ou inférieures aux seuils de décision (Tableau 5-12, page 73, et Tableau 5-13, page 73). Elles sont conformes au bruit de fond ambiant hors influence industrielle (<3 $Bq.L^{-1}$) [3,4]. Ces observations ne montrent pas d'influence des rejets atmosphériques du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire sur le milieu terrestre pour ces radionucléides.

Ces résultats sont cohérents avec les mesures de ^{3}H libre et organiquement lié réalisées lors des études antérieures (Figures 5-4 et 5-5).

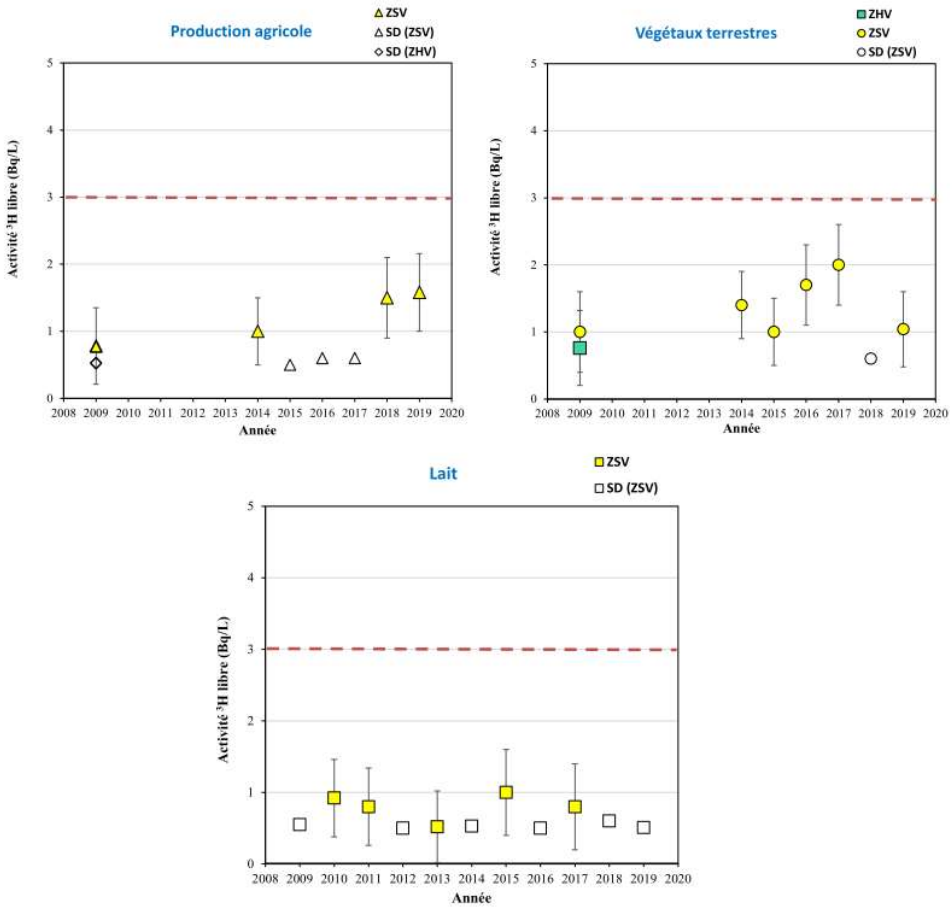


Figure 5-4. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019.
La ligne en pointillés représente la limite du bruit de fond ambiant hors influence industrielle (<3 $Bq.L^{-1}$) [3,4].

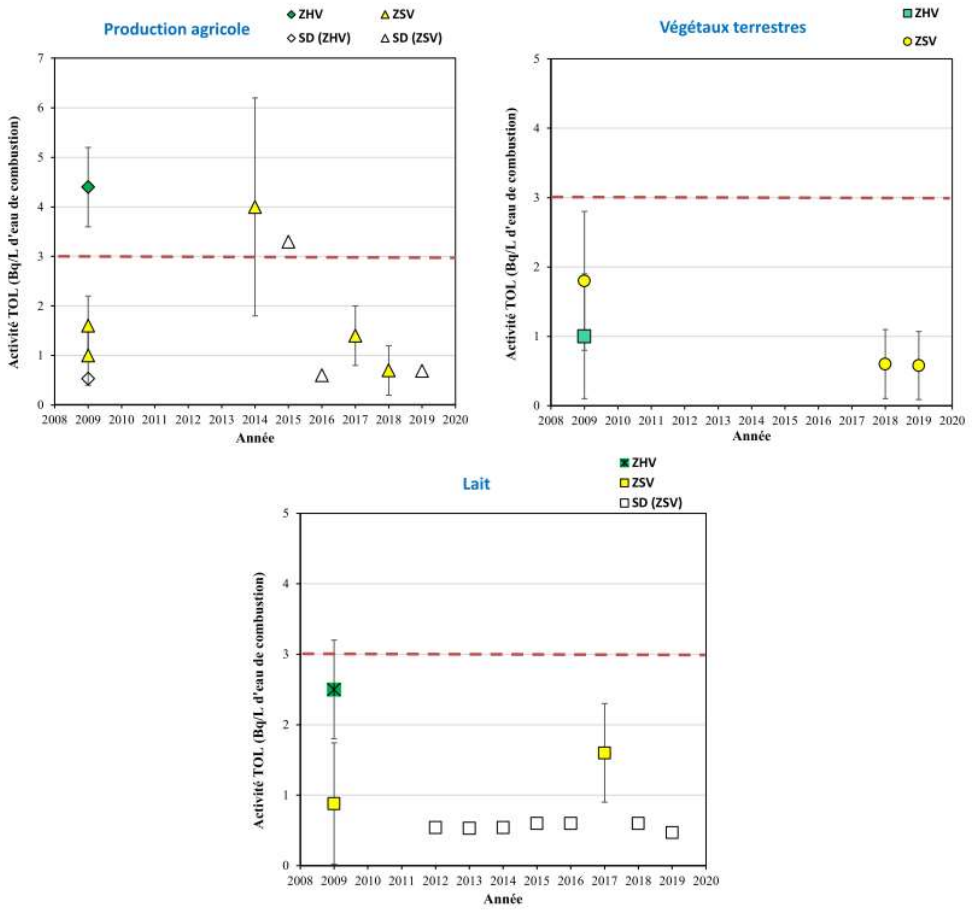


Figure 5-5. Activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019.
La ligne en pointillés représente la limite du bruit de fond ambiant hors influence industrielle (<3 $Bq.L^{-1}$) [3,4].

5.2.2.2.2. Carbone 14

Les résultats d'analyse du ^{14}C dans les échantillons montrent une activité cohérente avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle proche de 227 $Bq.kg^{-1}$ de carbone [3,5] (Tableau 5-14, page 74).

Ces résultats sont cohérents avec les mesures de ^{14}C réalisées lors des études antérieures, à l'exception de la contribution des rejets de l'installation mise en évidence dans les herbes lors du suivi radioécologique annuel de 2012 et dans les salades en 2018. Ce marquage ponctuel est également observé sur certains prélèvements trimestriels de lierre réalisés depuis 2015 à proximité du C.N.P.E.

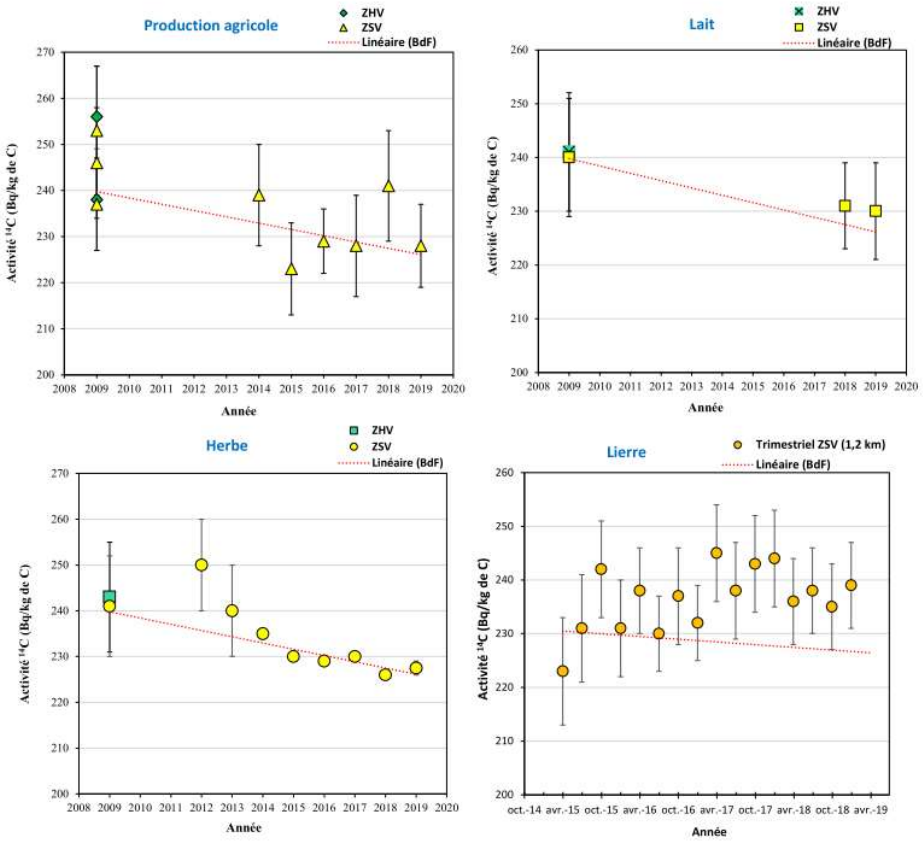


Figure 5-6. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019.
La courbe en pointillés représente l'évolution du bruit de fond hors influence industrielle (BdF). Les valeurs ont été mesurées par le Centre de Datation par le RadioCarbone (CDRC).

5.3. Etat radiologique de l'environnement aquatique

5.3.1. Stratégie d'échantillonnage

Le Tableau 5-2 (page 50) 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 5-7 (page 51) présente les stations de prélèvements et la nature des échantillons prélevés en 2019.

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, de préférence dans la zone de dilution complète. Afin de garantir leur comparaison, les échantillons prélevés en amont et en aval sont, dans la mesure du possible, de même nature. Dans la continuité des études antérieures, les points de prélèvements se situent sur la rive droite de la Loire à l'exception de la station en aval au niveau du pont de Beaulieu-sur-Loire.

Trois prélèvements d'eaux sont réalisés. Dans la continuité des années antérieures, l'eau potable de la commune de Beaulieu-sur-Loire en rive gauche de la Loire a été collectée en mairie. La nappe alluviale qui l'alimente est située dans une zone potentiellement soumise à l'influence des rejets d'effluents du C.N.P.E. Ce forage est situé à 6,5 km en aval du C.N.P.E. à Beaulieu-sur-Loire à 800 mètres du fleuve. Enfin, depuis 2014, un prélèvement d'eau profonde, issue d'un ouvrage de collecte (forage de 30 mètres situé dans le lit majeur de la Loire) situé sur la commune de Bonny-sur-Loire et potentiellement soumise à l'influence des rejets d'effluents du C.N.P.E., a été intégré au suivi radioécologique annuel. En 2019, le plan d'échantillonnage intègre une eau d'irrigation prélevée à l'aval du C.N.P.E. Le prélèvement a été réalisé dans une nappe alluviale sur la commune de Beaulieu-sur-Loire.

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

Tous les échantillons prélevés sont traités et conservés au laboratoire.

Amont | Aval | Axe/Isolain

Station	Situation par rapport à la centrale	Coordonnées WGS84		Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Rapport tritium/sec	Rapport sec/cendres
		Latitude	Longitude							
La Celle-sur-Loire Rive droite	3,0 km amont	47,49028	2,90111	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/09/19	Spectrométrie γ; Granulométrie, TMO	2,08	-
Pont de Beaulieu-sur-Loire Rive gauche	5,3 km aval	47,54889	2,83361	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/09/19	Spectrométrie γ; Granulométrie, TMO	1,47	-
Ousson-sur-Loire Rive droite	10,7 km aval lointain	47,58722	2,78944	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/09/19	Spectrométrie γ; Granulométrie, TMO	1,86	-
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite	13,7 km amont	47,38889	2,90556	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	23/09/19	Spectrométrie γ sec brès (Note 131); Spectrométrie γ; Fer 55	10,26	2,45
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	8,57	-
Ousson-sur-Loire Rive droite	10,7 km aval lointain	47,58722	2,78944	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	23/09/19	Spectrométrie γ sec brès (Note 131); Spectrométrie γ; Nickel 63 Fer 55	9,33	3,76
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	8,00	-
Sury-près-Léré Rives gauche et droite	1 km amont	47,50417	2,86556	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	21/10/19	Spectrométrie γ; Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	4,40	15,89
Les Marréaïds Rives gauche et droite	12 km aval lointain	47,59111	2,78861	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	21/10/19	Spectrométrie γ; Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	3,92	11,69
Beaulieu-sur-Loire	5,7 km aval	47,54361	2,81667	Eau	Eau de boisson	Entier	15/05/19	Tritium libre	-	-
Bonny-sur-Loire Station de pompage	5,1 km aval	47,55083	2,84167	Eau	Eau de boisson	Entier	29/05/19	Tritium libre	-	-
Beaulieu-sur-Loire	4,4 km aval	47,54167	2,83944	Eau	Eau d'irrigation	Entier	17/09/19	Tritium libre	-	-

Tableau 5-2. Identification des échantillons prélevés dans le milieu aquatique de l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019.

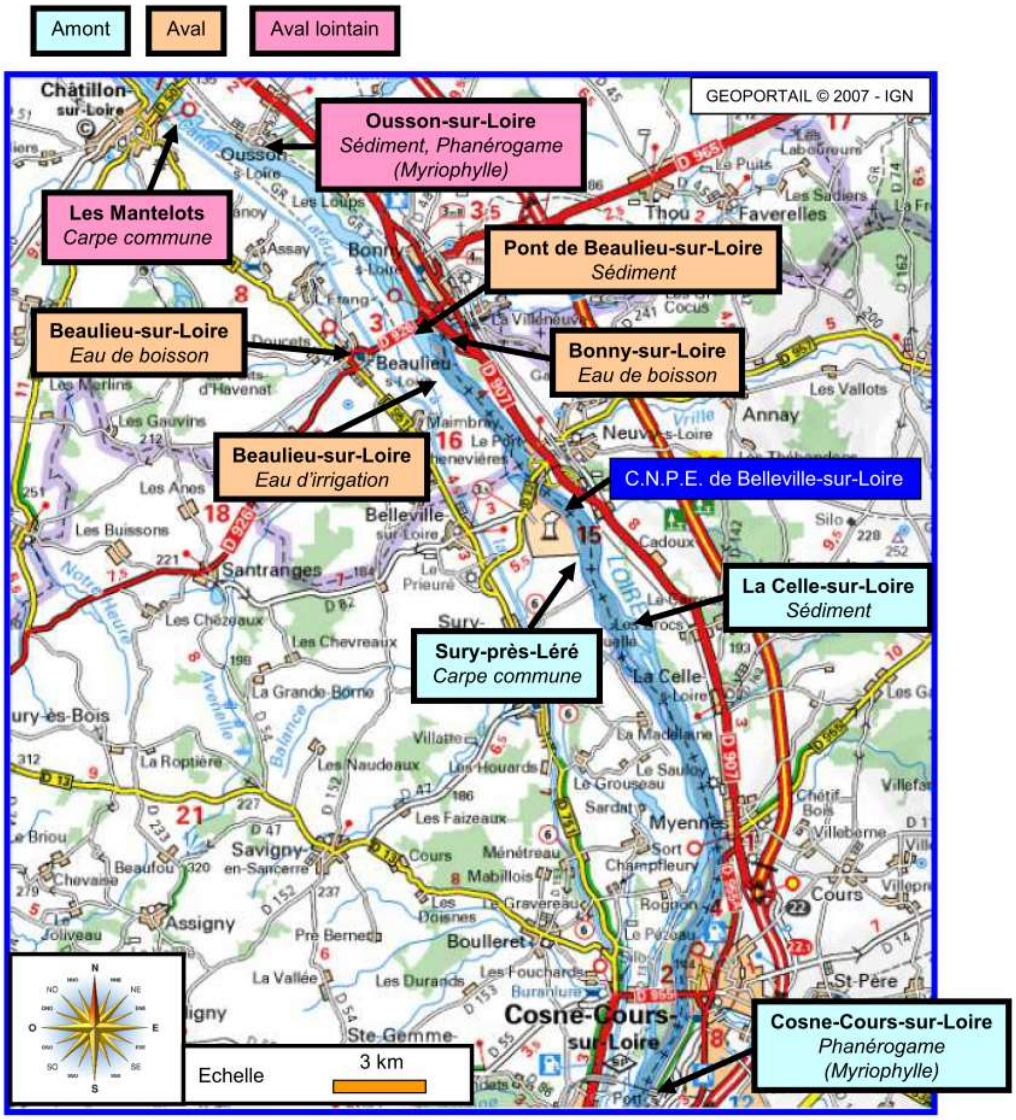


Figure 5-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire.

5.3.2. Résultats et interprétation

5.3.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

5.3.2.1.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

En 2019, le niveau de radioactivité d'origine naturelle observé dans les différents compartiments du milieu aquatique est similaire à celui mesuré lors des études menées depuis 1991 et lors de l'état de référence de 1983-1984. Dans l'ensemble des matrices, la radioactivité naturelle d'origine tellurique est principalement due au ^{40}K et à un degré moindre aux chaînes naturelles du ^{232}Th et de l'^{238}U (Tableau 5-20, page 79). Les activités mesurées sont cohérentes avec le bruit de fond naturel observé en France [3].

Dans l'eau de boisson prélevée à Bonny-sur-Loire et dans les poissons, le ^{40}K est le seul radionucléide naturel détecté. Les activités mesurées dans les poissons sont conformes aux valeurs attendues (environ 100 Bq.kg^{-1} frais), la teneur en potassium étant physiologiquement régulée.

Le ^{7}Be est systématiquement détecté dans les sédiments et les végétaux.

5.3.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

En 2019, la radioactivité d'origine artificielle est due uniquement à la présence de ^{137}Cs (Tableau 5-21, page 80).

Le ^{137}Cs est quantifié systématiquement dans les sédiments, les végétaux aquatiques et les poissons. Les activités détectées à l'amont et à l'aval sont cohérentes aux incertitudes de mesure près. Ces mesures montrent que les activités en ^{137}Cs mesurées en 2019 résultent des essais nucléaires et de l'accident de Tchernobyl.

Depuis 1991, l'évolution des gammes de variations des activités de ^{137}Cs détectées en amont et en aval de l'installation montre que les niveaux d'activité sont comparables d'année en année (Figure 5-7, page 53, à, Figure 5-9 page 55). Suite à l'accident de Tchernobyl, l'état de référence complémentaire mettait en évidence la présence simultanée de ^{137}Cs et de ^{134}Cs dans les sédiments, les phanérogames semi-aquatiques et les poissons. De même, en 2011, la détection de ^{134}Cs à l'amont du C.N.P.E. était liée aux retombées de l'accident de Fukushima. L'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. a cependant été identifiée, en 1991-1992, 1994 et 1998, par des rapports d'activités ^{137}Cs/^{134}Cs, mesurés en aval de l'installation, inférieurs au rapport caractéristique des retombées de l'accident de Tchernobyl.

De 1991 à 2003, les études mettaient également en évidence la détection occasionnelle de ^{60}Co, de ^{58}Co, d'^{110m}Ag et de ^{54}Mn à l'aval de l'installation. Depuis 2004, le marquage du milieu aquatique par les rejets d'effluents liquides du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire est constaté plus sporadiquement en aval de l'installation (sédiments : détection de ^{134}Cs en 2018, de ^{60}Co en 2009, 2014 et 2016, de ^{58}Co en 2014 et 2015 ainsi que d'^{110m}Ag en 2018 ; phanérogames : détection de ^{58}Co en 2012, 2015 et 2016).

En 2019, les activités d'^{131}I mesurées sur les échantillons à l'état frais sont inférieures aux seuils de décision en amont et en aval. Ces observations sont cohérentes avec les résultats des années précédentes. Ce radionucléide a été détecté une seule fois dans l'environnement du C.N.P.E. (amont). Sa présence était probablement liée à des activités de médecine nucléaire ou universitaires conduites en amont de l'installation.

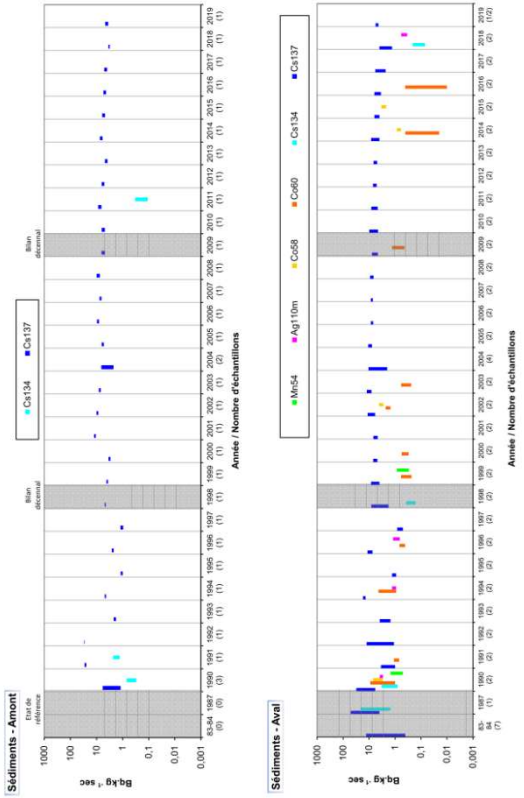


Figure 5-8. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les sédiments prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors des études menées depuis l'état de référence de 1983/1984 au suivi radioécologique de 2019.
(*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

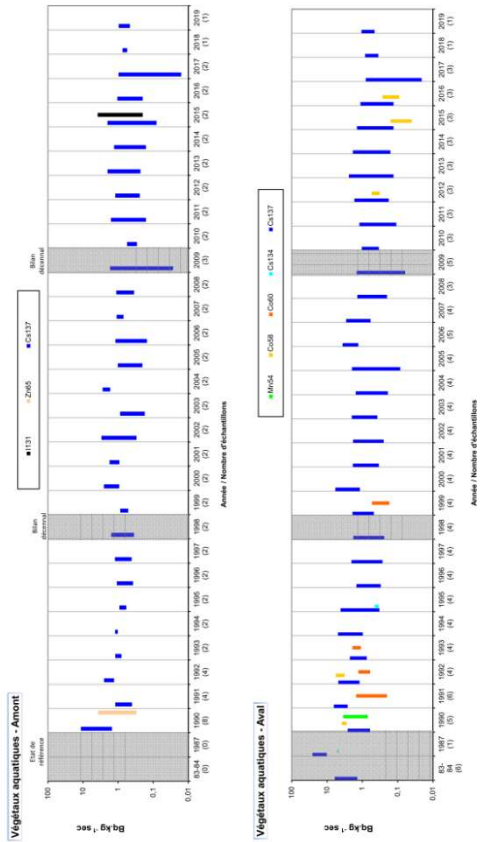


Figure 5-9. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les végétaux aquatiques (toutes fractions confondues) prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors des études menées depuis l'état de référence de 1983/1984 au suivi radioécologique de 2019.
(*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

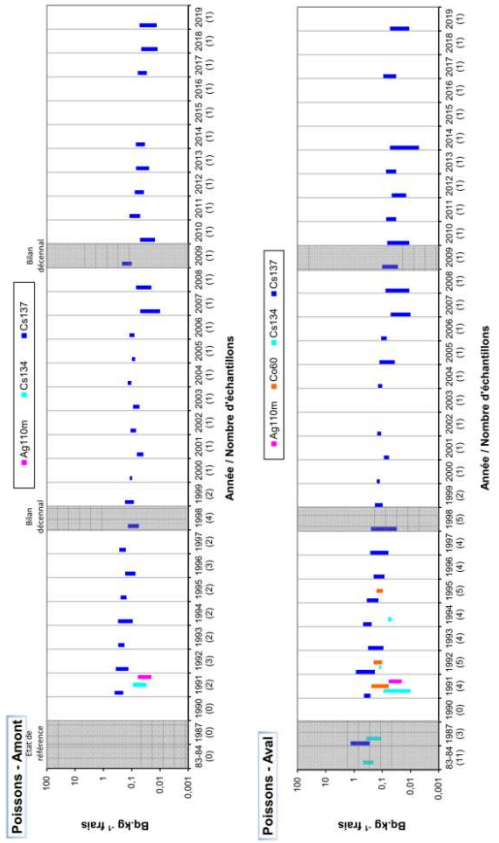


Figure 5-10. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les poissons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors des études menées depuis l'état de référence de 1983/1984 au suivi radioécologique de 2019.
(*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

5.3.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

5.3.2.2.1. Tritium

L'activité volumique du ^{3}H libre est en 2019 inférieure au seuil de décision ou proche de 1-2 $Bq.L^{-1}$ dans tous les échantillons (Tableau 5-23, page 81) à l'exception de l'activité mesurée dans les poissons prélevés à l'aval lointain (24,7±3,7 $Bq.L^{-1}$). Il faut noter que la détection de ^{3}H libre dans les matrices aquatiques dépend fortement de la concomitance des prélèvements et des rejets d'effluents liquides en raison de la dilution et du transfert rapide du ^{3}H libre au sein de ces milieux récepteurs [766]. Depuis 2009, des activités élevées en ^{3}H libre sont ponctuellement détectées à l'aval du C.N.P.E. dans les poissons (2009, 2011 et 2016) et dans les phanérogames immergées (myriophylles en 2009, 2017 et 2018). Le ^{3}H libre a également été détecté dans une eau de Loire prélevée à l'aval de l'installation en 2009 (30±6 $Bq.L^{-1}$) et une eau d'irrigation en 2018 (15±3 $Bq.L^{-1}$). Pour rappel, la valeur-guide dans l'eau potable recommandée par l'OMS est de 10000 $Bq.L^{-1}$. La réglementation européenne relative à l'eau potable appliquée par la France fixe par ailleurs une référence de qualité de 100 $Bq.L^{-1}$, au-delà de laquelle des investigations complémentaires doivent être menées pour rechercher la présence de radionucléides artificiels.

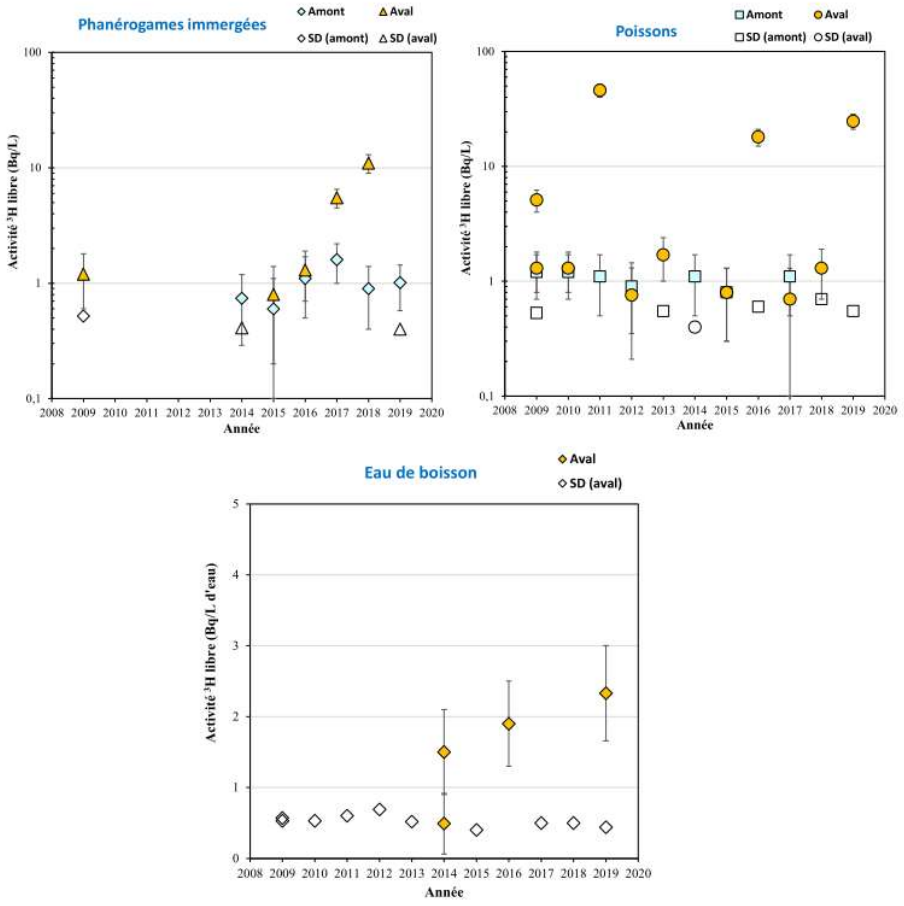


Figure 5-11. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019.

Les activités en ^{3}H organiquement lié mesurées en 2019 dans les phanérogames immergées (amont et aval) et les poissons pêchés à l'amont sont cohérentes avec celles attendues en dehors de tout apport industriel local [7]. En revanche, l'activité mesurée dans les poissons prélevés en aval (11,7±2,2 $Bq.L^{-1}$ d'eau de combustion) met en évidence le marquage en TOL lié aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire (Tableau 5-24, page 82).

De tels résultats sont retrouvés à plusieurs reprises sur les dix dernières années.

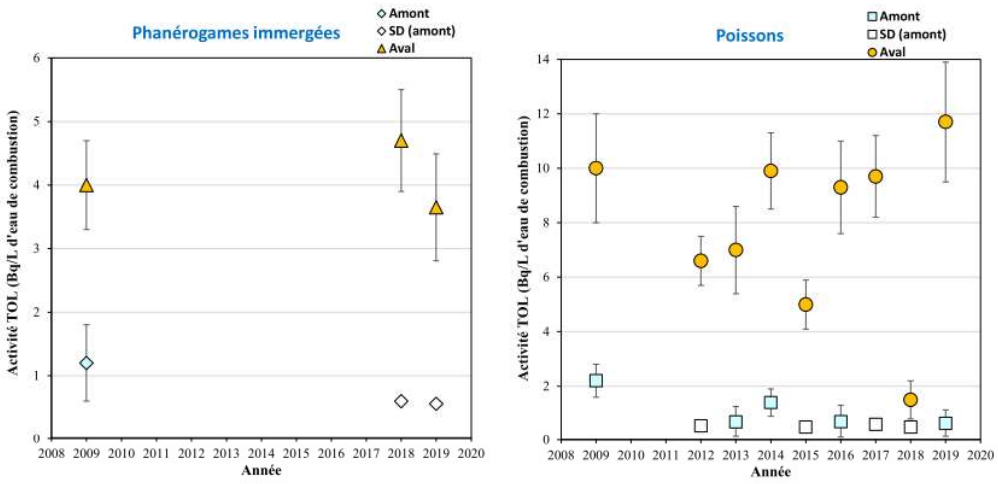


Figure 5-12. Activités en tritium organiquement lié dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019.

5.3.2.2.2. Carbone 14

Les analyses de ^{14}C mesurées en 2019 dans les phanérogames immergées (amont et aval) et les poissons pêchés à l'amont sont cohérentes avec celles attendues en dehors de tout apport industriel local (comprises entre 200-220 $Bq.kg^{-1}$ de C [3]). En revanche, l'activité mesurée dans les poissons prélevés à l'aval lointain (419±12 $Bq.kg^{-1}$ de C) met en évidence le marquage en ^{14}C lié aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire (Tableau 5-25, page 82).

Les résultats antérieurs mettent régulièrement en évidence le marquage en ^{14}C lié aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire (Figure 5-12).

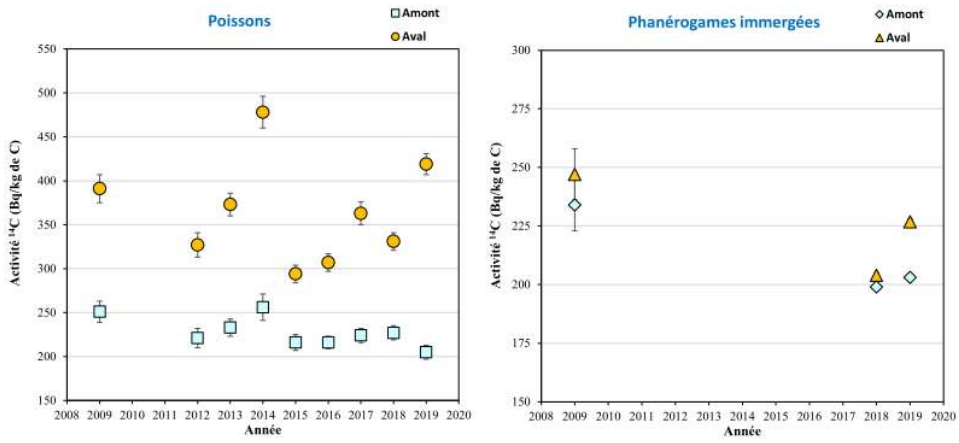


Figure 5-13. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les poissons du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019.

5.3.2.2.3. Nickel 63 et fer 55

En 2019, les analyses de ^{63}Ni et de ^{55}Fe montrent des activités dans les phanérogames immergées (myriophylles) inférieures aux seuils de décision (Tableau 5-26, page 83, et Tableau 5-27, page 83).

5.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire

Le suivi radioécologique établi en 2019 montre que le niveau de radioactivité naturelle demeure similaire à celui constaté avant la mise en fonctionnement de l'installation de Belleville-sur-Loire.

Dans **le milieu terrestre**, la radioactivité gamma d'origine artificielle est liée en 2019 uniquement à la présence du ^{137}Cs. Il provient principalement de la rémanence des retombées des anciens essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Les analyses de ^{14}C dans les échantillons prélevés dans des zones sous les vents dominants (herbe de pâturage, lait, salade) montrent des activités cohérentes avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle. Les activités en ^{3}H (libre et organiquement lié) correspondent aux observations des années précédentes et elles ne montrent pas d'influence des rejets d'effluents atmosphériques en tritium du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire sur le milieu terrestre.

En 2019, la radioactivité d'origine artificielle dans **le milieu aquatique** est caractérisée par la présence de ^{137}Cs dans tous les échantillons (sédiments, végétaux et poissons) à des niveaux d'activité équivalents pour une matrice donnée à l'amont et à l'aval du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire. Le ^{137}Cs provient principalement de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Les analyses de ^{3}H (HTO et TOL) et de ^{14}C montrent des activités conformes au niveau attendu en dehors de tout apport industriel local à l'exception des activités mesurées à l'aval dans les poissons. Ces activités montrent le marquage du milieu aquatique lié aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire pour ces radionucléides.

LISTE DES FIGURES

Figure 5-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire. 40

Figure 5-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire. 43

Figure 5-3. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors des études menées depuis l'état de référence de 1983/1984 au suivi radioécologique de 2019. 45

Figure 5-4. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019....46

Figure 5-5. Activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019....47

Figure 5-6. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019....48

Figure 5-6. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire. 51

Figure 5-7. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les sédiments prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors des études menées depuis l'état de référence de 1983/1984 au suivi radioécologique de 2019. 53

Figure 5-8. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les végétaux aquatiques (toutes fractions confondues) prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors des études menées depuis l'état de référence de 1983/1984 au suivi radioécologique de 2019. 54

Figure 5-9. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les poissons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors des études menées depuis l'état de référence de 1983/1984 au suivi radioécologique de 2019. 55

Figure 5-10. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019. 56

Figure 5-11. Activités en tritium organiquement lié dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019....57

Figure 5-12. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les poissons du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019. 58

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 5-1. Identification des échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019. 42

Tableau 5-2. Identification des échantillons prélevés dans le milieu aquatique de l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019. 50

Tableau 5-3. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ dans les sols prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019 (Bq.kg^{-1} sec). 65

Tableau 5-4. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les salades prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1}). 66

Tableau 5-5. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les herbes prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1}). 67

Tableau 5-6. Activités du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les échantillons trimestriels (lierre) prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2015 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1}). 68

Tableau 5-7. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ dans les mousses prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019 (Bq.kg^{-1} sec). 69

Tableau 5-8. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les laits prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019 (Bq.L^{-1}). 70

Tableau 5-9. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019. 71

Tableau 5-10. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019. 72

Tableau 5-11. Teneur en iode stable des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019. 73

Tableau 5-12. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019. 73

Tableau 5-13. Activités du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019. 73

Tableau 5-14. Activités du 14C dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019. 74

Tableau 5-15. Granulométrie et teneur en matières organiques de l'échantillon de sol prélevé dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019. 74

Tableau 5-16. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{3}H libre et du ^{14}C dans les eaux prélevées dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{3}H : Bq.L^{-1} ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de C). 75

Tableau 5-17. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ, du ^{14}C et du ^{3}H organiquement lié dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ sec ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone). 76

Tableau 5-18. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les végétaux aquatiques (phanérogames ; entier et parties aériennes) prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019 77

Tableau 5-19. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ frais ; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$). 78

Tableau 5-20. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019. 79

Tableau 5-21. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019. 80

Tableau 5-22. Teneurs en iode stable dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019. 81

Tableau 5-23. Activités du tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019. 81

Tableau 5-24. Activités du tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019. 82

Tableau 5-25. Activités du ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019. 82

Tableau 5-26. Activités du ^{63}Ni dans les végétaux prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019. 83

Tableau 5-27. Activités du ^{55}Fe dans les végétaux prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019. 83

Tableau 5-28. Granulométrie et teneur en matières organiques des échantillons de sédiments prélevés de l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019. 84

Tableau 5-3. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ dans les sols prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019 (Bq.kg^{-1} sec).

Année de prélèvement	oct. 2009	juin 2010	mai 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	mai 2018	mai 2019
Distance par rapport au site	2,2 à 9,9 km	2,2 km	2,2 km	2,2 km	2,2 km	2,2 km	2,2 km	2,6 km	2,6 km	2,6 km	2,6 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	4,0-8,7 (8/8)	5,2 (1/1)	7,8 (1/1)	5,8 (1/1)	5,6 (1/1)	5,2 (1/1)	4,6 (1/1)	7,4 (1/1)	7,1 (1/1)	5,2 (1/1)	5,95 (1/1)
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 5-4. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les salades prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	oct. 2009	juin 2010	juil. 2011	sept. 2012	juil. 2013	juil. 2014	juin 2015	juil. 2016	sept. 2017	juin 2018	oct. 2019
Distance par rapport au site	5,5 et 5,6 km	5,5 km	5,5 km	5,5 km	5,5 km	5,5 km	5,5 km	5,5 km	5,5 km	5,5 km	5,5 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,39 (1/2)	0,72 (1/1)	0,30 (1/1)	0,25 (1/1)	0,39 (1/1)	-	0,25 (1/1)	-	0,24 (1/1)	0,26 (1/1)	0,23 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β											
^{14}C	237 (1/1)	-	-	-	-	239 (1/1)	223 (1/1)	229 (1/1)	228 (1/1)	241 (1/1)	227,5 (1/1)
^{3}H libre	n.a.	-	-	-	-	1,0 (1/1)	-	-	-	1,5 (1/1)	1,58 (1/1)
^{3}H organiquement lié	n.a.		-	-	-	4,0 (1/1)	-	-	1,4 (1/1)	0,7 (1/1)	-

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 5-5. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les herbes prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	sept. 2009	juin 2010	mai 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	juin 2018	mai 2019
Distance par rapport au site	2,2 et 9,9 km	2,2 km	2,2 km	2,2 km	2,2 km	2,2 km	2,2 km	2,6 km	2,6 km	2,6 km	2,6 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	0,22 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,092 (1/2)	-	0,36 (1/1)	-	0,12 (1/1)	-	0,049 (1/1)	0,13 (1/1)	0,19 (1/1)	0,29 (1/1)	0,244 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β											
^{14}C	241-243 (2/2)	-	-	250 (1/1)	240 (1/1)	235 (1/1)	230 (1/1)	229 (1/1)	230 (1/1)	226 (1/1)	228,0 (1/1)
^{3}H libre	0,76-1,0 (2/2)	-	-	-	-	1,4 (1/1)	1,0 (1/1)	1,7 (1/1)	2,0 (1/1)	-	-
^{3}H organiquement lié	1,0-1,8 (2/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6 (1/1)	-

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 5-6. Activités du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les échantillons trimestriels (lierre) prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2015 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

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	avril 2018	juil. 2018	oct. 2018	janv. 2019
Distance par rapport au site	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km
Emetteurs β																
^{14}C	223 (1/1)	231 (1/1)	242 (1/1)	231 (1/1)	238 (1/1)	230 (1/1)	237 (1/1)	232 (1/1)	245 (1/1)	238 (1/1)	243 (1/1)	244 (1/1)	236 (1/1)	238 (1/1)	235 (1/1)	239 (1/1)
^{3}H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.
^{3}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. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 5-7. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ dans les mousses prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019 (Bq.kg^{-1} sec).

Année de prélèvement	avril 2009	avril 2010	avril 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	mai 2018	mai 2019
Distance par rapport au site	5,7 à 9,4 km	5,7 et 9,4 km	5,7 et 9,4 km	5,7 et 9,4 km	5,7 et 9,4 km	5,7 et 9,4 km	5,7 et 9,4 km	5,7 et 9,4 km	5,7 et 9,4 km	5,7 km	5,7 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	1,7 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	3,9-6,6 (2/3)	4,0 (1/2)	3,7-5,1 (2/2)	1,6-3,9 (2/2)	1,9-4,0 (2/2)	1,5-3,3 (2/2)	1,7-6,2 (2/2)	1,1-2,1 (2/2)	1,1-3,9 (2/2)	3,2 (1/1)	2,82 (1/1)
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{108m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{241}Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{131}I	-	-	17 (2/2)	-	-	-	-	-	-	-	-

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 5-8. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les laits prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019 (Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	oct. 2009	juin 2010	mai 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	mai 2018	mai 2019
Distance par rapport au site	2,2 et 9,9 km	2,2 km	2,2 km	2,2 km	2,2 km	2,2 km	2,2 km	2,6 km	2,6 km	2,6 km	2,6 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,014 (1/2)	0,015 (1/1)	0,016 (1/1)	-	0,0075 (1/1)	-	0,011 (1/1)	0,0017 (1/1)	0,0084 (1/1)	0,027 (1/1)	0,0149 (1/1)
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β											
^{14}C	240-241 (2/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	231 (1/1)	230,0 (1/1)
^{3}H libre	-	0,92 (1/1)	0,80 (1/1)	-	0,52 (1/1)	-	1,0 (1/2)	1,6 (1/2)	0,8 (2/2)	-	-
^{3}H organiquement lié	0,88-2,5 (2/2)	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	1,6 (1/1)	-	-

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 5-9. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs γ d'origine naturelle — Activité Bq.kg $^{-1}$ sec (sols, végétaux), Bq.L $^{-1}$ (lait)					
							^{40}K	Famille de ^{232}Th — ^{228}Ac	Famille de ^{238}U — ^{234}Th	Famille de ^{238}U — ^{234m}Pa	Famille de ^{238}U — ^{210}Pb	^{7}Be
Bois de Chailloux	Mousse terrestre	Mousse *Eurhynchium striatum*	Entier	16/05/19	17/05/19	Frais	110 ± 19	< 1,9	< 6,3	n.a.	215 ± 33	535 ± 61
Beaulieu-sur-Loire	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuille	17/09/19	04/10/19	Cendres	1121 ± 160	5,98 ± 0,88	5,6 ± 1,5	n.a.	7,8 ± 4,1	34,4 ± 4,0
Neuvy-sur-Loire	Sol non cultivé	Sol de pâturage *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	16/05/19	27/05/19	Sec	478 ± 69	32,1 ± 3,3	n.a.	26 ± 16	n.a.	1,8 ± 1,3
Neuvy-sur-Loire	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de pâturage	Partie aérienne	16/05/19	27/05/19	Cendres	282 ± 40	0,606 ± 0,083	< 0,36	n.a.	8,5 ± 1,4	108 ± 12
Neuvy-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	16/05/19	07/06/19	Cendres	62,9 ± 9,0	< 0,018	< 0,047	n.a.	< 0,081	< 0,039

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

Suivi radioécologique de l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Loire - Année 2019
C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire
Rapport SUBATECH/SUBE/RC/Y-L

Tableau 5-10. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs γ d'origine artificielle — Activité Bq.kg $^{-1}$ sec (sols, végétaux), Bq.L $^{-1}$ (lait)						
							^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{131}I
Bois de Chailloux	Mousse terrestre	Mousse *Eurhynchium striatum*	Entier	16/05/19	17/05/19	Frais	< 0,56	**2,82 ± 0,65**	< 0,43	< 0,46	< 0,55	< 0,45	< 0,55
Beaulieu-sur-Loire	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuille	17/09/19	04/10/19	Cendres	< 0,078	**0,230 ± 0,089**	< 0,091	< 0,097	< 0,093	< 0,081	n.a.
Neuvy-sur-Loire	Sol non cultivé	Sol de pâturage *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	16/05/19	27/05/19	Sec	< 0,13	**5,95 ± 0,69**	< 0,13	< 0,13	< 0,17	< 0,15	n.a.
Neuvy-sur-Loire	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de pâturage	Partie aérienne	16/05/19	27/05/19	Cendres	< 0,029	**0,244 ± 0,033**	< 0,030	< 0,033	< 0,036	< 0,028	n.a.
Neuvy-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	16/05/19	07/06/19	Cendres	< 0,0043	**0,0149 ± 0,0048**	< 0,0054	< 0,0057	< 0,0054	< 0,0046	n.a.

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

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{127}I mg.kg $^{-1}$ frais
Bois de Chailloux	Mousse terrestre	Mousse *Eurhynchium striatum*	Entier	16/05/19	22/10/19	Lyophilisée	< 48

Tableau 5-11. Teneur en iode stable des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{3}H libre Bq.L $^{-1}$	^{3}H libre Bq.kg $^{-1}$ frais (végétaux) Bq.L $^{-1}$ de lait
Beaulieu-sur-Loire	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuille	17/09/19	30/10/19	Eau de lyophilisation	1,58 ± 0,58	1,43 ± 0,53
Neuvy-sur-Loire Station AS1	Végétal	Lierre	Feuille	08/07/19	14/10/19	Eau de lyophilisation	1,04 ± 0,56	0,67 ± 0,36
Neuvy-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	16/05/19	13/07/19	Eau de lyophilisation	< 0,51	< 0,43

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

Tableau 5-12. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{3}H organiquement lié Bq.L $^{-1}$ d'eau de combustion	^{3}H organiquement lié Bq.kg $^{-1}$ frais (végétaux) Bq.L $^{-1}$ de lait	^{3}H organiquement lié Bq.kg $^{-1}$ MO
Beaulieu-sur-Loire	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuille	17/09/19	17/10/19	Lyophilisé	< 0,69	< 0,034	< 0,42
Neuvy-sur-Loire Station AS1	Végétal	Lierre	Feuille	08/07/19	27/08/19	Lyophilisé	0,58 ± 0,49	0,12 ± 0,11	0,36 ± 0,31
Neuvy-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	16/05/19	05/06/19	Lyophilisé	< 0,47	< 0,043	< 0,36

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

Tableau 5-13. Activités du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{14}C		C tot	$^{13}C/^{12}C$	PMC
							Bq.kg^{-1} de C	Bq.kg^{-1} frais (végétaux) Bq.L^{-1} de lait	g.kg^{-1} frais (végétaux) g.L^{-1} de lait	‰	%
Beaulieu-sur-Loire	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuille	17/09/19	09/11/19	Lyophilisé	228,0 ± 9,0	8,64 ± 0,34	38	-27,73	101
Neuvy-sur-Loire	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de pâturage	Partie aérienne	16/05/19	25/03/20	Lyophilisé	227,5 ± 1,5	25,08 ± 0,17	110	-28,58	101
Neuvy-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	16/05/19	05/10/19	Lyophilisé	230,0 ± 9,0	15,78 ± 0,62	69	-22,97	101

Tableau 5-14. Activités du ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019.

Sous les vents

Station	Nature	Date de prélèvement	Analyses	%
Neuvy-sur-Loire	Sol de pâturage *Horizon 0 - 5 cm*	16/05/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	15,70
			Limons fins	18,30
			Limons grossiers	9,70
			Sables fins	10,00
			Sables grossiers	46,40
			Teneur en matières organiques	4,99

Tableau 5-15. Granulométrie et teneur en matières organiques de l'échantillon de sol prélevé dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019.

Tableau 5-16. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{3}H libre et du ^{14}C dans les eaux prélevées dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{3}H : Bq.L^{-1} ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de C).

Année de prélèvement	avril/oct. 2009	avril 2010	avril 2011	avril 2012	avril 2013	avril/déc. 2014	avril/nov. 2015	avril 2016	avril/déc. 2017	mai/oct. 2018	mai/sept. 2019
Distance par rapport au site	1 à 12 km	5,7 km	5,7 km	5,7 km	5,7 km	5,1 et 5,7 km	5,1 et 5,7 km	5,1 et 5,7 km	5,1 et 5,7 km	4,4 à 5,7 km	4,4 à 5,7 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
^{137}Cs	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
^{57}Co	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
^{58}Co	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
^{60}Co	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
^{110m}Ag	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
^{54}Mn	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
Emetteurs β											
^{14}C	206-232 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}H libre	30 (1/5)	-	-	-	-	0,49-1,5 (2/2)	-	1,9 (2/2)	-	15 (1/3)	2,33 (1/3)

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 5-17. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ, du ^{14}C et du ^{3}H organiquement lié dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{3}H : Bq.L^{-1} ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone).

Année de prélèvement	juin 2009		juin 2010		juillet 2011		juillet 2012		juillet 2013		sept. 2014		sept. 2015		oct. 2016		sept. 2017		oct. 2018		sept. 2019	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																						
^{134}Cs	-	-	-	-	0,22 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14 (1/2)	-	-
^{137}Cs	5,6 (1/1)	5,3-6,8 (2/2)	5,6 (1/1)	5,4-8,8 (2/2)	7,6 (1/1)	5,4-6,3 (2/2)	5,7 (1/1)	5,8-6,3 (2/2)	4,3 (1/1)	5,6-6,0 (2/2)	6,7 (1/1)	4,5-7,5 (2/2)	5,4 (1/1)	4,8-5,5 (2/2)	4,9 (1/1)	4,1-5,5 (2/2)	4,5 (1/1)	2,7-5,1 (2/2)	3,3 (1/1)	1,5-3,6 (2/2)	4,07 (1/1)	5,03-5,21 (2/2)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,72 (1/2)	-	2,8 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	0,87 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21 (1/2)	-	-	-	0,21 (1/2)	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,46 (1/2)	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β																						
^{14}C	208 (1/1)	330 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}H organiquement lié	0,14 (1/1)	0,24-0,52 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 5-18. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les végétaux aquatiques (phanérogames ; entier et parties aériennes) prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ sec ; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$).

Année de prélèvement	juin/sept. 2009		juin 2010		juil./sept. 2011		juil./sept. 2012		juil./sept. 2013		juil./sept. 2014		juin/oct. 2015		sept./oct. 2016		sept./déc. 2017		oct. 2018		sept. 2019	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																						
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,062-1,5 (3/3)	0,098-1,2 (5/5)	0,35-0,50 (2/2)	0,38-0,62 (3/3)	0,20-1,3 (2/2)	0,15-1,0 (3/3)	0,28-1,1 (2/2)	0,21-1,3 (3/3)	0,17-1,8 (2/2)	0,17-2,1 (2/3)	0,23-1,2 (2/2)	0,20-1,5 (2/3)	0,11-1,8 (2/2)	0,19-1,2 (3/3)	0,24-0,89 (2/2)	0,16-0,84 (3/3)	0,045-0,86 (2/2)	0,041-0,69 (3/3)	0,65 (1/1)	0,42 (1/1)	0,71 (1/1)	0,53 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	0,43 (1/3)	-	-	-	-	-	0,10 (1/3)	-	0,18 (1/3)	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{131}I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β																						
^{14}C	234 (1/1)	247 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	199 (1/1)	204 (1/1)	203,0 (1/1)	226,8 (1/1)
^{3}H libre	1,2 (1/1)	4,0 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,6 (1/1)	0,8 (1/1)	1,1 (1/1)	1,3 (1/1)	1,6 (1/1)	5,5 (1/1)	0,9 (1/1)	11 (1/1)	1,01 (1/1)	-
^{3}H organiquement lié	2,2 (1/1)	10 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	4,7 (1/1)	-	3,65 (1/1)

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 5-19. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ frais ; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$).

Année de prélèvement	août 2009		juin 2010		oct. 2011		juin 2012		sept. 2013		sept. 2014		sept. 2015		oct. 2016		sept. 2017		sept. 2018		oct. 2019	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																						
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,16 (1/1)	0,064 (1/1)	0,033 (1/1)	0,039 (1/1)	0,087 (1/1)	0,052 (1/1)	0,057 (1/1)	0,030 (1/1)	0,047 (1/1)	0,053 (1/1)	0,053 (1/1)	0,029 (1/1)	-	-	-	-	0,045 (1/1)	0,062 (1/1)	0,029 (1/1)	-	0,033 (1/1)	0,032 (1/1)
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β																						
^{14}C	251 (1/1)	391 (1/1)	-	-	-	-	221 (1/1)	327 (1/1)	233 (1/1)	373 (1/1)	256 (1/1)	478 (1/1)	216 (1/1)	294 (1/1)	216 (1/1)	307 (1/1)	224 (1/1)	363 (1/1)	227 (1/1)	331 (1/1)	205,0 (1/1)	419 (1/1)
^{3}H libre	-	5,1 (1/1)	1,2 (1/1)	1,3 (1/1)	1,1 (1/1)	46 (1//1)	0,90 (1/1)	0,76 (1/1)	-	1,7 (1/1)	1,1 (1/1)	-	0,8 (1/1)	0,8 (1/1)	-	18 (1/1)	1,1 (1/1)	0,7 (1/1)	-	1,3 (1/1)	-	24,7 (1/1)
^{3}H organiquement lié	2,2 (1/1)	10 (1/1)	-	-	-	-	-	6,6 (1/1)	0,69 (1/1)	7,0 (1/1)	1,4 (1/1)	9,9 (1/1)	-	5,0 (1/1)	0,7 (1/1)	9,3 (1/1)	-	9,7 (1/1)	-	1,5 (1/1)	0,63 (1/1)	11,7 (1/1)

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 5-20. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

							Emetteurs γ d'origine naturelle					
							Activité Bq.kg $^{-1}$ sec (sédiments, végétaux), Bq.kg $^{-1}$ frais (poissons), Bq.L $^{-1}$ (eau)					
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{40}K	Famille de ^{232}Th	Famille de ^{238}U			^{7}Be
								^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
La Celle-sur-Loire Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/09/19	22/01/20	Sec	658 ± 94	76,1 ± 9,9	n.a.	79 ± 24	n.a.	35,1 ± 5,3
Pont de Beaulieu-sur-Loire Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/09/19	22/01/20	Sec	668 ± 96	92 ± 12	n.a.	123 ± 31	n.a.	13,7 ± 9,8
Ousson-sur-Loire Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/09/19	09/10/20	Sec	690 ± 99	90 ± 12	n.a.	60 ± 25	n.a.	< 24
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle Myriophyllum spicatum	Partie aérienne	23/09/19	23/09/19	Cendres	523 ± 85	51,1 ± 6,6	25,3 ± 4,8	n.a.	59,3 ± 9,4	70,6 ± 8,1
Ousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle Myriophyllum spicatum	Partie aérienne	23/09/19	10/10/19	Cendres	422 ± 60	23,3 ± 3,0	13,8 ± 2,6	n.a.	25,9 ± 4,2	44,6 ± 5,1
Sury-près-Léré Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	21/10/19	13/12/19	Cendres	106 ± 15	< 0,067	< 0,14	n.a.	< 0,20	< 0,21
Les Mantelots Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	21/10/19	10/12/19	Cendres	110 ± 16	< 0,078	< 0,17	n.a.	< 0,25	< 0,26
Bonny-sur-Loire Rive droite Station de pompage	Eau	Eau de boisson	Entier	29/05/19	05/07/19	Liquide	0,079 ± 0,030	< 0,0053	< 0,019	n.a.	< 0,026	< 0,018

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

Tableau 5-21. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

							Emetteurs γ d'origine artificielle						
							Activité Bq.kg $^{-1}$ sec (sédiments, végétaux), Bq.kg $^{-1}$ frais (poissons), Bq.L $^{-1}$ (eau)						
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{131}I
La Celle-sur-Loire Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/09/19	22/01/20	Sec	< 0,21	**4,07 ± 0,48**	< 0,52	< 0,18	< 0,32	< 0,29	n.a.
Pont de Beaulieu-sur-Loire Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/09/19	22/01/20	Sec	< 0,27	**5,03 ± 0,59**	< 0,67	< 0,24	< 0,38	< 0,36	n.a.
Ousson-sur-Loire Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/09/19	09/10/20	Sec	< 0,29	**5,21 ± 0,61**	< 7,2	< 0,23	< 0,68	< 0,64	n.a.
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle Myriophyllum spicatum	Partie aérienne	23/09/19	04/10/19	Cendres	< 0,12	**0,71 ± 0,25**	< 0,11	< 0,13	< 0,15	< 0,13	n.a.
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle Myriophyllum spicatum	Partie aérienne	23/09/19	23/09/19	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 1,9
Ousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle Myriophyllum spicatum	Partie aérienne	23/09/19	10/10/19	Cendres	< 0,065	**0,530 ± 0,077**	< 0,074	< 0,070	< 0,068	< 0,082	n.a.
Ousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle Myriophyllum spicatum	Partie aérienne	23/09/19	10/10/19	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 1,7
Sury-près-Léré Rives gauche et droite	Poissons	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	21/10/19	13/12/19	Cendres	< 0,019	**0,033 ± 0,020**	< 0,026	< 0,021	< 0,023	< 0,018	n.a.
Les Mantelots Rives gauche et droite	Poissons	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	21/10/19	10/12/19	Cendres	< 0,023	**0,032 ± 0,021**	< 0,030	< 0,026	< 0,029	< 0,022	n.a.
Bonny-sur-Loire Rive droite Station de pompage	Eau	Eau de boisson	Entier	29/05/19	05/07/19	Liquide	< 0,0017	< 0,0015	< 0,0019	< 0,0015	< 0,0019	< 0,0015	n.a.

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

Amont	Aval lointain

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{127}I mg.kg^{-1} frais
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle Myriophyllum spicatum	Partie aérienne	23/09/19	11/06/20	Lyophilisée	< 5,8
Ousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle Myriophyllum spicatum	Partie aérienne	23/09/19	11/06/20	Lyophilisée	< 6,3

Tableau 5-22. Teneurs en iode stable dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{3}H libre Bq.L^{-1}	^{3}H libre Bq.kg^{-1} frais
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	23/09/19	07/02/20	Eau de lyophilisation	1,01 ± 0,43	0,89 ± 0,38
Ousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	23/09/19	17/02/20	Eau de lyophilisation	< 0,40	< 0,35
Sury-près-Léré Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	21/10/19	01/12/19	Eau de lyophilisation	< 0,55	< 0,42
Les Mantelots Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	21/10/19	03/12/19	Eau de lyophilisation	24,7 ± 3,7	18,4 ± 2,8
Beaulieu-sur-Loire Rive gauche	Eau	Eau de boisson	Entier	17/09/19	06/08/19	-	< 0,44	-
Bonny-sur-Loire Station de pompage Rive droite	Eau	Eau de boisson	Filtrée à 0,22µm	29/05/19	07/08/19	-	< 0,44	-
Beaulieu-sur-Loire Rive gauche	Eau	Eau d'irrigation	Filtrée à 0,22µm	17/09/19	28/10/19	-	2,33 ± 0,67	-

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

Tableau 5-23. Activités du tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont | Aval lointain

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{3}H organiquement lié		
							Bq.L $^{-1}$ d'eau de combustion	Bq.kg $^{-1}$ frais	Bq.kg $^{-1}$ MO
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	23/09/19	07/04/20	Eau de combustion	< 0,56	< 0,029	< 0,37
Ousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	23/09/19	17/02/20	Eau de combustion	3,65 ± 0,84	0,206 ± 0,056	2,09 ± 0,57
Sury-près-Léré Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	21/10/19	13/12/19	Eau de combustion	0,63 ± 0,50	0,099 ± 0,078	0,46 ± 0,37
Les Mantelots Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	21/10/19	15/04/20	Eau de combustion	11,7 ± 2,2	2,05 ± 0,44	8,4 ± 1,8

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

Tableau 5-24. Activités du tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont | Aval lointain

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{14}C		C tot	^{13}C/^{12}C	PMC
							Bq.kg $^{-1}$ de C	Bq.kg $^{-1}$ frais	g.kg $^{-1}$ frais	‰	%
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	23/09/19	25/03/20	Lyophilisé	203,0 ± 1,2	8,148 ± 0,048	40	-22,66	89
Ousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	23/09/19	25/03/20	Lyophilisé	226,8 ± 1,2	10,206 ± 0,054	45	-23,01	100
Sury-près-Léré Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	21/10/19	03/03/20	Lyophilisé	205,0 ± 8,0	24,13 ± 0,94	118	-45,82	94
Les Mantelots Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	21/10/19	29/07/20	Lyophilisé	419 ± 12	58,7 ± 1,7	140	-24,92	185

Tableau 5-25. Activités du ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont | Aval lointain

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{63}Ni Bq.kg $^{-1}$ sec
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	23/09/19	13/01/20	Eau de lyophilisation	< 0,37
Ousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	23/09/19	13/01/20	Eau de lyophilisation	< 0,28

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

Tableau 5-26. Activités du ^{63}Ni dans les végétaux prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont | Aval lointain

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{55}Fe Bq.kg $^{-1}$ sec
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Entier	23/09/19	27/02/20	Eau de lyophilisation	< 2,3
Ousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Entier	23/09/19	29/02/20	Eau de lyophilisation	< 1,7

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

Tableau 5-27. Activités du ^{55}Fe dans les végétaux prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

Station	Nature	Date de prélèvement	Analyses	%
La Celle-sur-Loire Rive droite	Sédiment	23/0919	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	27,30
			Limons fins	25,30
			Limons grossiers	12,50
			Sables fins	9,40
			Sables grossiers	12,80
			Teneur en matières organiques	12,50
Pont de Beaulieu-sur-Loire Rive gauche	Sédiment	23/0919	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	27,90
			Limons fins	25,30
			Limons grossiers	13,60
			Sables fins	18,60
			Sables grossiers	1,70
			Teneur en matières organiques	12,70
Ousson-sur-Loire Rive droite	Sédiment	23/0919	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	26,20
			Limons fins	20,20
			Limons grossiers	10,60
			Sables fins	14,20
			Sables grossiers	17,70
			Teneur en matières organiques	10,90

Tableau 5-28. Granulométrie et teneur en matières organiques des échantillons de sédiments prélevés de l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2019.

Bibliographie

[1] Electricité de France. Site internet : https://www.edf.fr/centrale-nucleaire-belleville.

[2] EDF. Dossier de presse. La centrale nucléaire de Belleville-sur-Loire, une production d'électricité au cœur de la région Centre. Janvier 2012.

[3] IRSN. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017. Rapport de mission 2018, 353 p., 2018.

[4] IRSN. Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement. Rapport IRSN/PRP-ENV/SERIS/2017-00004, 74 p., 2017.

[5] Centre de Datation par le RadioCarbone. Site internet : http://carbon14.univ-lyon1.fr.

[6] 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.

[7] Gontier G. et Siclet F. Le tritium organique dans les écosystèmes d'eau douce : évolution à long terme dans l'environnement des centres nucléaires de production d'électricité français. Radioprotection, Vol. 46, n°4, 457-491, 2011.

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

- Année 2019 -

Bassin de la Loire

Belleville-sur-Loire

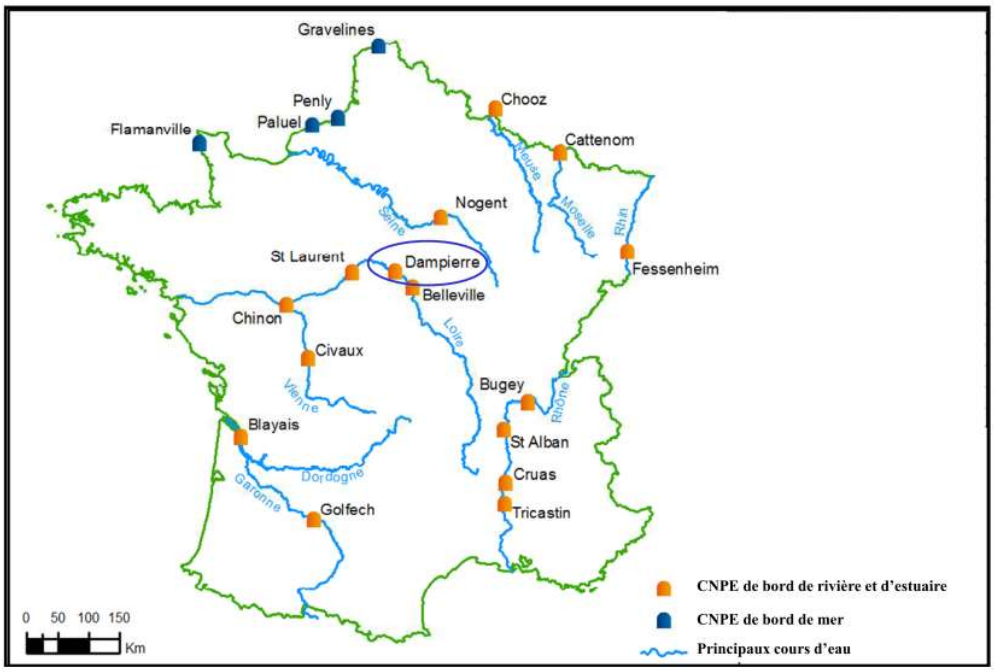
Dampierre-en-Burly

Saint-Laurent-des-Eaux

Chinon-Avoine

Civaux

C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly



Source : EDF/DIPDE.

6. Etat radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly 95

6.1 Généralités et chronologie des études radioécologiques 95

6.2 Etat radiologique de l'environnement terrestre 97

6.2.1. Stratégie d'échantillonnage 97

6.2.2. Résultats et interprétation 100

6.2.2.1 Radionucléides émetteurs gamma 100

6.2.2.2 Radionucléides émetteurs bêta 102

6.3 Etat radiologique de l'environnement aquatique 105

6.3.1. Stratégie d'échantillonnage 105

6.3.2. Résultats et interprétation 108

6.3.2.1.Radionucléides émetteurs gamma 108

6.3.2.2.Radionucléides émetteurs bêta 112

6.4 Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly 115

Résumé

L'objectif du suivi radioécologique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly 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 2019 montre que le niveau de radioactivité naturelle demeure similaire à celui constaté avant la mise en fonctionnement de l'installation de Dampierre-en-Burly.

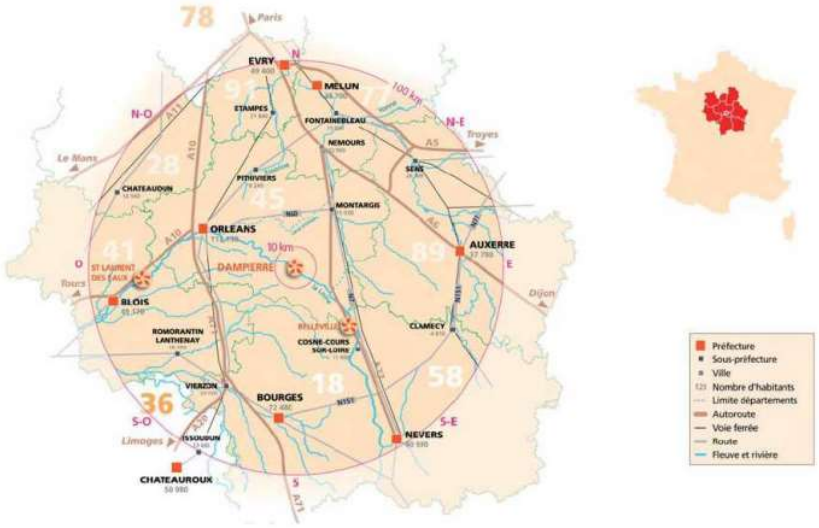
Dans **le milieu terrestre**, la radioactivité d'origine artificielle est liée à la présence systématique du ^{137}Cs. Il provient principalement des retombées des anciens essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Les analyses de ^{14}C sont cohérentes en 2019 aux incertitudes de mesure près avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle. Les activités en ^{3}H (libre et organiquement lié) sont cohérentes avec les observations des années antérieures. Elles ne révèlent pas de marquage lié aux rejets d'effluents atmosphériques en tritium du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly sur le milieu terrestre.

En 2019, le ^{137}Cs est présent dans tous les compartiments du **milieu aquatique** aussi bien en amont qu'en aval de l'installation à des niveaux d'activités comparables. Le ^{137}Cs provient de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. L'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly est mise en évidence par la détection de traces de ^{58}Co, de ^{60}Co, d'^{110m}Ag et de ^{54}Mn à l'aval du C.N.P.E. Ce constat est cohérent avec les données antérieures. En 2019, les analyses de ^{3}H (libre et organiquement lié) et de ^{14}C montrent l'influence des rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly et de Belleville-sur-Loire sur le milieu aquatique.

6. Etat radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly

6.1 Généralités et chronologie des études radioécologiques

Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité (C.N.P.E.) de Dampierre-en-Burly est situé dans le département du Loiret (45), à 11 km de Gien et 50 km d'Orléans. L'installation se situe sur la rive droite de la Loire à 40 km en aval du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire [1-3].



Carte 1. Implantation du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly.

Photo 1. C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly. Crédit : www.edf.fr.

La Figure 6-1 (page 96) présente la chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly depuis 1977. En 1989, une campagne d'échantillonnage a été effectuée au mois de juillet sur des sédiments et des végétaux aquatiques suite à la publication de résultats de mesures de radioactivité dans des mousses aquatiques prélevées à l'aval du C.N.P.E. de Nogent-sur-Seine par le mouvement écologiste « Stop Nogent » [4].

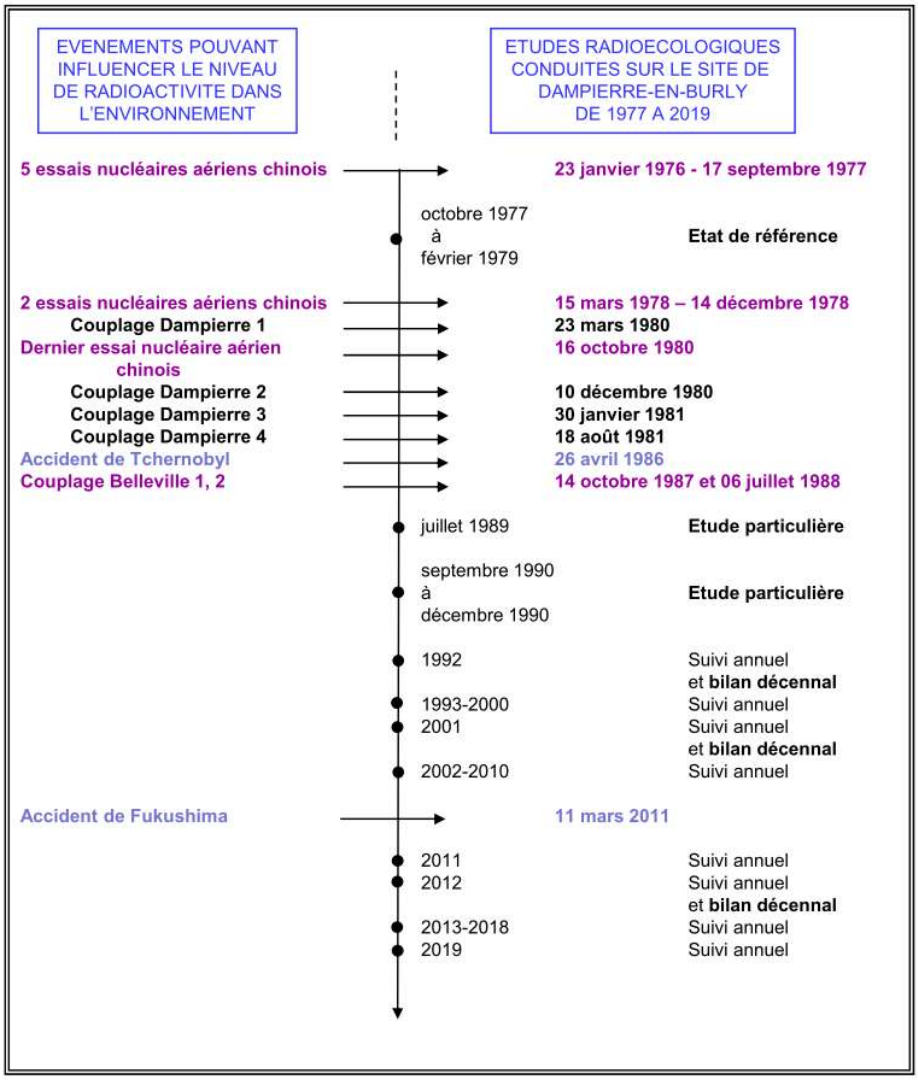


Figure 6-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly.

6.2 Etat radiologique de l'environnement terrestre

6.2.1. Stratégie d'échantillonnage

Le Tableau 6-1 (page 98) 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 6-2 (page 99) présente les stations de prélèvement et la nature des échantillons prélevés en 2019.

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 6-2 (page 99), les zones hors des vents dominants donc non influencées (désignées par « ZHV » dans la suite du texte) sont situées au Nord-Ouest et au Sud-Est. Les zones sous les vents dominants et potentiellement influencées (désignées par « ZSV » dans la suite du texte) par les rejets d'effluents atmosphériques de l'installation se situent au Nord-Est et au Sud-Ouest.

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 2019, quatre prélèvements d'herbe ont été réalisés par le C.N.P.E. au lieu-dit « Moulin Rose » sur la commune de Montereau 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.

Tableau 6-1. Identification des échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.

Hors vents | Sous les vents

Station	Situation par rapport à la centrale	Coordonnées WGS84		Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Rapport frais/sec	Rapport sec/cendres
		Latitude	Longitude							
Bois de la Noue Buisson Réau	4,2 km NE	47,76250	2,55111	Mousse terrestre	Mousse *Rhytidiadelphus triquetrus*	Entier	16/07/19	Spectrométrie γ en frais (Iode 131)	1,04	-
Poilly-lez-Gien	9,0 km SE	47,68167	2,60944	Sol cultivé	Sol de salade *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	17/06/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	1,13	-
Charleuzy	8,5 km SSO	47,67389	2,44444	Sol cultivé	Sol de salade *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	17/06/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	1,57	-
Poilly-lez-Gien	9,0 km SE	47,68167	2,60944	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	17/06/19	Spectrométrie γ	19,21	3,88
								Carbone 14	14,67	-
Charleuzy	8,5 km SSO	47,67389	2,44444	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	17/06/19	Spectrométrie γ	18,68	3,64
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	15,36	-
Le Moulin Pellerin (commune de Langesse)	15,9 km NE	47,82972	2,67389	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	16/07/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	1,09	-
Le Moulin Pellerin (commune de Langesse)	15,9 km NE	47,82972	2,67389	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	16/07/19	Spectrométrie γ	4,57	9,49
								Tritium libre Tritium organiquement lié	3,88	-
La Cocherie (commune de Langesse)	15,4 km NE	47,83194	2,66056	Lait	Lait de vache	Entier	16/07/19	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	7,63	18,21

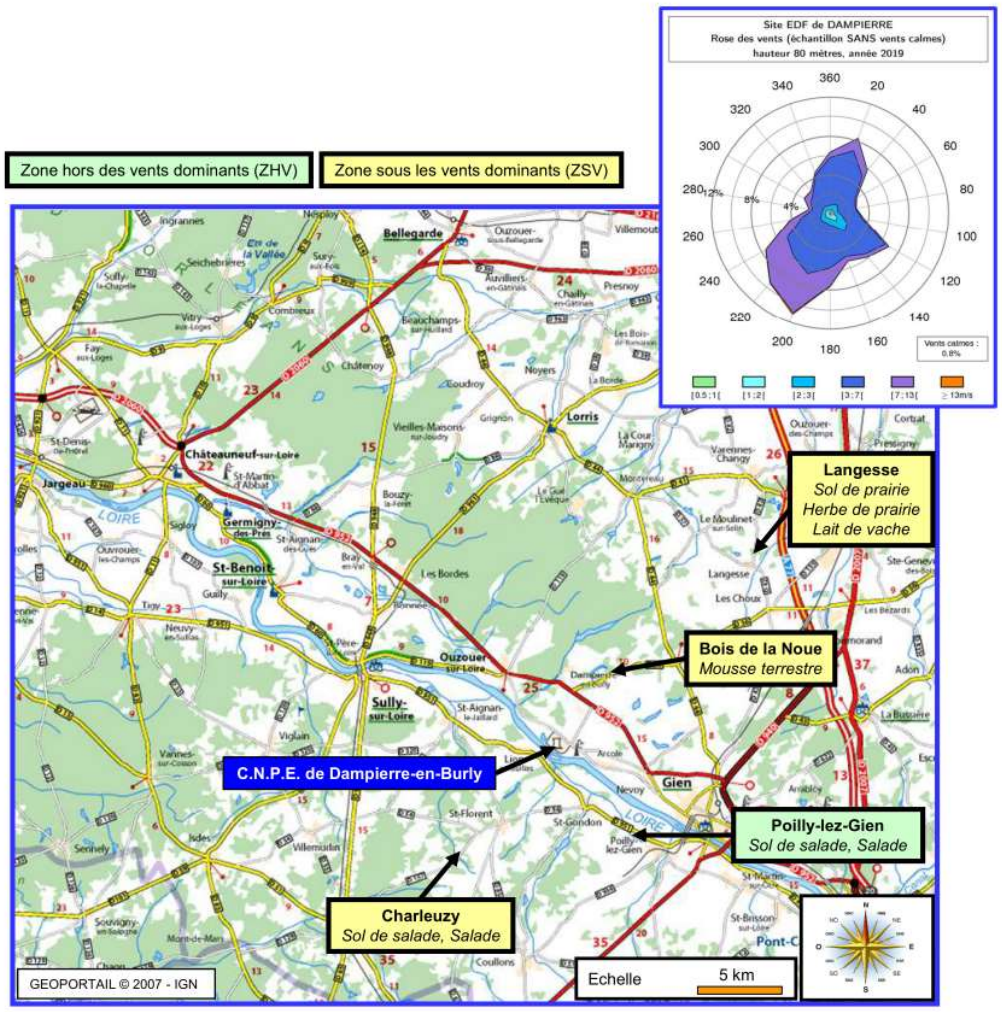


Figure 6-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly.

6.2.2. Résultats et interprétation

6.2.2.1 Radionucléides émetteurs gamma

6.2.2.1.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

En 2019, 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 1992 et lors des bilans décennaux de 1992, 2001 et 2012. Elle est similaire à celle mesurée lors de l'état de référence de 1978-1979. La radioactivité d'origine tellurique est essentiellement due au ^{40}K dans l'ensemble des matrices et dans une moindre mesure aux chaînes naturelles du ^{232}Th et de l'^{238}U. Les activités mesurées sont cohérentes avec le bruit de fond naturel observé en France [5].

Dans le lait, le ^{40}K est le seul radionucléide naturel détecté. Les niveaux d'activité détectés sont conformes aux valeurs mesurées les années précédentes (proche de 50 Bq.L^{-1}).

Le ^{7}Be est détecté dans les salades, le sol de salade de Poilly-lez-Gien, le sol non cultivé et l'herbe de pâturage. Naturellement produit en haute atmosphère, le ^{7}Be se dépose de manière plus ou moins homogène sur les sols et les végétaux.

6.2.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

La radioactivité d'origine artificielle est due en 2019 à la présence de traces de ^{137}Cs dans l'ensemble des matrices du milieu terrestre (Tableau 6-10, page 128). Il est détecté à des niveaux d'activité équivalents pour une matrice donnée quelle que soit la position du point de prélèvement vis-à-vis des rejets d'effluents radioactifs atmosphériques du C.N.P.E. (zones hors et sous les vents dominants). Ces niveaux d'activités indiquent que la présence de ^{137}Cs en 2019 est liée à la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. En 2019, 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 Dampierre-en-Burly.

Les études menées lors de l'état de référence (1978-1979) mettaient déjà en évidence la présence de ^{137}Cs dans l'ensemble des compartiments échantillonnés (Figure 6-3, page 101). Ces activités étaient liées aux retombées des essais aériens nucléaires. De 1992 à 1996, la détection de ^{134}Cs était liée aux retombées de l'accident de Tchernobyl. En 2011, la détection de ^{134}Cs et d'^{131}I était cohérente avec leur mise en évidence dans les retombées de l'accident de Fukushima en France métropolitaine [8]. Lors du bilan décennal de 2012, ces deux radionucléides n'étaient plus détectés. Dans cette étude, le ^{137}Cs était détecté dans toutes les matrices à l'exception des eaux et du maïs. Les résultats confirmaient la diminution globale des niveaux d'activité du ^{137}Cs dans le milieu terrestre constatée en 2001 lors du second bilan décennal. Dans les champignons, les activités mesurées en 2012 (190±20 et 130±10 Bq.kg^{-1} sec) étaient cohérentes avec les résultats obtenus lors du bilan décennal de 2001 (128±9 et 270±20 Bq.kg^{-1} sec). Ces activités reflètent la radioactivité du milieu dans lequel les champignons se développent. En milieu forestier, le sol ne subissant aucune perturbation, le ^{137}Cs reste piégé dans la couche superficielle du sol dans laquelle les champignons puisent leur nourriture.

Pour les autres radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle, les études avaient également mis en évidence lors de l'état de référence, en 1978-1979, la présence de ^{144}Ce-Pr, de ^{95}Nb, de ^{125}Sb, de ^{54}Mn et de ^{106}Ru-Rh dans les végétaux cultivés, consécutive des retombées d'un tir atmosphérique effectué par la Chine au mois de mars 1978. Depuis 1978-1979, aucun de ces radionucléides artificiels n'a été détecté.

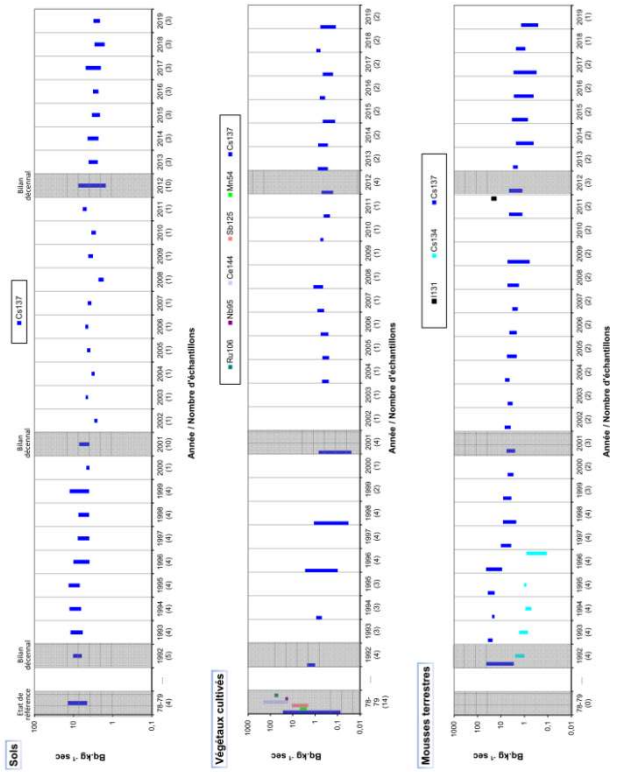


Figure 6-3. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des études menées depuis l'état de référence de 1978/1979 au suivi radioécologique de 2019.
(*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

6.2.2.2 Radionucléides émetteurs bêta

6.2.2.2.1. Tritium

Les activités en ^{3}H libre et en ^{3}H organiquement lié (salade, herbe et lait de vache) mesurées en 2019 sont proches de 1-2 $Bq.L^{-1}$ ou inférieures aux seuils de décision (Tableau 6-12, page 129, et Tableau 6-13, page 130). Ces activités sont conformes au bruit de fond ambiant hors influence industrielle (<3 $Bq.L^{-1}$) [5,6]. Elles ne montrent pas d'influence des rejets atmosphériques du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly sur le milieu terrestre pour ces radionucléides.

Ces activités sont cohérentes avec les observations des années précédentes, à l'exception du marquage ponctuel en TOL observé dans le prélèvement de lait lors du suivi radioécologique annuel de 2012 (Figure 6-5).

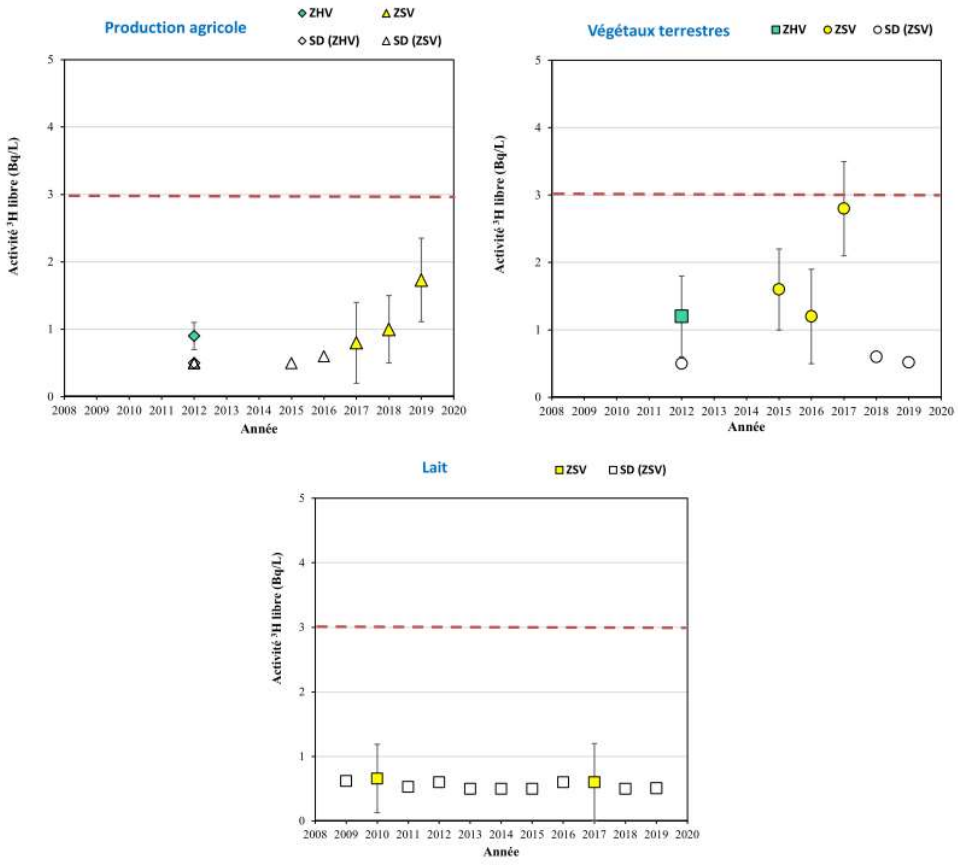


Figure 6-4. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Dampierre-en-Burly de 2009 à 2019.
La ligne en pointillées représente la limite du bruit de fond ambiant hors influence industrielle (<3 $Bq.L^{-1}$) [5,6].

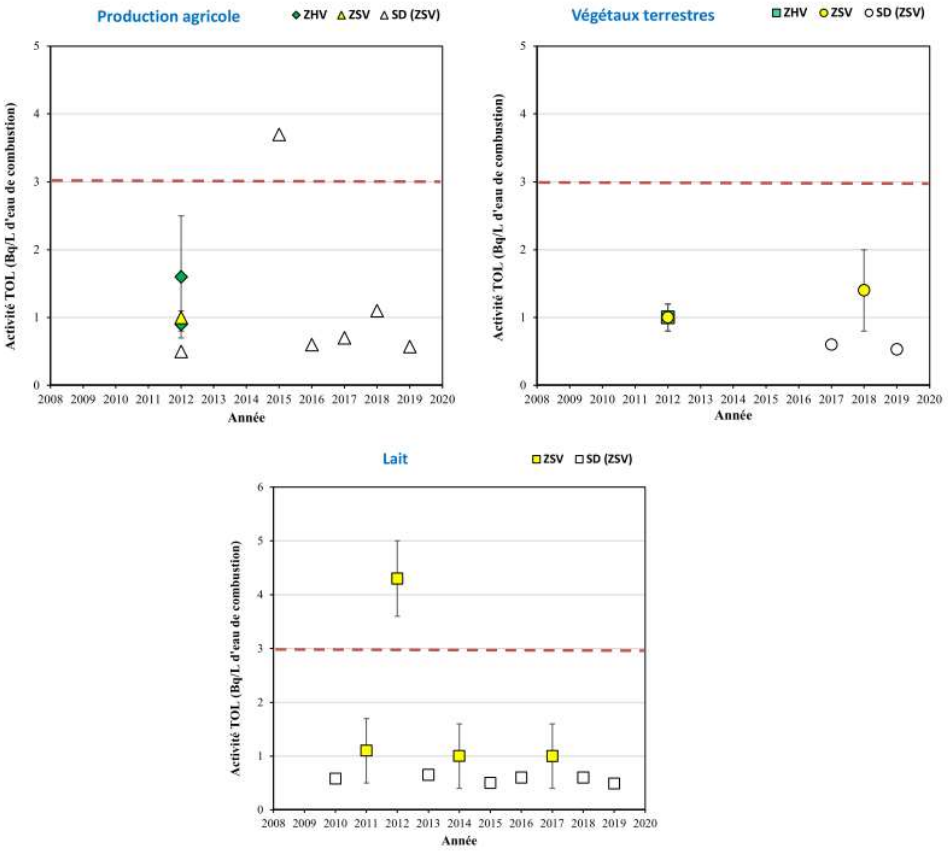


Figure 6-5. Activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Dampierre-en-Burly de 2009 à 2019.
La ligne en pointillées représente la limite du bruit de fond ambiant hors influence industrielle (<3 $Bq.L^{-1}$) [5,6].

6.2.2.2.2. Carbone 14

Dans la continuité des suivis radioécologiques de 2010 à 2016 et de 2018, le résultat d'analyse du ^{14}C dans l'herbe de pâturage prélevée à Langesse montre une activité proche du bruit de fond ambiant hors influence industrielle proche de 227 $Bq.kg^{-1}$ de carbone en 2019 [5,7]. Les activités mesurées dans les salades et le lait sont cohérentes avec ce résultat (Tableau 6-14, page 130).

L'activité plus élevée mesurée dans l'herbe de prairie prélevée spécifiquement en 2017 à proximité du site à Dampierre-en-Burly (245±1 $Bq.kg^{-1}$ de carbone) témoignait d'un marquage en ^{14}C de quelques becquerels par kg de carbone par rapport au niveau ambiant lié aux rejets d'effluents atmosphériques de l'installation. Ce constat était cohérent avec le bilan radiologique 2015-2017 de l'IRSN [5]. Ce marquage ponctuel a également été observé sur les deux derniers prélèvements trimestriels d'herbes réalisés depuis 2015 par le C.N.P.E.

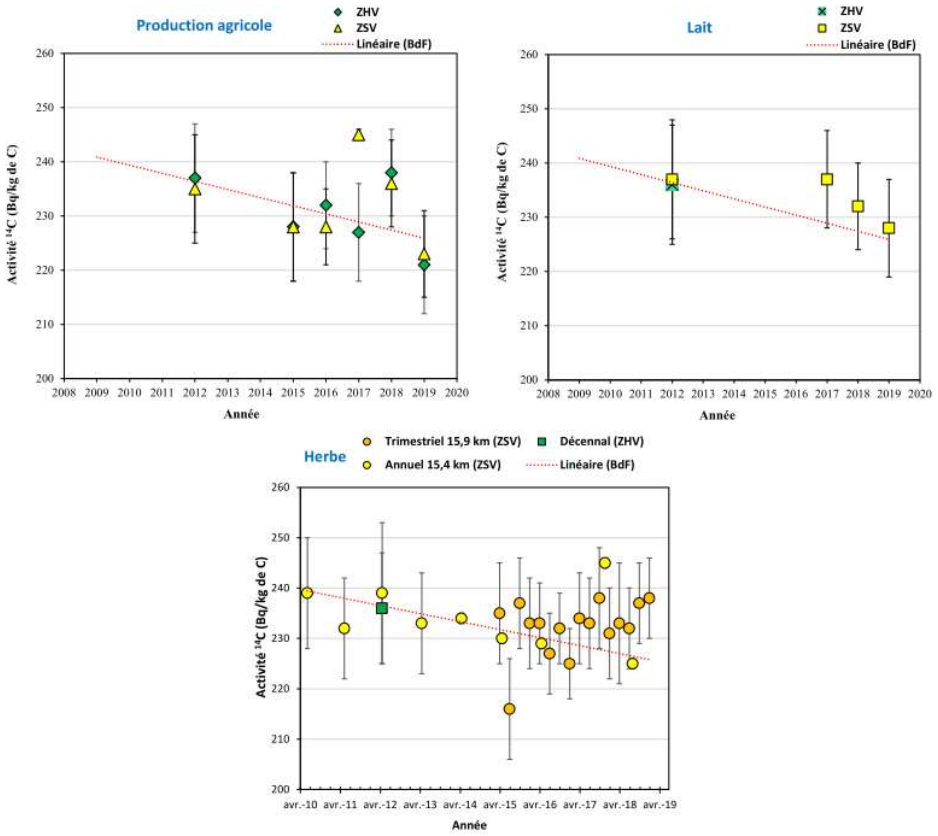


Figure 6-6. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Dampierre-en-Burly de 2009 à 2019.

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).

6.3 Etat radiologique de l'environnement aquatique

6.3.1. Stratégie d'échantillonnage

Le Tableau 6-2 (page 106) 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 6-4 (page 107) présente les stations de prélèvement et la nature des échantillons prélevés en 2019.

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, de préférence dans la zone de dilution complète. 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 ont lieu sur la rive droite de la Loire.

Deux prélèvements d'eau sont réalisés. Dans la continuité des années antérieures, l'eau de boisson provient du réseau d'eau potable de la mairie d'Ouzouer-sur-Loire. Le captage est réalisé à 34 mètres de profondeur dans la nappe de craie qui communique avec la nappe alluviale de la Loire et potentiellement soumis à l'influence des rejets d'effluents du C.N.P.E. En 2019, le plan d'échantillonnage intègre une eau d'irrigation prélevée à l'aval du C.N.P.E. Le prélèvement a été réalisé sur la commune de Saint-Père-sur-Loire.

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

Tous les échantillons prélevés sont traités et conservés au laboratoire.

Tableau 6-2. Identification des échantillons prélevés dans le milieu aquatique de l'environnement du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

Station	Situation par rapport à la centrale	Coordonnées WGS84		Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Rapport frais/sec	Rapport sec/cendres
		Latitude	Longitude							
Nevoy Rive droite	5,2 km amont	47,70333	2,57000	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/09/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	3,16	-
Benne Rive droite	4,1 km aval	47,75556	2,47306	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/09/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	3,89	-
St-Père-sur-Loire Rive droite	11,7 km aval lointain	47,77111	2,37083	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/09/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	3,19	-
Gien Rive droite	9,7 km amont	47,68556	2,62500	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Entier	24/09/19	Spectrométrie γ en frais (Iode 131) Spectrométrie γ Nickel 63 Fer 55	13,36	2,82
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	8,27	-
Benne Rive droite	4,1 km aval	47,75556	2,47306	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Entier	24/09/19	Spectrométrie γ en frais (Iode 131) Spectrométrie γ Nickel 63 Fer 55	10,76	2,79
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	8,59	-
St-Père-sur-Loire Rive droite	11,7 km aval lointain	47,77111	2,37083	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Entier	24/09/19	Spectrométrie γ	12,49	2,89
La Boyauterie Rives gauche et droite	1 km amont	47,72500	2,53194	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	22/10/19	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium organiquement lié	3,87	13,73
St-Père-sur-Loire Rives gauche et droite	11,7 km aval lointain	47,77111	2,37083	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	22/10/19	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium organiquement lié	4,32	14,66
Ouzouer-sur-Loire	4,6 km aval	47,76667	2,48028	Eau	Eau de boisson	Entier	16/07/19	Tritium libre	-	-
St-Père-sur-Loire	11,7 km aval lointain	47,77111	2,37083	Eau	Eau d'irrigation	Entier	24/09/19	Tritium libre	-	-

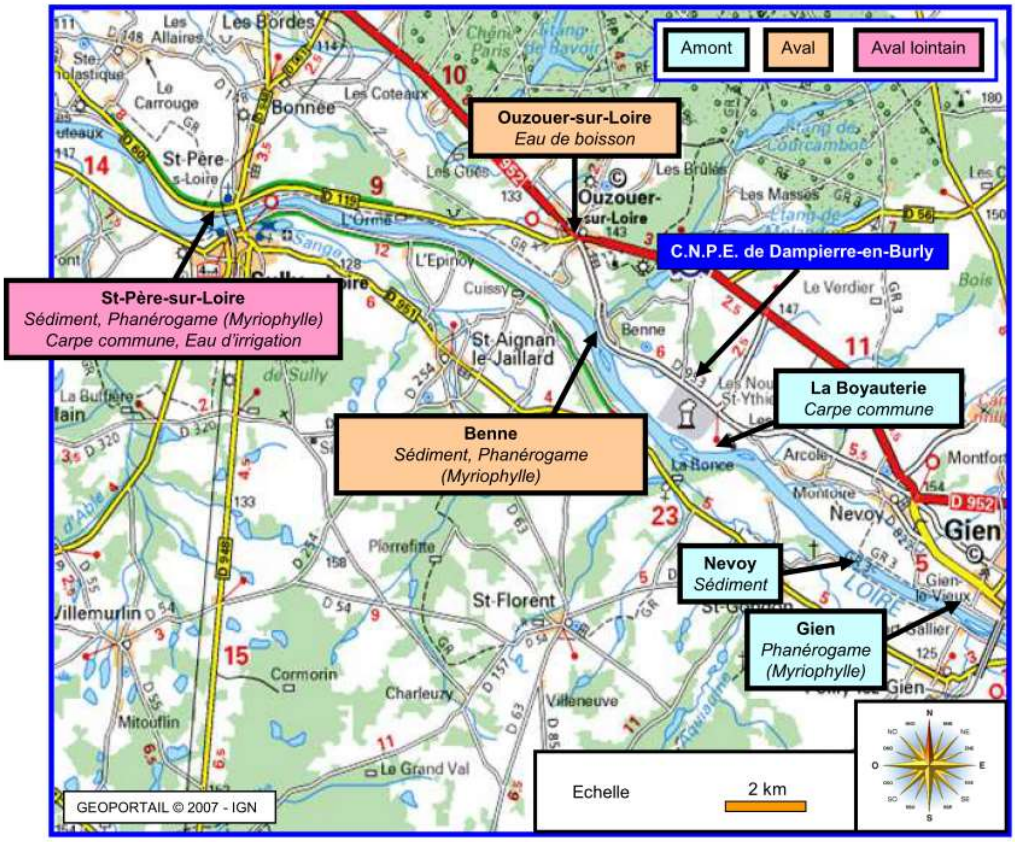


Figure 6-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly.

6.3.2. Résultats et interprétation

6.3.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

6.3.2.1.1. Radionucléides émetteur gamma d'origine naturelle

En 2019, le niveau de radioactivité d'origine naturelle observé dans les différents compartiments du milieu aquatique est similaire à celui mesuré lors des études menées les années antérieures. Elle est cohérente avec celle mesurée lors de l'état de référence. Dans l'ensemble des matrices, la radioactivité naturelle d'origine tellurique est principalement due au ^{40}K et à un degré moindre aux chaînes naturelles du ^{232}Th et de l'^{238}U (Tableau 6-9, page 127). Les activités mesurées sont cohérentes avec le bruit de fond naturel observé en France [5].

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

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

6.3.2.1.2. Radionucléides émetteur gamma d'origine artificielle

En 2019, la radioactivité artificielle est caractérisée dans le milieu aquatique par la présence de plusieurs radionucléides : le ^{137}Cs, le ^{58}Co, le ^{60}Co, l'^{110m}Ag et le ^{54}Mn (Tableau 6-21, page 138).

Le ^{137}Cs est présent dans l'ensemble des matrices étudiées (sédiments, végétaux et poissons). Son activité a été mesurée dans sept des huit échantillons analysés (à l'exception du poisson prélevé à l'amont du C.N.P.E.). Dans les végétaux, les activités mesurées à l'amont et à l'aval sont équivalentes aux incertitudes de mesure près. Dans les sédiments, les activités plus élevées à l'aval sont liées à des granulométries plus fines. En 2019, les activités en ^{137}Cs résultent de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Les spectrométries gamma réalisées en 2019 dans le milieu aquatique mettent également en évidence la présence de ^{60}Co et d'^{110m}Ag dans les sédiments prélevés à l'aval et à l'aval lointain ainsi que le ^{54}Mn dans le sédiment à l'aval lointain. Les radionucléides ^{58}Co, ^{60}Co, ^{110m}Ag et ^{54}Mn sont systématiquement détectés dans les myriophylles prélevées à l'aval et à l'aval lointain. Ces résultats montrent le marquage de l'environnement aquatique par les rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly.

Les études menées lors de l'état de référence avaient mis en évidence la présence de ^{95}Nb dans les sédiments et de ^{60}Co, de ^{125}Sb et de ^{144}Ce dans les phanérogames semi-aquatiques. Ces radionucléides provenaient des retombées des essais aériens nucléaires. Depuis 1992, le marquage du milieu aquatique par le fonctionnement du C.N.P.E. a été mis en évidence par la détection de ^{134}Cs et de ^{137}Cs avec des rapports d'activités ^{137}Cs /^{134}Cs, mesurés en aval de l'installation, inférieurs au rapport caractéristique des retombées de l'accident de Tchernobyl ainsi que par la détection régulière de ^{58}Co et de ^{60}Co dans les sédiments et dans les végétaux aquatiques prélevés en aval. L'apparition ponctuelle d'^{110m}Ag et de ^{54}Mn dans ces matrices confirme ce constat. Par ailleurs, la détection ponctuelle de ^{58}Co, de ^{60}Co et/ou d'^{110m}Ag à l'amont de l'installation montre l'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire. En 2011, la détection de ^{134}Cs était probablement liée aux retombées de l'accident de Fukushima en particulier dans les phanérogames semi-aquatiques.

En 2019, les activités d'^{131}I mesurées sur les échantillons à l'état frais sont inférieures aux seuils de décision en amont et en aval. Depuis la recherche systématique de l'^{131}I dans les phanérogames en 1998, les activités détectées ne permettent pas d'établir de lien avec le fonctionnement de l'installation. En effet, la détection ponctuelle d'^{131}I en amont et en aval de l'installation provient probablement de centres de médecine nucléaire ou universitaires situées en amont de l'installation.

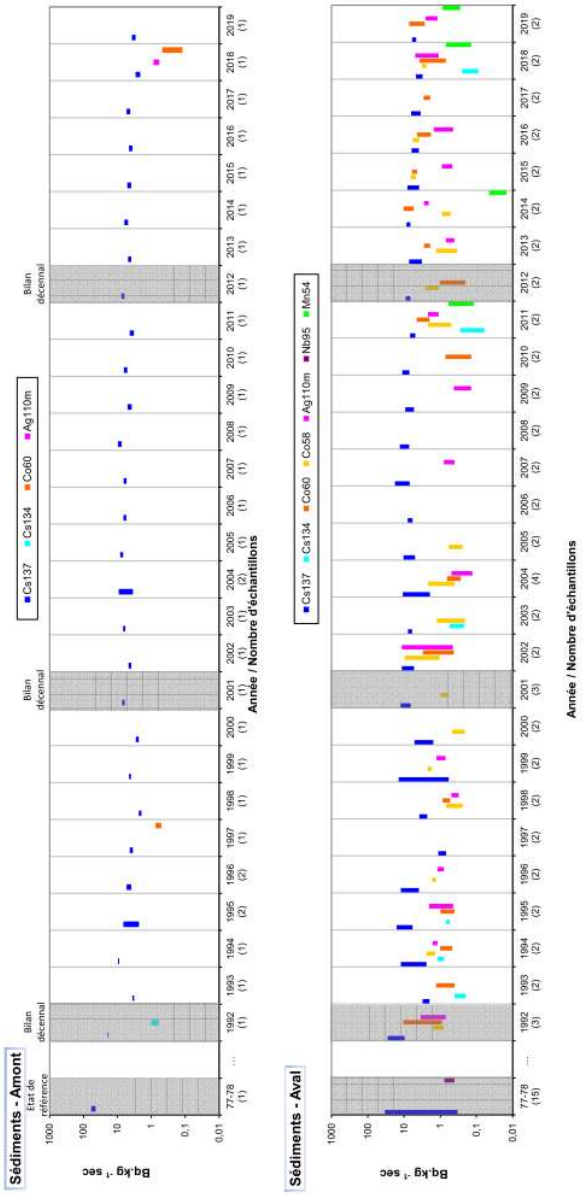


Figure 6-8. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi radioécologique de 2019.
(*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

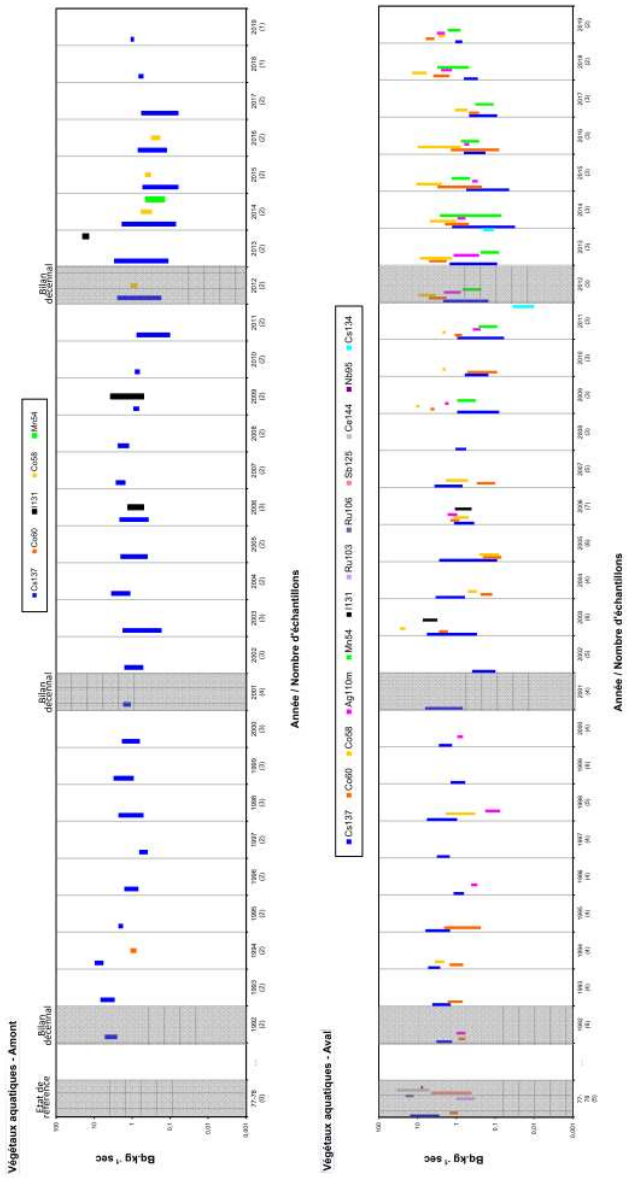


Figure 6-9. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les phanérogames semi-aquatiques et immergées (toutes fractions confondues) prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi radioécologique de 2019.
(*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

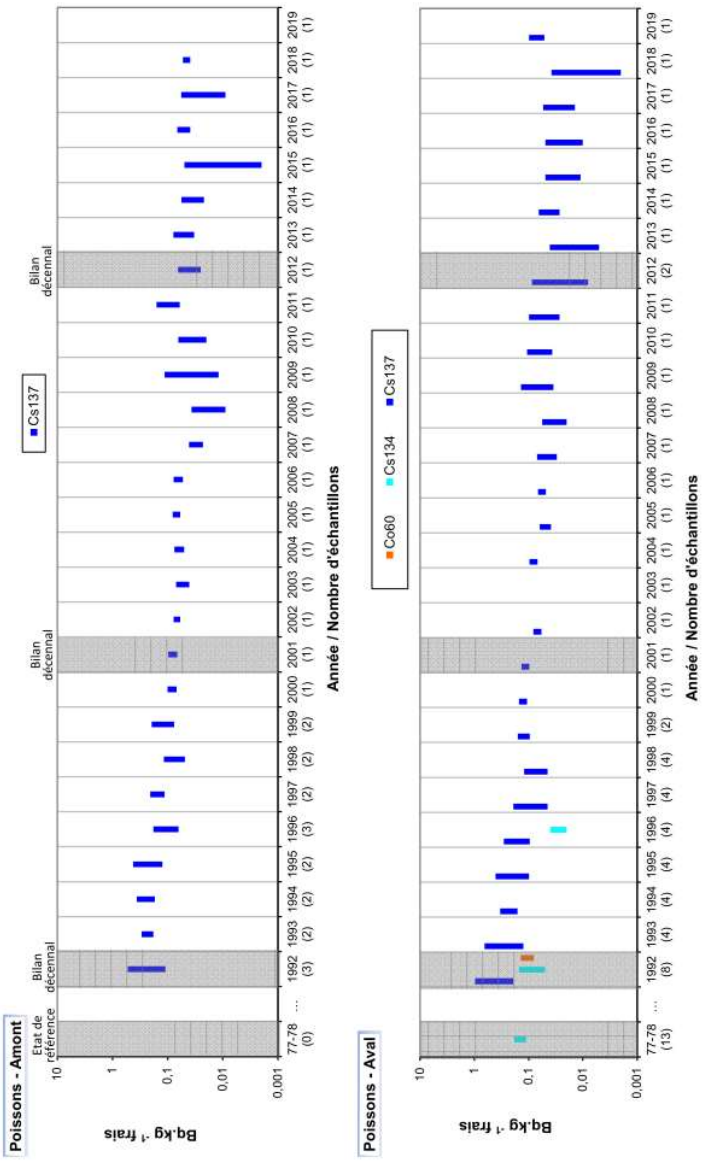


Figure 6-10. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi radioécologique de 2019.
(*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

6.3.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

6.3.2.2.1. Tritium

Les activités volumiques du ^{3}H libre mesurées dans les myriophylles en 2019 montrent une augmentation de l'activité à l'aval liée aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly (6,7±1,5 $Bq.L^{-1}$) (Tableau 6-23, page 139). Dans les eaux, les activités mesurées sont inférieures au seuil de décision pour l'eau de boisson et dans la variabilité environnementale pour l'eau d'irrigation.

Les activités de ^{3}H libre mesurées dans les matrices aquatiques dépendent fortement de la concomitance des rejets et des prélèvements en raison de la dilution et du transfert rapide du ^{3}H au sein de ces milieux récepteurs [9]. Depuis 2015, l'activité du ^{3}H libre mesurée dans les végétaux aquatiques montrait une activité plus élevée en aval. En 2012, une activité plus élevée a également été mesurée dans une eau de boisson prélevée à l'occasion du bilan décennal. L'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire, situé en amont, a également été mise en évidence ponctuellement (2015 et 2018 dans les végétaux aquatiques). Pour rappel, la valeur-guide dans l'eau potable recommandée par l'OMS est de 10000 $Bq.L^{-1}$. La réglementation européenne relative à l'eau potable appliquée par la France fixe par ailleurs une référence de qualité de 100 $Bq.L^{-1}$, au-delà de laquelle des investigations complémentaires doivent être menées pour rechercher la présence de radionucléides artificiels.

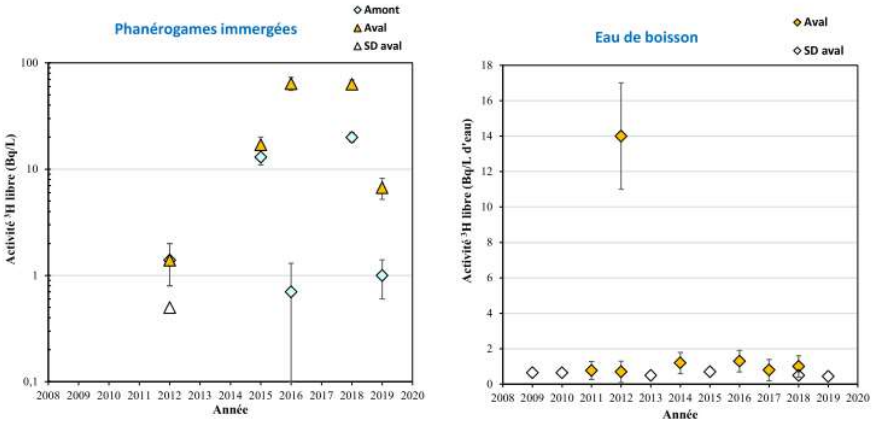


Figure 6-11. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Dampierre-en-Burly de 2009 à 2019.

En 2019, les activités du ^{3}H organiquement lié montrent, d'une part, l'influence des rejets d'effluents liquides tritiés du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire situé en amont sur la Loire avec une activité de 11 $Bq.L^{-1}$ d'eau de combustion dans les poissons et, d'autre part, celle des rejets du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly mise en évidence par l'augmentation constatée à l'aval dans les myriophylles (34±7 $Bq.L^{-1}$ d'eau de combustion) et les poissons (25±4 $Bq.L^{-1}$ d'eau de combustion) (Tableau 6-24, page 140). L'activité mesurée dans les myriophylles prélevées à l'amont demeure dans la variabilité environnementale.

Ces résultats sont cohérents avec ceux observés depuis l'intégration de la mesure du TOL dans le cadre du suivi radioécologique de 2010.

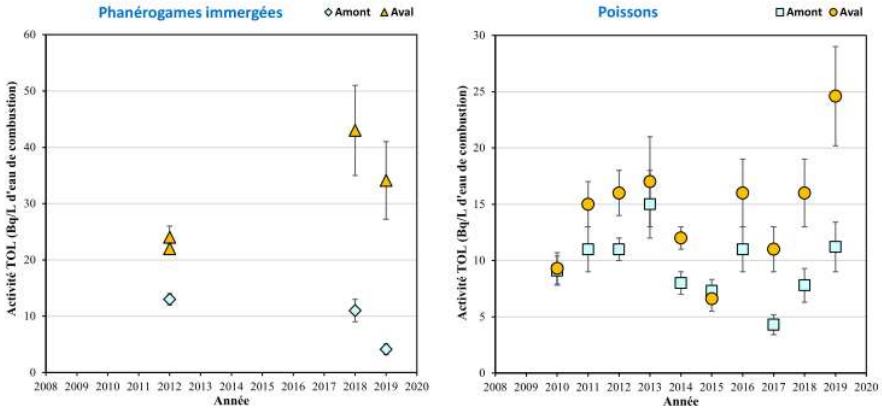


Figure 6-12. Activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Dampierre-en-Burly de 2009 à 2019.

6.3.2.2.2. Carbone 14

Les résultats sont présentés dans le tableau 6-23 (page 140). En 2019, les analyses du ^{14}C dans les échantillons prélevés dans le milieu aquatique montrent, d'une part, l'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire situé en amont sur la Loire avec des activités de 261,3±1,3 $Bq.kg^{-1}$ de C (dans les myriophylles) et de 462±13 $Bq.kg^{-1}$ de C (dans les poissons) et, d'autre part, celle des rejets du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly mise en évidence par l'augmentation constatée à l'aval dans les myriophylles (1516,8±8,3 $Bq.kg^{-1}$ de C) et les poissons (1444±44 $Bq.kg^{-1}$ de C).

Ces résultats sont conformes aux données antérieures qui mettent régulièrement en évidence le marquage en ^{14}C de l'environnement aquatique lié aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly et de Belleville-sur-Loire.

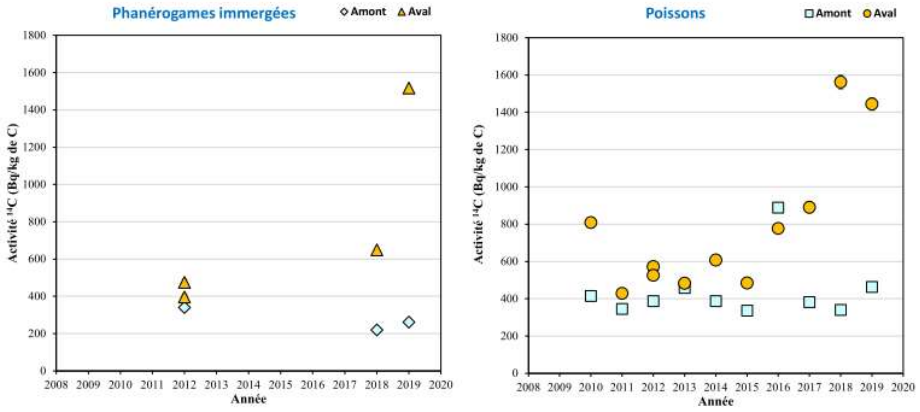


Figure 6-13. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Dampierre-en-Burly de 2009 à 2019.

6.3.2.2.3. Nickel 63 et Fer 55

En 2019, les analyses de ^{63}Ni et de ^{55}Fe montrent une activité inférieure au seuil de décision à l'amont et à l'aval du C.N.P.E. Aucune influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly n'est mis en évidence pour ces radionucléides.

6.4 Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly

Le suivi radioécologique établi en 2019 montre que le niveau de radioactivité naturelle demeure similaire à celui constaté avant la mise en fonctionnement de l'installation de Dampierre-en-Burly.

Dans **le milieu terrestre**, la radioactivité d'origine artificielle est liée à la présence systématique du ^{137}Cs. Il provient principalement des retombées des anciens essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Les analyses de ^{14}C sont cohérentes en 2019 aux incertitudes de mesure près avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle. Les activités en ^{3}H (libre et organiquement lié) sont cohérentes avec les observations des années antérieures. Elles ne révèlent pas de marquage lié aux rejets d'effluents atmosphériques en tritium du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly sur le milieu terrestre.

En 2019, le ^{137}Cs est présent dans tous les compartiments du **milieu aquatique** aussi bien en amont qu'en aval de l'installation à des niveaux d'activités comparables. Le ^{137}Cs provient de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. L'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly est mise en évidence par la détection de traces de ^{58}Co, de ^{60}Co, d'^{110m}Ag et de ^{54}Mn à l'aval du C.N.P.E. Ce constat est cohérent avec les données antérieures. En 2019, les analyses de ^{3}H (libre et organiquement lié) et de ^{14}C montrent l'influence des rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly et de Belleville-sur-Loire sur le milieu aquatique.

LISTE DES FIGURES

Figure 6-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly.....96

Figure 6-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly.....99

Figure 6-3. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des études menées depuis l'état de référence de 1978/1979 au suivi radioécologique de 2019. 101

Figure 6-4. Activités en tritium libre détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Dampierre-en-Burly de 2009 à 2019. 102

Figure 6-5. Activités en tritium organiquement lié détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Dampierre-en-Burly de 2009 à 2019. 103

Figure 6-5. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Dampierre-en-Burly de 2009 à 2019. 104

Figure 6-6. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly.....107

Figure 6-7. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi radioécologique de 2019. 109

Figure 6-8. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les phanérogames semi-aquatiques et immergées (toutes fractions confondues) prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi radioécologique de 2019.....110

Figure 6-9. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi radioécologique de 2019.....111

Figure 6-10. Activités en tritium libre détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Dampierre-en-Burly de 2009 à 2019. 112

Figure 6-11. Activités en tritium organiquement lié détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Dampierre-en-Burly de 2009 à 2019. 113

Figure 6-12. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Dampierre-en-Burly de 2009 à 2019. 114

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 6-1. Identification des échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019. 98

Tableau 6-2. Identification des échantillons prélevés dans le milieu aquatique de l'environnement du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019. 106

Tableau 6-3. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ dans les sols prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 ($Bq.kg^{-1}$ sec). 121

Tableau 6-4. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les salades prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019. 122

Tableau 6-5. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les herbes prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019. 123

Tableau 6-6. Activités du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les échantillons trimestriels (herbe) prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly de 2015 à 2019. 124

Tableau 6-7. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ dans les mousses et les champignons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 ($Bq.kg^{-1}$ sec). 125

Tableau 6-8. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les laits prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 ($Bq.L^{-1}$). 126

Tableau 6-9. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019. 127

Tableau 6-10. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019. 128

Tableau 6-11. Teneur en iode stable des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019. 129

Tableau 6-11. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019. 129

Tableau 6-12. Activité du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019. 130

Tableau 6-13. Activité du ^{14}C des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019. 130

Tableau 6-14. Granulométrie et teneur en matières organiques des échantillons de sols prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019. 131

Tableau 6-15. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ et du ^{3}H libre dans les eaux prélevées dans l'environnement du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 ($Bq.L^{-1}$).....133

Tableau 6-16. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ, du ^{14}C et du ^{3}H organiquement lié dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly de 2009 à 2019 (spectrométrie γ et ^{3}H : $Bq.kg^{-1}$ sec ; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone).....134

Tableau 6-17. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les végétaux aquatiques (toutes fractions confondues) prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly de 2009 à 2019.....135

Tableau 6-18. Activités des radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les échantillons de poissons (entiers ou fractions) prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ frais ; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$).....136

Tableau 6-19. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.....137

Tableau 6-20. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.....138

Tableau 6-21. Teneurs en iode stable dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.....139

Tableau 6-21. Activités du tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.....139

Tableau 6-22. Activités du tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.....140

Tableau 6-23. Activités du ^{14}C dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.....140

Tableau 6-24. Activités du ^{63}Ni dans les végétaux prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.....141

Tableau 6-25. Activités du ^{55}Fe dans les végétaux prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.....141

Tableau 6-26. Granulométrie et teneur en matières organiques des échantillons de sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019. 142

Tableau 6-3. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ dans les sols prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 (Bq.kg^{-1} sec).

Année de prélèvement	mai 2009	juin 2010	mai 2011	juil./sept./oct. 2012	avril et juil. 2013	avril et juil. 2014	avril et juin 2015	avril et juil. 2016	sept. et nov. 2017	juil. et août 2018	juin et juil. 2019
Distance par rapport au site	15,9 km	15,9 km	15,9 km	2,5 à 30,7 km	8,5 à 15,4 km	8,5 à 15,4 km	8,5 à 15,1 km	8,5 à 15,1 km	1,6 à 9,0 km	8,5 à 15,9 km	8,5 à 15,9 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	3,7 (1/1)	3,1 (1/1)	5,2 (1/1)	1,8-6,9 (10/10)	2,8-3,6 (3/3)	2,6-3,9 (3/3)	2,4-3,0 (3/3)	2,6-2,8 (3/3)	2,3-4,3 (3/3)	1,9-2,6 (3/3)	2,40-2,80 (3/3)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 6-4. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les salades prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019.
(spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1})

Année de prélèvement	sept. 2009	août 2010	juil. 2011	sept./oct. 2012	juil. 2013	juil. 2014	juin 2015	juil. 2016	sept. 2017	juil. 2018	juin 2019
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	-	0,51 (1/1)	0,32 (1/1)	0,34 (1/2)	0,43-0,59 (2/2)	0,36-0,57 (2/2)	0,27-0,31 (2/2)	0,49 (1/2)	0,31-0,32 (2/2)	0,73-1,4 (2/2)	0,27-0,486 (2/2)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β											
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	235-237 (2/2)	n.a.	n.a.	228 (2/2)	228-232 (2/2)	227-235 (2/2)	236-238 (2/2)	221,0-223,0 (2/2)
^{3}H libre	n.a.	n.a.	n.a.	0,9 (1/2)	n.a.	n.a.	-	-	0,8 (1/1)	1,0 (1/1)	1,73 (1/1)
^{3}H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	1,6 (1/2)	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 6-5. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les herbes prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019.
(spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1})

Année de prélèvement	juin 2009	juin 2010	mai 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	nov. 2017	août 2018	juil. 2019
Distance par rapport au site	15,9 km	15,9 km	15,9 km	15,9 et 30,7 km	15,4 km	15,4 km	15,1 km	15,1 km	1,6 km	15,9 km	15,9 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	0,082 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	-	0,81 (1/1)	0,22 (1/1)	0,12 (1/2)	0,15 (1/1)	0,15 (1/1)	0,16 (1/1)	0,25 (1/1)	0,26 (1/1)	0,40 (1/1)	0,187 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β											
^{14}C	n.a.	239 (1/1)	232 (1/1)	236-239 (2/2)	233 (1/1)	234 (1/1)	230 (1/1)	229 (1/1)	245 (1/1)	225 (1/1)	n.a.
^{3}H libre	n.a.	n.a.	n.a.	1,2 (1/2)	n.a.	n.a.	1,6 (1/1)	1,2 (1/1)	2,8 (1/1)	-	-
^{3}H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	1,0 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	1,4 (1/1)	-

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 6-6. Activités du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les échantillons trimestriels (herbe) prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly de 2015 à 2019.
(spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1})

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	avril 2018	juil. 2018	oct. 2018	janv. 2019
Distance par rapport au site	15,4 km	15,4 km	15,4 km	15,4 km	15,4 km	15,4 km	14,7 km	14,7 km	14,7 km	14,7 km	14,7 km	14,7 km	14,7 km	14,7 km	14,7 km	14,7 km
Emetteurs β																
^{14}C	235 (1/1)	216 (1/1)	237 (1/1)	233 (1/1)	223 (1/1)	227 (1/1)	232 (1/1)	225 (1/1)	234 (1/1)	233 (1/1)	238 (1/1)	231 (1/1)	233 (1/1)	232 (1/1)	237 (1/1)	238 (1/1)
^{3}H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.
^{3}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.	1,4 (1/1)	n.a.	n.a.

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 6-7. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ dans les mousses et les champignons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 (Bq.kg^{-1} sec).

Année de prélèvement	avril 2009	avril 2010	avril 2011	avril et oct. 2012		avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	mai 2018	juil. 2019
Distance par rapport au site	4,2 et 21,9 km	4,2 et 21,9 km	4,2 et 21,9 km	4,2 à 21,9 km	9,2 et 16,1 km	4,2 et 21,9 km	4,2 et 21,9 km	4,2 et 21,9 km	4,2 et 21,9 km	4,2 et 21,9 km	4,2 km	4,2 km
Emetteurs γ d'origine artificielle												
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	1,2-4,0 (2/2)	-	2,8-3,0 (2/2)	0,77-3,3 (3/3)	130-190 (2/2)	2,5 (1/2)	1,1-1,6 (2/2)	1,4-2,7 (2/2)	1,0-2,1 (2/2)	1,0-2,2 (2/2)	1,6 (1/1)	0,83 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{131}I	-	-	19-22 (2/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 6-8. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les laits prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 (Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	mai 2009	juin 2010	mai 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	août 2018	juil. 2019
Distance par rapport au site	15,9 km	15,9 km	15,9 km	15,4 et 30,7 km	15,4 km	15,4 km	15,4 km	15,4 km	15,4 km	15,4 km	15,4 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,0084 (1/1)	-	0,018 (1/1)	0,028 (1/2)	0,015 (1/1)	0,016 (1/1)	0,015 (1/1)	0,017 (1/1)	0,017 (1/1)	0,016 (1/1)	0,0169 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β											
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	236-237 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	237 (1/1)	232 (1/1)	228,0 (1/1)
^{3}H libre	-	0,66 (1/1)	-	-	-	-	-	-	0,6 (1/1)	-	-
^{3}H organiquement lié	n.a.	-	1,1 (1/1)	4,3 (1/2)	-	1,0 (1/1)	-	-	1,0 (1/1)	-	-

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 6-9. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.

Hors vents	Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs γ d'origine naturelle					
							Activité Bq.kg $^{-1}$ sec (sols, végétaux), Bq.L $^{-1}$ (lait)					
							^{40}K	Famille de ^{232}Th	Famille de ^{238}U			^{7}Be
								^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Bois de la Noue Buisson Réau	Mousse terrestre	Mousse *Rhytidiadelphus triquetrus*	Entier	16/07/19	17/07/19	Frais	139 ± 23	< 2,0	< 6,5	n.a.	215 ± 34	484 ± 56
Poilly-lez-Gien	Sol cultivé	Sol de salade *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	17/06/19	02/07/19	Sec	1009 ± 144	76,7 ± 9,9	n.a.	39 ± 21	n.a.	1,53 ± 0,78
Charleuzy	Sol cultivé	Sol de salade *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	17/06/19	16/07/19	Sec	492 ± 71	33,2 ± 4,3	n.a.	38 ± 16	n.a.	< 1,6
Poilly-lez-Gien	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	17/06/19	05/07/19	Cendres	1658 ± 237	9,1 ± 1,3	6,2 ± 2,0	n.a.	22,4 ± 4,0	240 ± 27
Charleuzy	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	17/06/19	07/08/19	Cendres	2028 ± 290	4,03 ± 0,83	4,2 ± 1,3	n.a.	25,6 ± 4,6	307 ± 35
Le Moulin Pellerin (commune de Langesse)	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	16/07/19	31/07/19	Sec	739 ± 106	34,5 ± 4,5	n.a.	26 ± 17	n.a.	2,19 ± 0,74
Le Moulin Pellerin (commune de Langesse)	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	16/07/19	06/08/19	Cendres	633 ± 91	1,70 ± 0,28	< 0,89	n.a.	32 ± 10	20,0 ± 2,3
La Cocherie (commune de Langesse)	Lait	Lait de vache	Entier	16/07/19	07/08/19	Cendres	42,5 ± 6,1	< 0,023	< 0,058	n.a.	< 0,097	< 0,051

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

Tableau 6-10. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.

Hors vents	Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs γ d'origine artificielle						
							Activité Bq.kg $^{-1}$ sec (sols, végétaux), Bq.L $^{-1}$ (lait)						
							^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{131}I
Bois de la Noue Buisson Réau	Mousse terrestre	Mousse *Rhytidiadelphus triquetrus*	Entier	16/07/19	17/07/19	Frais	< 0,59	**0,83 ± 0,57**	< 0,47	< 0,54	< 0,61	< 0,48	< 0,52
Poilly-lez-Gien	Sol cultivé	Sol de salade *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	17/06/19	02/07/19	Sec	< 0,17	**2,40 ± 0,30**	< 0,18	< 0,17	< 0,21	< 0,21	n.a.
Charleuzy	Sol cultivé	Sol de salade *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	17/06/19	16/07/19	Sec	< 0,13	**2,46 ± 0,30**	< 0,15	< 0,13	< 0,16	< 0,16	n.a.
Poilly-lez-Gien	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	17/06/19	05/07/19	Cendres	< 0,093	**0,486 ± 0,080**	< 0,11	< 0,13	< 0,12	< 0,10	n.a.
Charleuzy	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	17/06/19	07/08/19	Cendres	< 0,14	**0,27 ± 0,15**	< 0,21	< 0,18	< 0,18	< 0,16	n.a.
Le Moulin Pellerin (commune de Langesse)	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	16/07/19	31/07/19	Sec	< 0,14	**2,80 ± 0,34**	< 0,14	< 0,14	< 0,17	< 0,16	n.a.
Le Moulin Pellerin (commune de Langesse)	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	16/07/19	06/08/19	Cendres	< 0,038	**0,187 ± 0,046**	< 0,042	< 0,047	< 0,046	< 0,040	n.a.
La Cocherie (commune de Langesse)	Lait	Lait de vache	Entier	16/07/19	07/08/19	Cendres	< 0,0056	**0,0169 ± 0,0064**	< 0,0067	< 0,0075	< 0,0070	< 0,0057	n.a.

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

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{127}I mg.kg^{-1} frais
Bois de la Noue Buisson Réau	Mousse terrestre	Mousse *Rhytidiadelphus triquetrus*	Entier	16/07/19	22/10/19	Lyophilisée	< 48

Tableau 6-11. Teneur en iode stable des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{3}H libre Bq.L^{-1}	^{3}H libre Bq.kg^{-1} frais (végétaux) Bq.L^{-1} de lait
Charleuzy	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	17/06/19	14/09/19	Eau de lyophilisation	1,73 ± 0,62	1,62 ± 0,58
Le Moulin Pellerin (commune de Langesse)	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	16/07/19	20/10/19	Eau de lyophilisation	< 0,52	< 0,39
La Cocherie (commune de Langesse)	Lait	Lait de vache	Entier	16/07/19	19/10/19	Eau de lyophilisation	< 0,51	< 0,44

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

Tableau 6-12. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{3}H organiquement lié		
							Bq.L $^{-1}$ d'eau de combustion	Bq.kg $^{-1}$ frais (végétaux) Bq.L $^{-1}$ de lait	Bq.kg $^{-1}$ MO
Charleuzy	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	17/06/19	27/08/19	Lyophilisé	< 0,57	< 0,020	< 0,36
Le Moulin Pellerin (commune de Langesse)	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	16/07/19	14/09/19	Lyophilisé	< 0,53	< 0,073	< 0,33
La Cocherie (commune de Langesse)	Lait	Lait de vache	Entier	16/07/19	18/09/19	Lyophilisé	< 0,49	< 0,046	< 0,37

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

Tableau 6-13. Activité du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.

Hors vents | Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{14}C		C tot	^{13}C/^{12}C	PMC
							Bq.kg $^{-1}$ de C	Bq.kg $^{-1}$ frais (végétaux) Bq.L $^{-1}$ de lait	g.kg $^{-1}$ frais (végétaux) g.L $^{-1}$ de lait	‰	%
Poilly-lez-Gien	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	17/06/19	05/11/19	Lyophilisée	221,0 ± 9,0	5,71 ± 0,23	26	-29,02	99
Charleuzy	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	17/06/19	19/07/19	Lyophilisée	223,0 ± 8,0	5,50 ± 0,20	25	-27,92	99
La Cocherie (commune de Langesse)	Lait	Lait de vache	Entier	16/07/19	19/12/19	Lyophilisée	228,0 ± 9,0	17,10 ± 0,68	75	-21,49	100

Tableau 6-14. Activité du ^{14}C des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.

Hors vents	Sous les vents

Station	Nature	Date de prélèvement	Analyses	%
Poilly-lez-Gien	Sol de salade *Horizon 0 - 20 cm*	17/06/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	7,90
			Limons fins	3,70
			Limons grossiers	3,70
			Sables fins	59,30
			Sables grossiers	25,40
			Teneur en matières organiques	1,00
Charleuzy	Sol de salade *Horizon 0 - 20 cm*	17/06/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	11,20
			Limons fins	15,10
			Limons grossiers	11,20
			Sables fins	9,20
			Sables grossiers	53,30
			Teneur en matières organiques	1,81
Le Moulin Pellerin (commune de Langesse)	Sol de prairie *Horizon 0 - 5 cm*	16/07/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	11,90
			Limons fins	17,70
			Limons grossiers	10,10
			Sables fins	11,30
			Sables grossiers	49,00
			Teneur en matières organiques	3,86

Tableau 6-15. Granulométrie et teneur en matières organiques des échantillons de sols prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.

Tableau 6-16. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ et du ^{3}H libre dans les eaux prélevées dans l'environnement du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 ($Bq.L^{-1}$).

Année de prélèvement	avril 2009	avril 2010	avril 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	juil./août 2018	juil./sept. 2019
Distance par rapport au site	4,6 km	4,6 km	4,6 km	0 à 49,6 km	4,6 km	4,6 km	4,6 km	4,6 km	4,6 km	4,6 et 11,4 km	4,6 et 11,4 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{137}Cs	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{58}Co	n.a.	n.a.	n.a.	0,0012 (1/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{60}Co	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{110m}Ag	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{54}Mn	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Emetteurs β											
^{3}H libre	-	-	0,77 (1/1)	0,7-35 (5/5)	-	1,2 (1/1)	-	1,3 (1/1)	0,8 (1/1)	1,0 (1/2)	4,3 (1/2)

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 6-17. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ, du ^{14}C et du ^{3}H organiquement lié dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly de 2009 à 2019 (spectrométrie γ et ^{3}H : $Bq.kg^{-1}$ sec ; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone).

Année de prélèvement	juin 2009		juin 2010		sept 2011		juil. 2012		juil. 2013		sept. 2014		sept. 2015		sept. 2016		sept. 2017		oct. 2018		sept. 2019	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																						
^{134}Cs	-	-	-	-	-	0,17 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17 (1/1)	-	-
^{137}Cs	4,4 (1/1)	6,1-8,1 (2/2)	5,8 (1/1)	8,0-9,9 (2/2)	3,8 (1/1)	5,6-5,9 (2/2)	6,9 (1/1)	7,4-8,1 (2/2)	4,4 (1/1)	3,7-6,5 (2/2)	5,6 (1/1)	7,6-7,7 (2/2)	4,5 (1/1)	4,4-7,2 (2/2)	4,1 (1/1)	4,5-5,5 (2/2)	4,8 (1/1)	4,0-5,7 (2/2)	2,5 (1/1)	3,5-4,2 (2/2)	3,29 (1/1)	5,28-5,41 (2/2)
^{58}Co	-	-	-	-	-	0,79-1,3 (2/2)	-	1,8 (1/2)	-	0,46-1,1 (2/2)	-	0,64-0,72 (2/2)	-	5,7 (1/2)	0,26 (1/1)	4,3-5,1 (2/2)	-	-	-	2,8 (1/2)	-	-
^{60}Co	-	-	-	0,43 (1/2)	-	2,6-3,9 (2/2)	-	0,40-0,81 (2/2)	-	2,3-2,4 (2/2)	-	6,4-9,2 (2/2)	-	5,2 (1/2)	-	2,2-3,8 (2/2)	-	2,5 (1/2)	0,30 (1/1)	1,0-3,1 (2/2)	-	3,23-6,3 (2/2)
^{110m}Ag	-	0,28 (1/2)	-	-	-	1,3-1,9 (2/2)	-	-	-	0,51-0,58 (2/2)	-	2,4-2,5 (2/2)	-	,68 (1/2)	-	0,56-1,3 (2/2)	-	-	0,72 (1/1)	1,3-4,3 (2/2)	-	1,45-2,21 (2/2)
^{54}Mn	-	-	-	-	-	0,23-0,40 (2/2)	-	-	-	-	-	0,030 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	0,28-0,46 (2/2)	-	0,57 (1/2)
Emetteurs β																						
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	213 (1/1)	285-295 (2/2)	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}H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,43 (1/1)	0,46-,051 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 6-18. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les végétaux aquatiques (toutes fractions confondues) prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	juin/sept. 2009		juin/sept. 2010		juil./sept. 2011		juil./sept. 2012		juil./sept. 2013		juil./sept. 2014		juil./oct. 2015		sept. 2016		sept. 2017		sept. 2018		sept. 2019	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																						
^{134}Cs	-	-	-	-	-	0,023 (1/3)	-	-	-	0,16 (1/3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,22-0,79 (2/2)	0,11-0,85 (3/3)	0,39-0,74 (2/2)	0,19-0,53 (3/3)	0,14-0,66 (2/2)	0,099-0,85 (3/3)	0,22-2,2 (2/2)	0,20-2,0 (3/3)	0,15-2,7 (2/2)	0,12-1,3 (3/3)	0,10-1,7 (2/2)	0,061-1,2 (3/3)	0,10-0,47 (2/2)	0,092-0,48 (3/3)	0,14-0,63 (2/2)	0,23-0,57 (3/3)	0,089-0,51 (2/2)	0,12-0,40 (3/3)	0,59 (1/1)	0,35-0,56 (2/2)	1,03 (1/1)	0,81-0,95 (2/2)
^{58}Co	-	10 (1/3)	-	2,1 (1/3)	-	2,1 (1/3)	0,92 (1/2)	3,9-8,4 (2/3)	-	1,5-8,0 (2/3)	0,45 (1/2)	0,59-1,8 (2/3)	0,39 (1/2)	2,7-10 (2/3)	0,25 (1/2)	0,89-8,9 (2/3)	-	0,64-1,0 (2/3)	-	6,7-13 (2/2)	-	2,25-2,55 (2/2)
^{60}Co	-	4,2 (1/3)	-	0,31 (1/3)	-	0,92 (1/3)	-	2,1-4,6 (2/3)	-	2,1-4,6 (2/3)	-	1,2-4,4 (2/3)	-	0,32-2,8 (2/3)	-	0,19-1,2 (2/3)	-	0,37 (2/3)	-	1,8-3,5 (2/2)	-	4,30-5,40 (2/2)
^{110m}Ag	-	1,8 (1/3)	-	-	-	0,31 (1/3)	-	0,90-1,9 (2/3)	-	0,45-1,0 (2/3)	-	0,77 (1/3)	-	0,34 (1/3)	-	0,55 (1/3)	-	-	-	1,5-2,2 (2/2)	-	2,27-2,91 (2/2)
^{54}Mn	-	0,64 (1/3)	-	-	-	0,18 (1/3)	-	0,47 (1/3)	-	0,15-0,16 (2/3)	0,29 (1/2)	0,14-1,8 (2/3)	-	0,90 (1/3)	-	0,51 (1/3)	-	0,22-0,26 (2/3)	-	0,95-2,1 (2/2)	-	0,43-0,72 (2/2)
^{131}I	2,1 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	17 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β																						
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	340 (1/1)	397-475 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	219 (1/1)	649 (1/1)	261,3 (1/1)	1516,8 (1/1)
^{3}H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,4 (1/1)	1,4 (1/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	13 (1/1)	17 (1/1)	0,7 (1/1)	64 (1/1)	n.a.	n.a.	20 (1/1)	63 (1/1)	0,95 (1/1)	6,7 (1/1)
^{3}H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	13 (1/1)	22-24 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	11 (1/1)	43 (1/1)	4,13 (1/1)	34,1 (1/1)

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 6-19. Activités des radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les échantillons de poissons (entiers ou fractions) prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} frais ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	août 2009		juin 2010		juin 2011		oct. 2012		sept. 2013		sept. 2014		sept. 2015		sept. 2016		sept. 2017		sept. 2018		oct. 2019	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																						
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,063 (1/1)	0,087 (1/1)	0,042 (1/1)	0,072 (1/1)	0,11 (1/1)	0,063 (1/1)	0,045 (1/1)	0,037-0,062 (2/2)	0,056 (1/1)	0,023 (1/1)	0,039 (1/1)	0,046 (1/1)	0,026 (1/1)	0,030 (1/1)	0,053 (1/1)	0,030 (1/1)	0,033 (1/1)	0,035 (1/1)	0,046 (1/1)	0,020 (1/1)	-	0,075 (1/1)
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β																						
^{14}C	n.a.	n.a.	414 (1/1)	808 (1/1)	344 (1/1)	429 (1/1)	387 (1/1)	572 (1/1)	408 (1/1)	697 (1/1)	387 (1/1)	607 (1/1)	335 (1/1)	485 (1/1)	888 (1/1)	777 (1/1)	382 (1/1)	890 (1/1)	340 (1/1)	1562 (1/1)	462 (1/1)	1444 (1/1)
^{3}H libre	2,5 (1/1)	6,7 (1/1)	-	0,85 (1/1)	1,4 (1/1)	19 (1/1)	0,88 (1/1)	2,4 (1/1)	3,7 (1/1)	6,2 (1/1)	-	3,1 (1/1)	4,7 (1/1)	3,9 (1/1)	1,0 (1/1)	17 (1/1)	16 (1/1)	1,9 (1/1)	4,2 (1/1)	19 (1/1)	n.a.	n.a.
^{3}H organiquement lié	n.a.	n.a.	9,1 (1/1)	9,3 (1/1)	11 (1/1)	15 (1/1)	11 (1/1)	16 (1/1)	9,8 (1/1)	13 (1/1)	8,0 (1/1)	12 (1/1)	7,3 (1/1)	6,6 (1/1)	11 (1/1)	16 (1/1)	4,3 (1/1)	11 (1/1)	7,8 (1/1)	16 (1/1)	11 (1/1)	25 (1/1)

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 6-20. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs γ d'origine naturelle — Activité Bq.kg⁻¹ sec (sédiments, végétaux), Bq.kg⁻¹ frais (poissons)					
							^{40}K	Famille de ^{232}Th	Famille de ^{238}U			^{7}Be
								^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Nevoy Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/09/19	09/10/19	Sec	684 ± 98	63,9 ± 8,3	n.a.	63 ± 29	n.a.	16,5 ± 3,1
Benne Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/09/19	08/10/19	Sec	581 ± 84	76 ± 10	n.a.	81 ± 37	n.a.	33,6 ± 5,1
St-Père-sur-Loire Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/09/19	22/01/20	Sec	623 ± 89	75,8 ± 9,8	n.a.	86 ± 26	n.a.	21,9 ± 9,1
Gien Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	24/09/19	22/11/19	Cendres	500 ± 72	32,2 ± 4,2	18,2 ± 3,5	n.a.	52,3 ± 7,9	90 ± 10
Benne Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	24/09/19	18/10/19	Cendres	558 ± 80	25,5 ± 3,3	9,3 ± 2,5	n.a.	34,7 ± 5,5	66,9 ± 7,7
St-Père-sur-Loire Rive droite	Phanérogame semi-aquatique	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	24/09/19	04/10/19	Cendres	580 ± 83	29,2 ± 3,8	14,0 ± 3,1	n.a.	42,4 ± 6,6	94,8 ± 10,7
La Boyauterie Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	22/10/19	08/01/19	Cendres	98 ± 14	< 0,092	< 0,20	n.a.	< 0,28	< 0,45
St-Père-sur-Loire Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	22/10/19	20/01/20	Cendres	110 ± 16	< 0,087	< 0,18	n.a.	< 0,26	< 0,40

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

Tableau 6-21. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs γ d'origine artificielle — Activité Bq.kg⁻¹ sec (sédiments, végétaux), Bq.kg⁻¹ frais (poissons)						
							^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{131}I
Nevoy Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/09/19	09/10/19	Sec	< 0,24	**3,29 ± 0,41**	< 0,25	< 0,25	< 0,29	< 0,30	n.a.
Benne Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/09/19	08/10/19	Sec	< 0,32	**5,28 ± 0,66**	< 0,32	**6,3 ± 1,0**	**2,21 ± 0,35**	< 0,73	n.a.
St-Père-sur-Loire Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/09/19	22/01/20	Sec	< 0,25	**5,41 ± 0,63**	< 0,60	**3,23 ± 0,54**	**1,45 ± 0,22**	**0,57 ± 0,29**	n.a.
Gien Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	24/09/19	22/11/19	Cendres	< 0,10	**1,03 ± 0,13**	< 0,16	< 0,11	< 0,14	< 0,13	n.a.
Gien Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	24/09/19	26/09/19	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 2,1
Benne Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	24/09/19	18/10/19	Cendres	< 0,10	**0,81 ± 0,10**	**2,25 ± 0,27**	**5,40 ± 0,79**	**2,91 ± 0,34**	**0,72 ± 0,36**	n.a.
Benne Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	24/09/19	18/10/19	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 2,2
St-Père-sur-Loire Rive droite	Phanérogame semi-aquatique	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	24/09/19	04/10/19	Cendres	< 0,11	**0,95 ± 0,13**	**2,55 ± 0,30**	**4,30 ± 0,63**	**2,27 ± 0,28**	**0,43 ± 0,21**	n.a.
La Boyauterie Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	22/10/19	08/01/19	Cendres	< 0,028	< 0,024	< 0,048	< 0,030	< 0,036	< 0,027	n.a.
St-Père-sur-Loire Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	22/10/19	20/01/20	Cendres	< 0,024	**0,075 ± 0,024**	< 0,044	< 0,028	< 0,032	< 0,025	n.a.

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

Amont | Aval

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{127}I mg.kg^{-1} frais
Gien Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Entier	24/09/19	11/06/20	Lyophilisée	< 6,0
Benne Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Entier	24/09/19	11/06/20	Lyophilisée	< 5,8

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

Tableau 6-22. Teneurs en iode stable dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont | Aval | Aval lointain

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{3}H libre Bq.L^{-1}	^{3}H libre Bq.kg^{-1} frais
Gien Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Entier	24/09/19	15/02/20	Eau de lyophilisation	0,95 ± 0,45	0,84 ± 0,39
Benne Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Entier	24/09/19	20/02/20	Eau de lyophilisation	6,7 ± 1,5	5,9 ± 1,3
Ouzouer-sur-Loire Rive droite	Eau	Eau de boisson	Entier	16/07/19	05/08/19	Entier	< 0,44	-
St-Père-sur-Loire Rive droite	Eau	Eau d'irrigation	Entier	24/09/19	31/10/19	Entier	4,3 ± 1,0	-

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

Tableau 6-23. Activités du tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{3}H organiquement lié		
							Bq.L $^{-1}$ d'eau de combustion	Bq.kg $^{-1}$ frais	Bq.kg $^{-1}$ MO
Gien Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Entier	24/09/19	15/04/20	Eau de combustion	4,13 ± 0,94	0,061 ± 0,026	2,47 ± 0,66
Benne Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Entier	24/09/19	09/03/20	Eau de combustion	34,1 ± 6,9	1,80 ± 0,44	23,2 ± 5,7
La Boyauterie Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	22/10/19	19/01/20	Eau de combustion	11,2 ± 2,2	1,98 ± 0,44	8,2 ± 1,8
St-Père-sur-Loire Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	22/10/19	21/01/20	Eau de combustion	24,6 ± 4,4	3,91 ± 0,82	18,4 ± 3,9

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

Tableau 6-24. Activités du tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{14}C		C tot	^{13}C/^{12}C	PMC
							Bq.kg $^{-1}$ de C	Bq.kg $^{-1}$ frais	g.kg $^{-1}$ frais	‰	%
Gien Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Entier	24/09/19	25/03/20	Lyophilisée	261,3 ± 1,3	10,995 ± 0,055	42	-20,93	110
Benne Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Entier	24/09/19	25/03/20	Lyophilisée	1516,8 ± 8,3	56,33 ± 0,31	37	-20,12	638
La Boyauterie Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	22/10/19	21/07/20	Lyophilisée	462 ± 13	64,5 ± 1,8	140	-23,77	194
St-Père-sur-Loire Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	22/10/19	25/07/20	Lyophilisée	1444 ± 34	179,2 ± 4,2	124	-23,89	607

Tableau 6-25. Activités du ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{63}Ni Bq.kg^{-1} sec
Gien Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Entier	24/09/19	30/01/20	Eau de lyophilisation	< 0,54
Benne Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Entier	24/09/19	01/02/20	Eau de lyophilisation	< 0,42

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

Tableau 6-26. Activités du ^{63}Ni dans les végétaux prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{55}Fe Bq.kg^{-1} sec
Gien Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Entier	24/09/19	26/02/20	Eau de lyophilisation	< 2,6
Benne Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Entier	24/09/19	25/02/20	Eau de lyophilisation	< 1,5

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

Tableau 6-27. Activités du ^{55}Fe dans les végétaux prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

Station	Nature	Date de prélèvement	Analyses	%
Nevoy Rive droite	Sédiment	24/09/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	19,00
			Limons fins	14,10
			Limons grossiers	7,90
			Sables fins	21,50
			Sables grossiers	23,90
			Teneur en matières organiques	13,00
Benne Rive droite	Sédiment	24/09/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	30,00
			Limons fins	25,80
			Limons grossiers	8,90
			Sables fins	12,60
			Sables grossiers	7,60
			Teneur en matières organiques	14,10
St-Père-sur-Loire Rive droite	Sédiment	24/09/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	30,30
			Limons fins	25,50
			Limons grossiers	11,20
			Sables fins	14,10
			Sables grossiers	4,60
			Teneur en matières organiques	13,90

Tableau 6-28. Granulométrie et teneur en matières organiques des échantillons de sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2019.

Bibliographie

[1] Electricité de France. Site internet : https://www.edf.fr/centrale-nucleaire-dampierre/presentation.

[2] EDF. Rapport sur la sûreté nucléaire et la radioprotection des installations nucléaires de Dampierre-en-Burly. 2011.

[3] EDF. Dossier de presse. La centrale nucléaire de Dampierre-en-Burly, au service d'une production d'électricité sûre, compétitive et sans CO_2, au cœur de la région Centre. Mars 2011.

[4] La gazette du nucléaire n°98/99, décembre 1989. Site internet : http://www.gazettenucleaire.org.

[5] IRSN. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017. Rapport de mission 2018, 353 p., 2018.

[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. 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.

[9] Gontier G. et Siclet F. Le tritium organique dans les écosystèmes d'eau douce : évolution à long terme dans l'environnement des centres nucléaires de production d'électricité français. Radioprotection, Vol. 46, n°4, 457-491, 2011.

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

- Année 2019 -

Bassin de la Loire

Belleville-sur-Loire

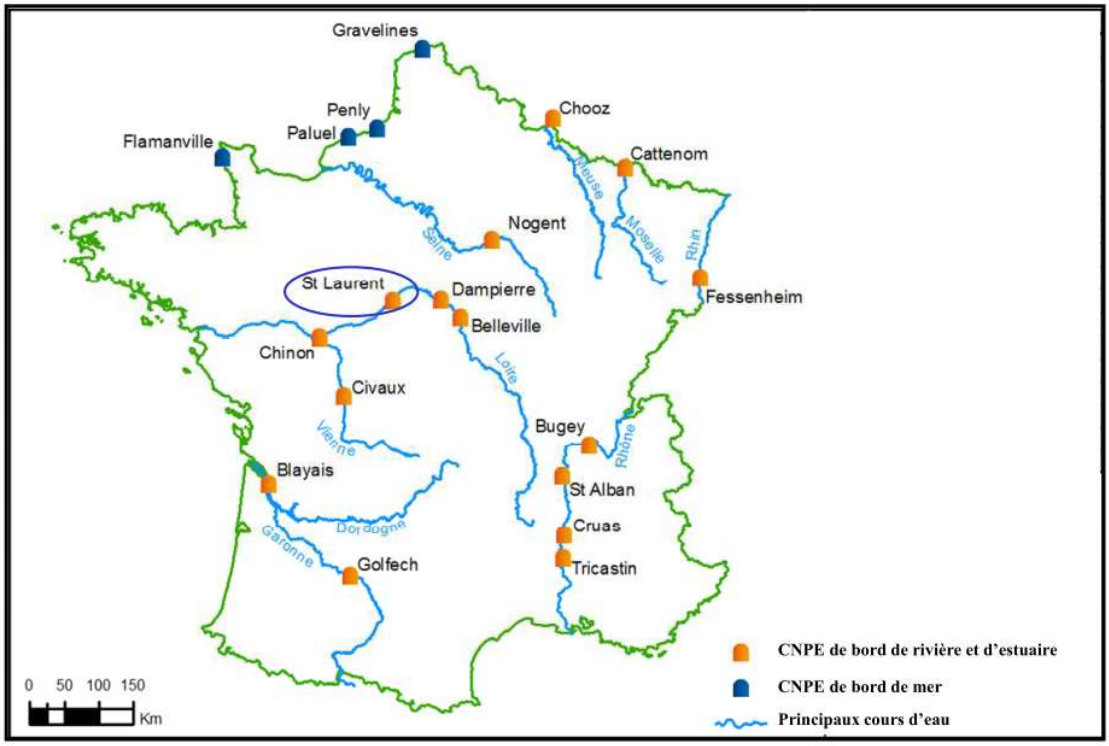
Dampierre-en-Burly

Saint-Laurent-des-Eaux

Chinon-Avoine

Civaux

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



Source : EDF/DIPDE.

7. Etat radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux 153

7.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques 153

7.2. Etat radiologique de l'environnement terrestre 155

7.2.1. Stratégie d'échantillonnage 155

7.2.2. Résultats et interprétation 158

7.2.2.1. Radionucléides émetteurs gamma 158

7.2.2.2. Radionucléides émetteurs bêta 160

7.2.2.3. Radionucléides émetteurs alpha 163

7.3. Etat radiologique de l'environnement aquatique 164

7.3.1. Stratégie d'échantillonnage 164

7.3.2. Résultats et interprétation 167

7.3.2.1. Radionucléides émetteurs gamma 167

7.3.2.2. Radionucléides émetteurs bêta 172

7.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux 176

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 2019 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.

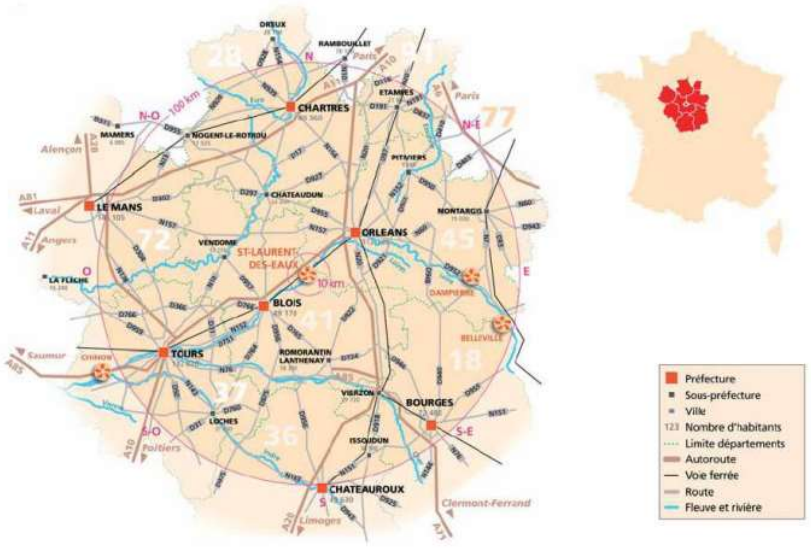
En 2019, la radioactivité artificielle détectée dans **le milieu terrestre** est due à la présence de traces de ^{137}Cs. Il provient principalement des retombées des anciens essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Les analyses de ^{14}C dans les salades et le lait prélevés dans des zones sous influence potentielle des effluents atmosphériques rejetés par le C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux montrent des activités cohérentes aux incertitudes de mesure près avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle. Les activités en ^{3}H (libre et organiquement lié) confortent les observations des années antérieures. En 2019, elles ne montrent pas de marquage lié aux rejets d'effluents tritiés du C.N.P.E. sur le milieu terrestre.

Dans **le milieu aquatique**, le ^{137}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 2019, la présence de ^{137}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}Co, de ^{60}Co, d'^{110m}Ag et de ^{54}Mn à l'amont et/ou à l'aval de l'installation. Ces observations montrent, d'une part, le marquage du milieu aquatique lié aux 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. Les analyses de ^{3}H (libre et organiquement lié) et de ^{14}C montrent des activités plus élevées que les valeurs attendues en dehors de tout apport industriel local à la fois en amont et en aval du C.N.P.E. Elles sont cohérentes avec les observations des années antérieures et elles illustrent l'influence des rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. situés sur la Loire pour les deux formes du tritium et le carbone 14.

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.

La figure 7-1 (page 154) présente la chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux depuis 1977.

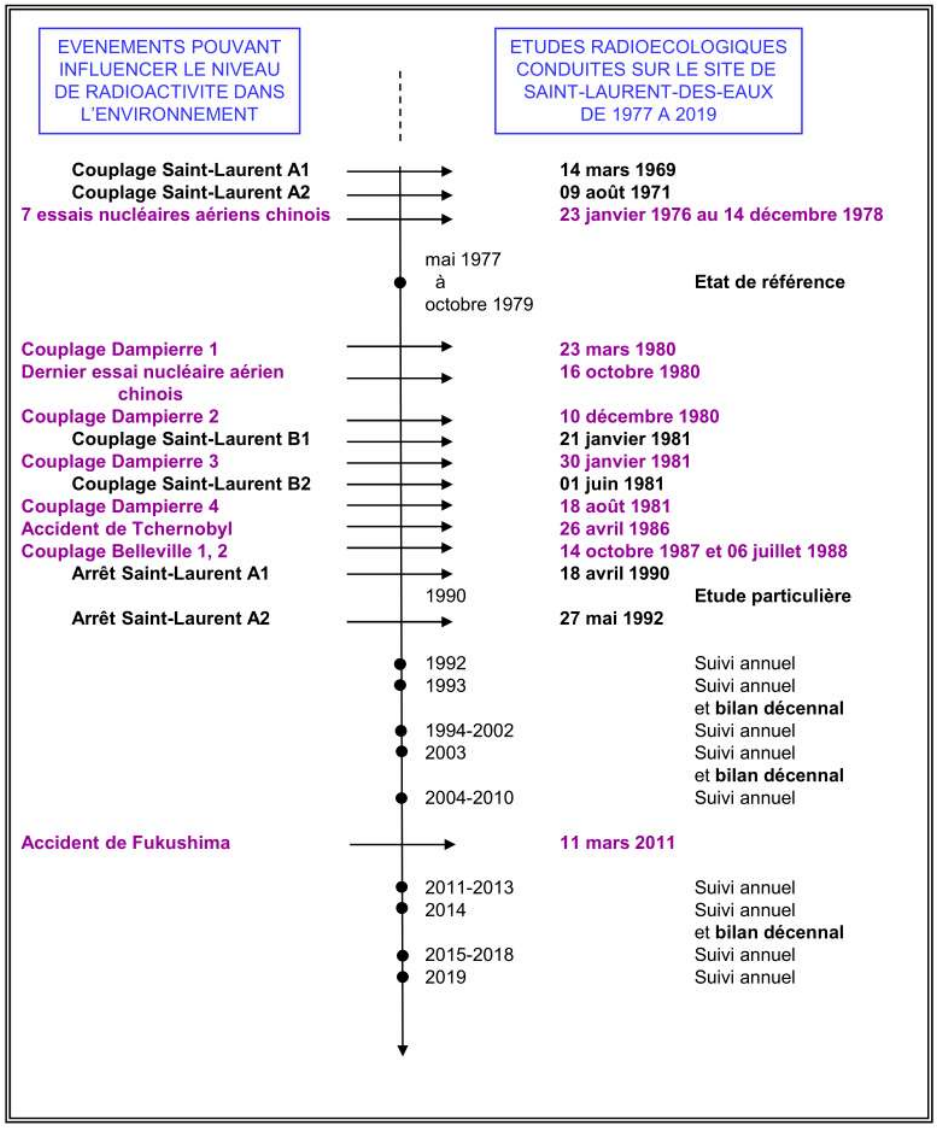


Figure 7-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux.

7.2. Etat radiologique de l'environnement terrestre

7.2.1. Stratégie d'échantillonnage

Le tableau 7-1 (page 156) 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 157) présente les stations de prélèvement et la nature des échantillons prélevés en 2019.

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 157), 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 2019, 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.

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 2019.

Hors vents | Sous les vents

Station	Situation par rapport à la centrale	Coordonnées WGS84		Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Rapport frais/sec	Rapport sec/cendres
		Latitude	Longitude							
La Ferté St-Cyr	9,1 km SE	47,66000	1,66444	Mousse terrestre	Mousse *Eurhynchium striatum*	Entier	28/05/19	Spectrométrie α	4,18	13,86
Courbouzon	1,9 km SO	47,70472	1,57083	Mousse terrestre	Mousse *Eurhynchium striatum*	Entier	27/05/19	Spectrométrie γ en frais (Iode 131) Strontium 90 Fer 55 Spectrométrie α	1,94	6,33
Mer	6,1 km SO	47,69361	1,51056	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	18/06/19	Spectrométrie γ	20,59	4,37
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	16,43	-
Courbouzon	2,0 km aval	47,70969	1,55814	Sol de production agricole	Sol de céréale *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	23/10/19	Fer 55	1,21	-
Chevemy	27,0 km SO	47,49447	1,44922	Sol non cultivé	Sol de pâturage *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	28/05/19	Spectrométrie α Granulométrie, TMO	1,33	-
Station AS1	1,7 km E	47,72667	1,60028	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	27/05/19	Spectrométrie γ Spectrométrie α Strontium 90 Fer 55 Granulométrie, TMO	1,24	-
								Chlore 36	1,18	-
Station AS1	1,7 km E	47,72667	1,60028	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	27/05/19	Spectrométrie γ	3,40	12,30
								Tritium libre Tritium organiquement lié Chlore 36	3,38	-
Muides-sur-Loire	7,6 km SO	47,66111	1,52444	Lait	Lait de vache	Entier	27/05/19	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	7,79	17,34

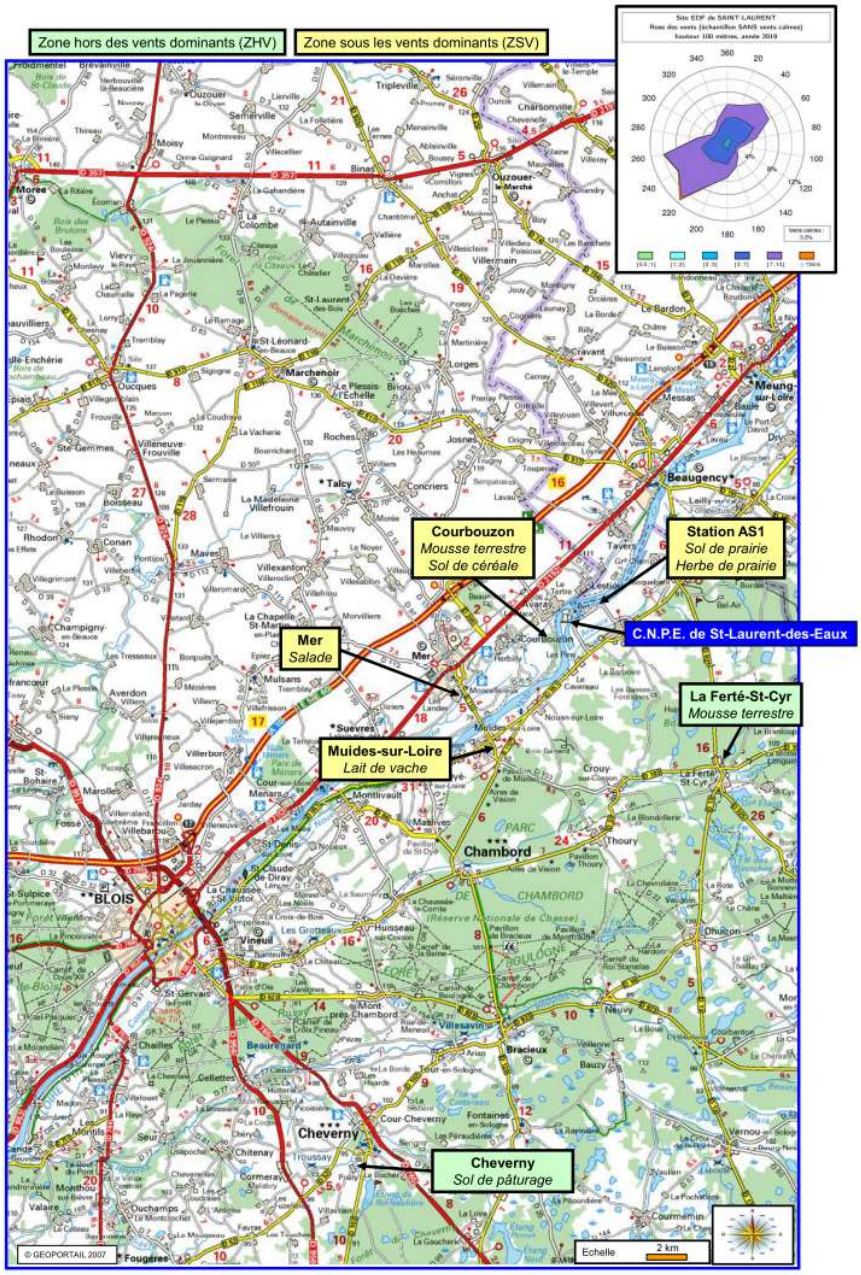


Figure 7-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux.

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 2019, 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}K dans l'ensemble des matrices, et à un degré moindre aux chaînes naturelles du ^{232}Th (^{228}Ac) et de l'^{238}U (^{234m}Pa). Les activités mesurées sont cohérentes avec le bruit de fond naturel observé en France [4].

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

Le ^{7}Be est détecté dans la mousse terrestre, les salades et l'herbe de pâturage. Naturellement produit en haute atmosphère, le ^{7}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 2019, la radioactivité d'origine artificielle est due uniquement à la présence de ^{137}Cs dans deux des cinq échantillons prélevés (Tableau 7-4, page 184). Les niveaux d'activité sont cohérents avec les observations des années antérieures. La présence de traces de ^{137}Cs est liée à la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. En 2019, 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}Cs dans l'ensemble des compartiments échantillonnés (Figure 7-3, page 159). Elle était liée aux retombées des essais aériens nucléaires. De 1992 à 1996, la présence de ^{134}Cs était liée aux retombées de l'accident de Tchernobyl. Depuis 1997, les études radioécologiques mettent en évidence la présence de ^{137}Cs dans toutes les matrices du milieu terrestre et à des niveaux d'activité comparables quelle que soit la zone de prélèvement (hors et sous les vents dominants). En 2011, la détection de ^{134}Cs et d'^{131}I était cohérente avec sa mise en évidence dans les retombées de l'accident de Fukushima en France métropolitaine [5]. Depuis 2012, ces deux radionucléides ne sont plus détectés.

Aucun autre radionucléide artificiel mesurable en spectrométrie gamma n'a été détecté en 2019, ce qui est cohérent avec les observations menées depuis 1992. Lors de l'état de référence, le ^{144}Ce-Pr et le ^{103}Ru-Rh avaient été quantifiés dans les végétaux cultivés. Leur origine provenait des essais aériens nucléaires.

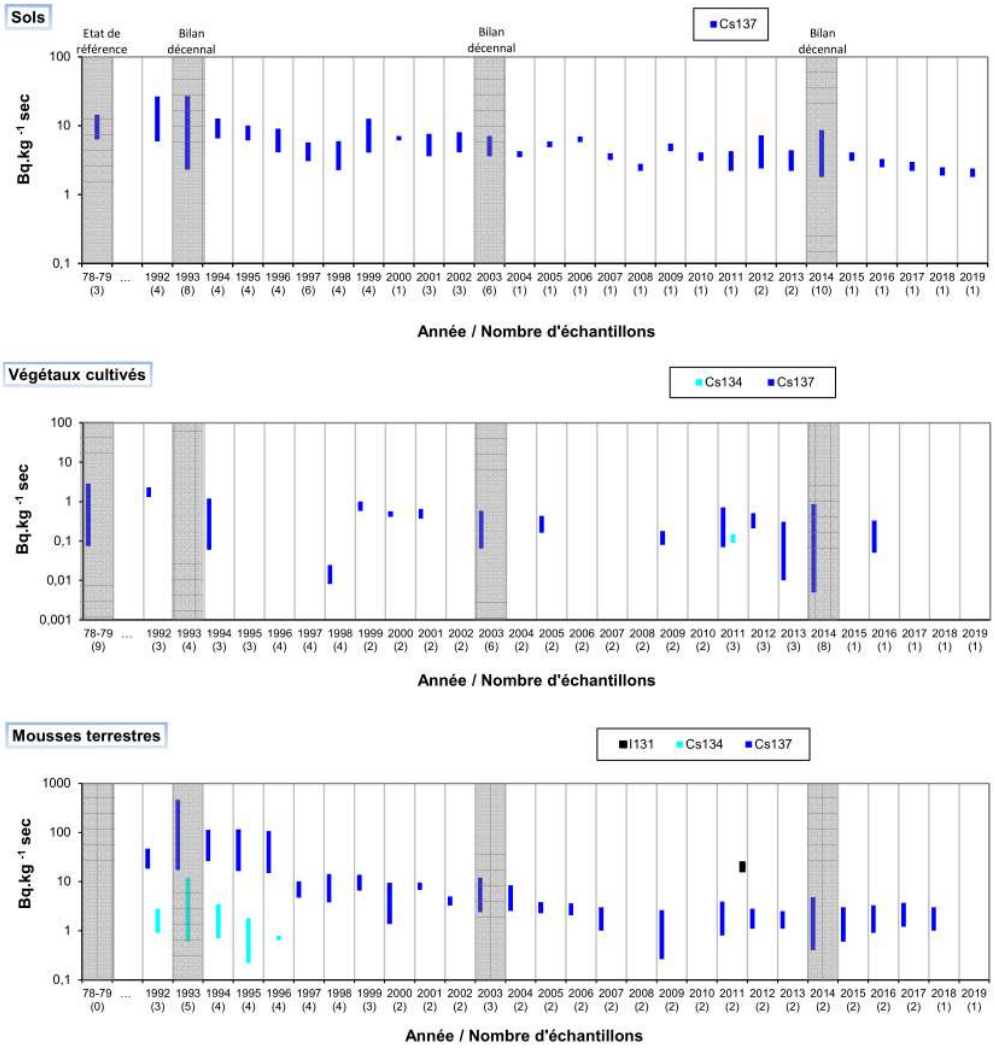


Figure 7-3. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des études menées depuis l'état de référence de 1978/1979 au suivi radioécologique de 2019.

(*) 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 2019, les activités en ^{3}H libre et organiquement lié mesurées dans les salades et le lait sont inférieures au seuil de décision et proche de 1 $Bq.L^{-1}$ dans l'herbe (Tableau 7-11 et Tableau 7-13, page 191). Elles sont conformes au bruit de fond ambiant hors influence industrielle (<3 $Bq.L^{-1}$) [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.

Ces résultats sont cohérents avec les mesures de ^{3}H libre et organiquement lié réalisées lors des études antérieures, à l'exception du prélèvement d'herbe réalisé lors du suivi radioécologique de 2017 qui montre un léger marquage en TOL lié aux rejets d'effluents atmosphériques de l'installation.

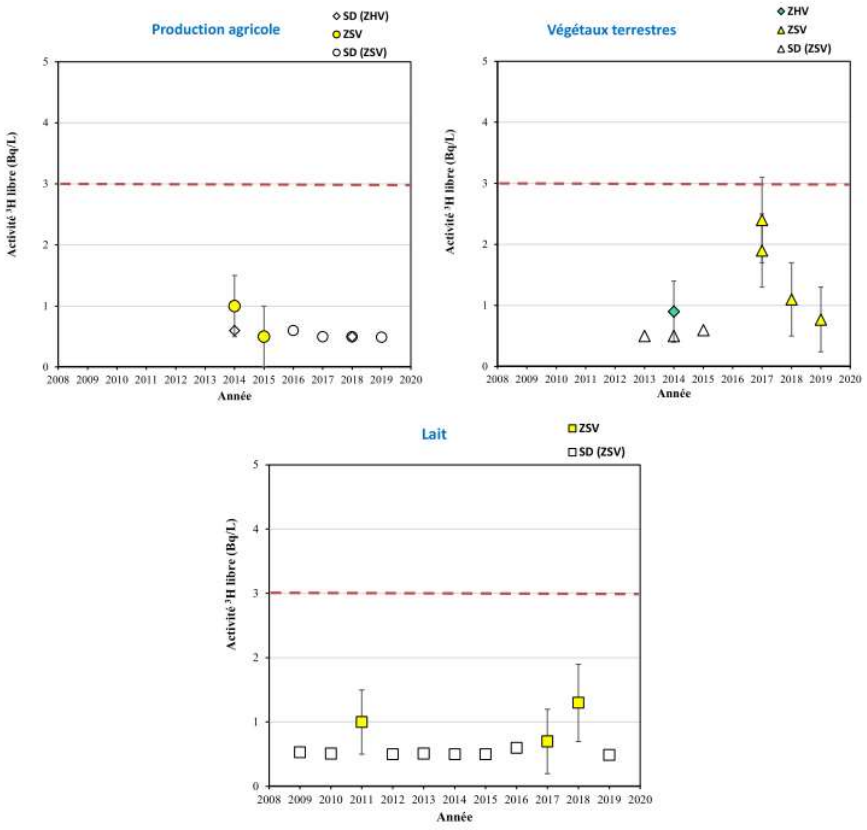


Figure 7-4. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2019.
La ligne en pointillées représente la limite du bruit de fond ambiant hors influence industrielle (<3 $Bq.L^{-1}$) [4,6].

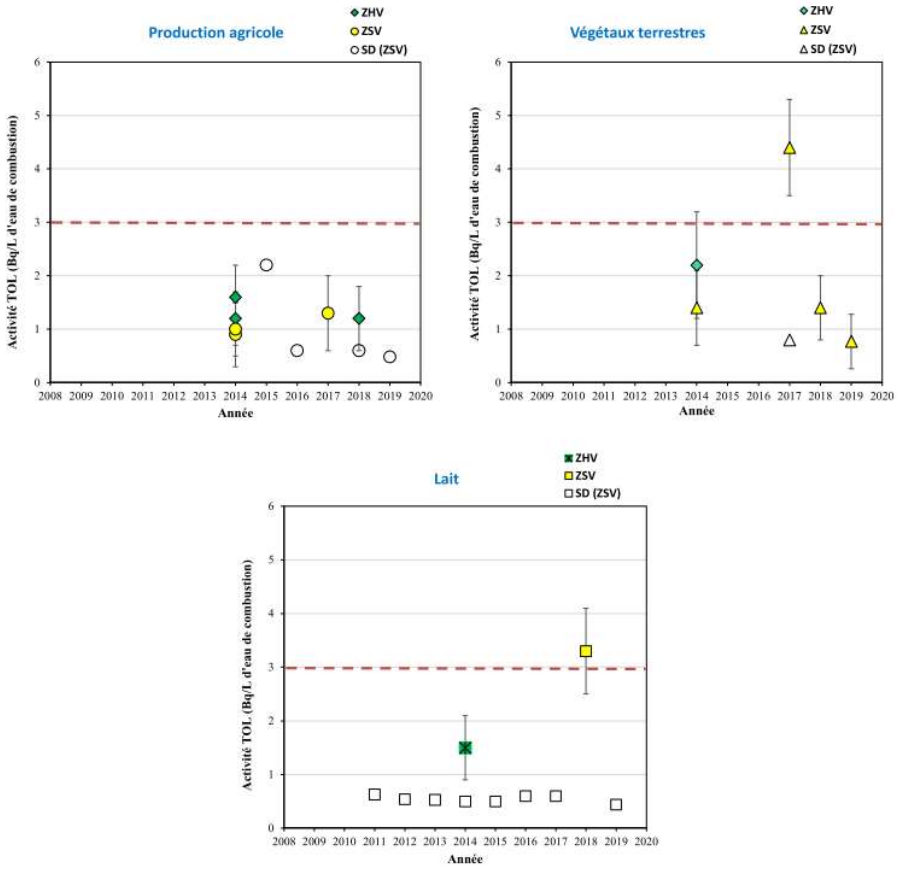


Figure 7-5. Activités en tritium organiquement lié détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2019.
La ligne en pointillées représente la limite du bruit de fond ambiant hors influence industrielle (<3 $Bq.L^{-1}$) [4,6].

7.2.2.2.2. Carbone 14

En 2019, les résultats d'analyse du ^{14}C dans les salades prélevées 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 $Bq.kg^{-1}$ de carbone en 2019 (Tableau 7-14, page 192) [4,7]. Aucune influence des rejets atmosphérique de ^{14}C n'est mise en évidence en 2019.

Ces résultats sont cohérents avec les mesures de ^{14}C réalisées lors des études antérieures, à l'exception du prélèvement d'herbe réalisé lors du suivi radiologique de 2012 qui témoignait d'un marquage en ^{14}C lié aux rejets d'effluents atmosphériques de l'installation. Ce marquage ponctuel a également été observé sur le prélèvement trimestriel de lierre réalisé en octobre 2018 à proximité du C.N.P.E.

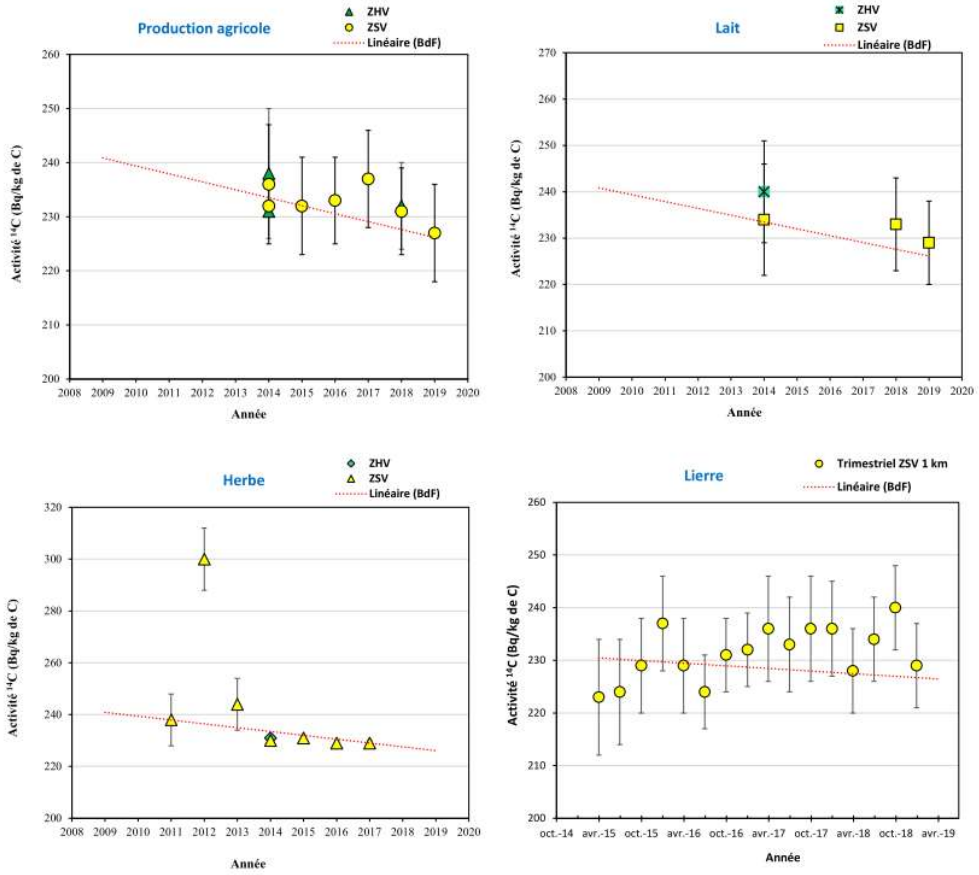


Figure 7-6. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2019.

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 2019, les résultats d'analyse du ^{90}Sr dans la mousse terrestre (2,70±0,53 $Bq.kg^{-1}$ sec) et le sol de prairie (0,56±0,16 $Bq.kg^{-1}$ 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 7-15, page 193) [8].

7.2.2.2.4. Fer 55

Les résultats de ^{55}Fe sont inférieurs aux seuils de décision (mousse terrestre : <2,4 $Bq.kg^{-1}$ sec ; sol non cultivé : <8,2 $Bq.kg^{-1}$ sec ; sol cultivé : <5,7 $Bq.kg^{-1}$ sec) (Tableau 7-16, page 193).

7.2.2.2.5. Chlore 36

Les résultats de ^{36}Cl sont inférieurs aux seuils de décision (sol non cultivé : <1,7 $Bq.kg^{-1}$ sec ; herbe : <5,4 $Bq.kg^{-1}$ sec) (Tableau 7-17, page 194).

7.2.2.3. Radionucléides émetteurs alpha

Le $^{239+240}Pu$ et l'^{241}Am sont systématiquement détectés dans les mousses terrestres et les sols (Tableau 7-18, page 194). En revanche, le ^{238}Pu n'est détecté que dans le sol de pâturage prélevé à Cheverny. Les rapports d'activités $^{238}Pu/^{239+240}Pu$ et $^{241}Am/^{239+240}Pu$, 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 (retraitement du combustible) [9]. Les rapports $^{238}Pu/^{239+240}Pu$ et $^{241}Am/^{239+240}Pu$ déterminés en 2019 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 1994, 2003 et 2014.

7.3. Etat radiologique de l'environnement aquatique

7.3.1. Stratégie d'échantillonnage

Le Tableau 7-2 (page 165) 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 166) présente les stations de prélèvement et la nature des échantillons prélevés en 2019.

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, de préférence dans la zone de dilution complète. 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. 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. 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 2019, le plan d'échantillonnage intègre une eau d'irrigation prélevée à l'aval du C.N.P.E. Le prélèvement a été réalisé sur la commune de Courbouzon.

Deux prélèvements d'eaux de fleuve sont également réalisés (Tavers et Le Cavereau) dans le cadre des mesures quinquennales.

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

Tous les échantillons prélevés sont traités et conservés au laboratoire.

Amont | Aval | Aval lointain

Station	Situation par rapport à la centrale	Coordonnées WGS84		Nature	Espèce	Fraction	Prélèvement	Type de mesure	Rapport frais/sec	Rapport sec/cendres
		Latitude	Longitude							
Tavers Rive droite	4,2 km amont	47,74333	1,61944	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	25/09/19	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium organiquement lié Nickel 63 Fer 55 Granulométrie, TMO	2,77	-
Pont de Muides Rive gauche	6,5 km aval	47,67361	1,52667	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	25/09/19	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium organiquement lié Nickel 63 Fer 55 Granulométrie, TMO	2,47	-
Ménars Rive gauche	17,3 km aval lointain	47,62333	1,39806	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	2,12	-
Beaugency Rive droite	6,7 km amont	47,76944	1,63111	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Entier	25/09/19	Spectrométrie γ en frais (Iode 131) Spectrométrie γ Spectrométrie α Nickel 63 Fer 55	8,19	3,75
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	9,90	-
Pont de Muides Rive gauche	6,5 km aval	47,67361	1,52667	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Entier	25/09/19	Spectrométrie γ en frais (Iode 131) Spectrométrie γ Spectrométrie α Nickel 63 Fer 55	7,38	2,76
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	7,21	-
Ménars Rive gauche	17,3 km aval lointain	47,62333	1,39806	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Entier	26/09/19	Spectrométrie γ	8,98	2,42
Tavers Rives gauche et droite	4,2 km amont	47,74333	1,61944	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	23/10/19	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	3,88	13,02
Pont de Muides Rives gauche et droite	6,5 km aval	47,67361	1,52667	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	24/10/19	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	3,98	9,59
Muides-sur-Loire	7,1 km aval	47,66917	1,52306	Eau	Eau de boisson	Entier	28/05/19	Tritium libre	-	-
Blois	23,3 km aval	47,58861	1,33694	Eau	Eau de boisson	Entier	27/05/19	Tritium libre	-	-
Courbouzon	2,0 km aval	47,70969	1,55814	Eau	Eau d'irrigation	Entier	23/10/19	Tritium libre	-	-
Tavers Rive droite	4,2 km amont	47,74333	1,61944	Eau	Eau de fleuve	Entier	25/09/19	Tritium libre Carbone 14	-	-
Le Cavereau Rive gauche	3,2 km aval	47,70056	1,57944	Eau	Eau de fleuve	Entier	27/09/19	Tritium libre Carbone 14	-	-

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 2019.

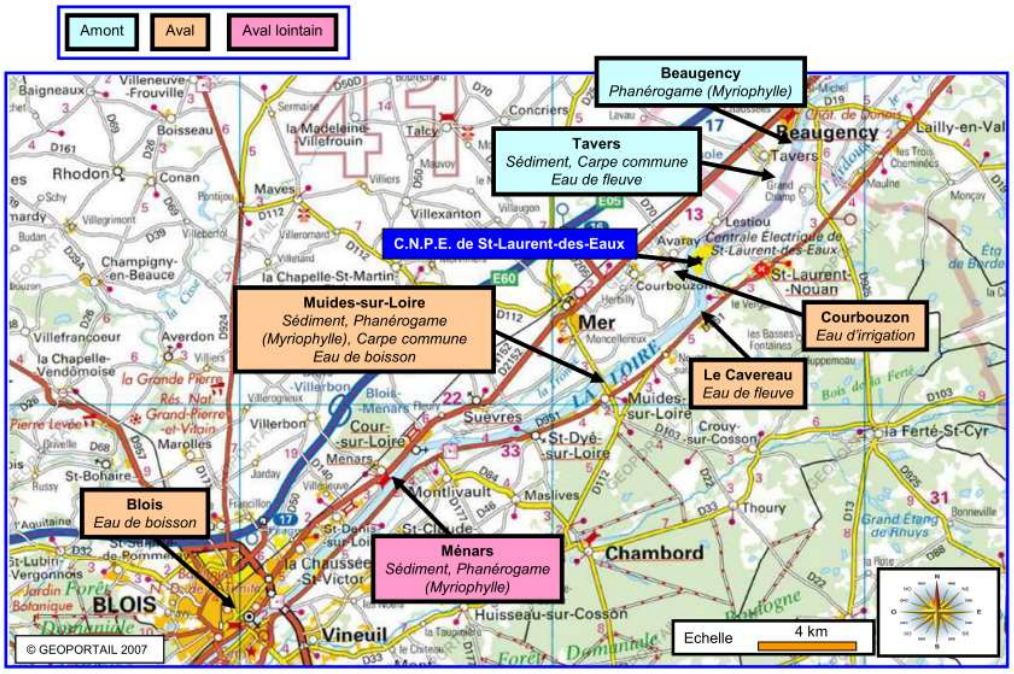


Figure 7-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux.

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 2019, 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}K et à un degré moindre aux chaînes naturelles du ^{232}Th et de l'^{238}U. Les activités mesurées sont cohérentes avec le bruit de fond naturel observé en France [4].

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

D'origine cosmique, le ^{7}Be est systématiquement détecté dans les végétaux. Dans les sédiments, il n'est mesuré que dans le prélèvement réalisé à l'aval.

7.3.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

La radioactivité artificielle se caractérise en 2019 par la détection de traces de ^{137}Cs, de ^{58}Co, de ^{60}Co, d'^{110m}Ag et de ^{54}Mn dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux (Tableau 7-23, page 202).

En 2019, le ^{137}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}Cs résulte de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl ainsi que probablement des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. En 2019, la radioactivité artificielle est également caractérisée par la détection de traces de ^{60}Co dans tous les sédiments et les phanérogames immergées (myriophylles), de ^{58}Co dans les myriophylles prélevés à l'amont et à l'aval, d'^{110m}Ag dans le sédiment prélevé à l'aval et dans toutes les myriophylles ainsi que de ^{54}Mn dans les myriophylles prélevés à l'amont. La détection de traces de ^{58}Co et de ^{54}Mn 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. Ce marquage est lié aux 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. Dans les sédiments et les phanérogames immergées (myriophylles), l'augmentation des activités du ^{60}Co et d'^{110m}Ag constatée en aval de l'installation témoigne en revanche de l'influence des rejets d'effluents liquides de l'installation.

Lors de l'état de référence, plusieurs radionucléides d'origine artificielle ont été détectés dans le milieu aquatique, ^{137}Cs, ^{144}Ce-Pr, ^{95}Nb, ^{95}Zr, ^{65}Zn, ^{125}Sb, ^{106}Ru-Rh, liés aux retombées des essais aériens nucléaires et, ^{60}Co et ^{54}Mn, dus à l'influence des rejets d'effluents de Saint-Laurent-des-Eaux A (Figure 7-8, page 169, Figure 7-9, page 170, et Figure 7-10, page 171). 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 du ^{137}Cs à l'aval et par la détection régulière de ^{60}Co et de façon plus sporadique de ^{134}Cs, de ^{58}Co et d'^{110m}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}Cs/^{134}Cs inférieurs au rapport caractéristique des retombées de l'accident de Tchernobyl démontrait l'existence d'un marquage, en amont du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux, dû aux rejets d'effluents des C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire et de Dampierre-en-Burly. Cette influence des C.N.P.E. situés en amont sur la Loire est régulièrement mise en évidence par la détection de ^{134}Cs, de ^{60}Co, d'^{110m}Ag et/ou de ^{54}Mn. En 2011, la spectrométrie gamma mettait également en évidence la présence de ^{134}Cs dans le sédiment prélevé à Tavers (amont) liée aux retombées de l'accident de Fukushima.

En 2019, les analyses d'^{131}I, dans les végétaux aquatiques immergés, montrent des activités inférieures aux seuils de décision. Depuis 1997, les activités de l'^{131}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.

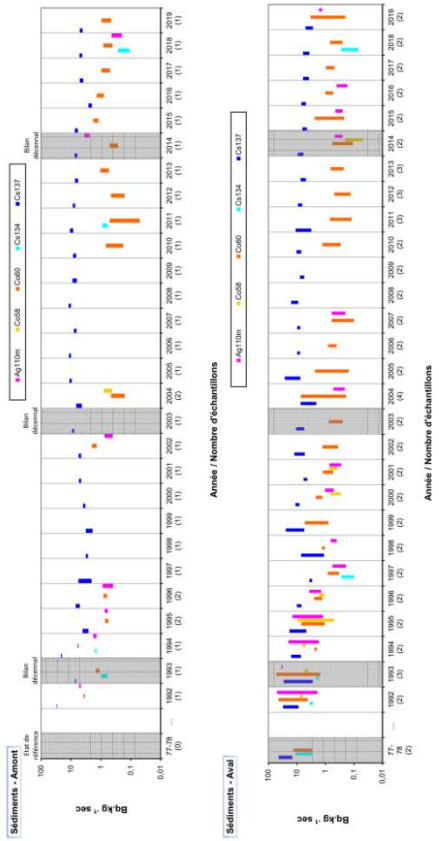


Figure 7-8. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des études menées depuis l'état de référencede 1977/1978 au suivi radioécologique de 2019.
(*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

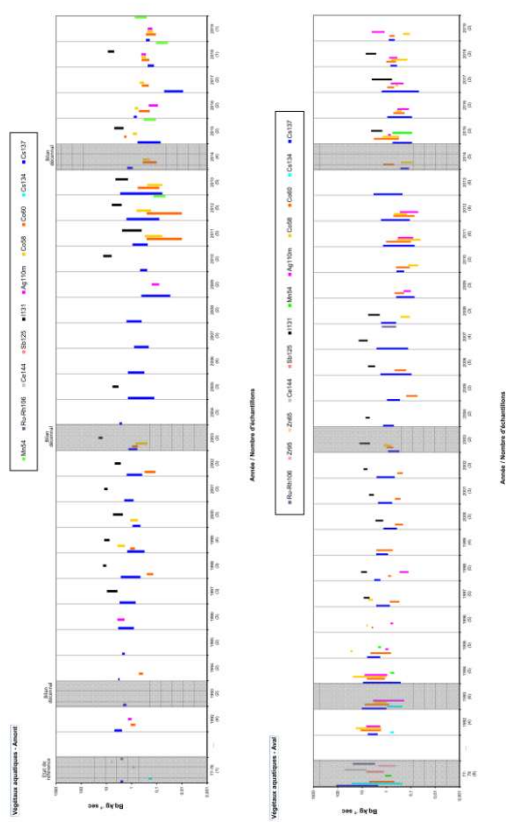


Figure 7-9. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les phanérogames semi-aquatiques et immergées (toutes fractions confondues) prélevées dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi radioécologique de 2019.
(*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

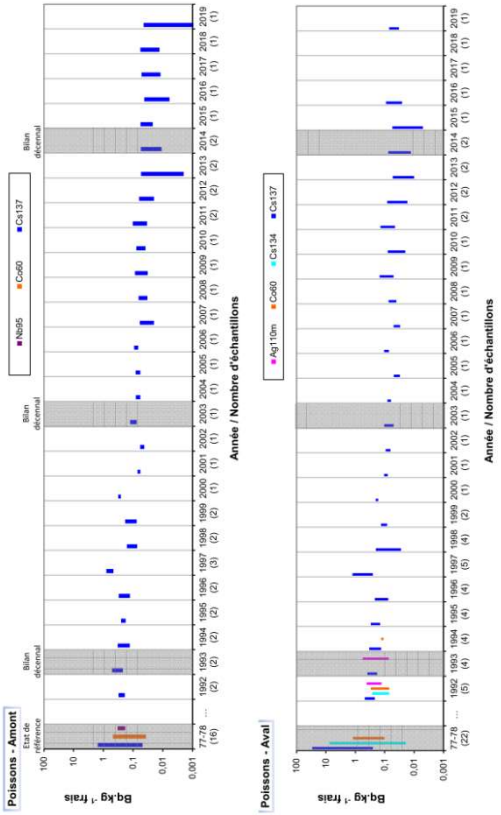


Figure 7-10. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi radioécologique de 2019.
(*) 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 2019, les activités volumiques du ^{3}H libre mesurées dans les phanérogames immergées, les poissons et les eaux de fleuve varient de 21,9 à 31,7 $Bq.L^{-1}$ (Tableau 7-27, page 203). 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. Ce marquage à l'amont masque une éventuelle contribution des rejets d'effluents du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux pour ce radionucléide. La détection de ^{3}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}H au sein de ces milieux récepteurs [10]. En 2019, les activités sont cohérentes avec les données obtenues dans le cadre des études radioécologiques antérieures.

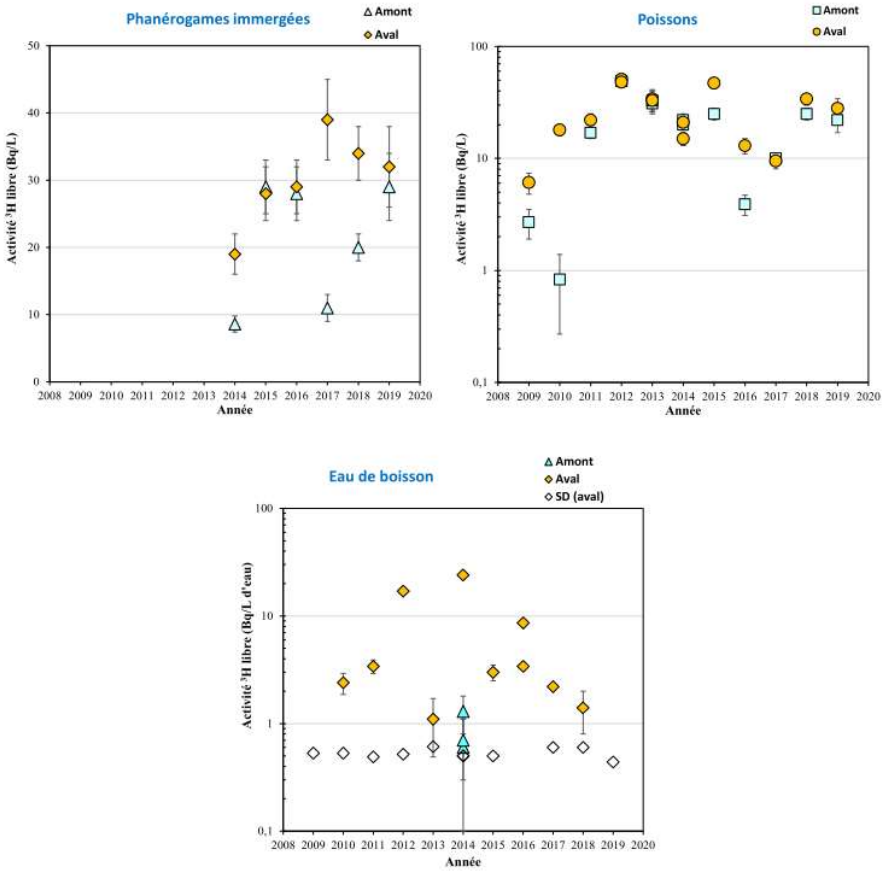


Figure 7-11. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2019.

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

En 2019, les activités du ^{3}H organiquement lié dans les sédiments, les phanérogames immergées (myriophylles) et les poissons varient de 1,31 à 30,7 $Bq.L^{-1}$ d'eau de combustion (Tableau 7-28, page 204). 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 sédiments et les myriophylles prélevées à l'aval est liée aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux.

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

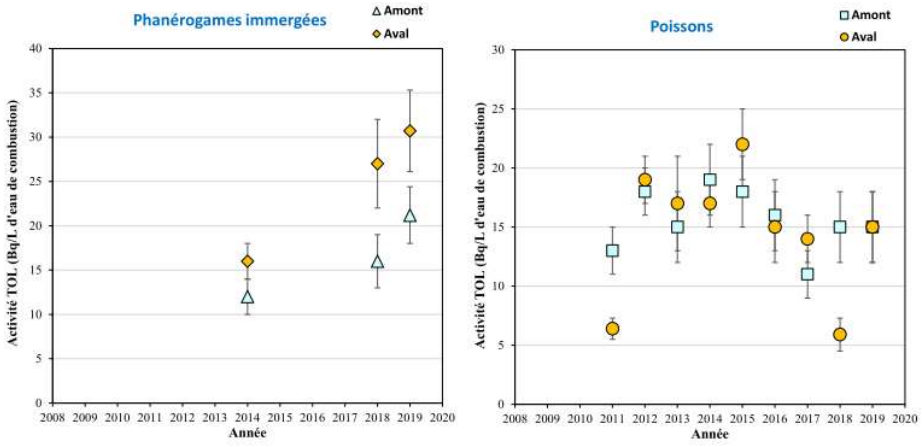


Figure 7-12. Activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2019.

7.3.2.2.2. Carbone 14

Les résultats sont présentés dans le Tableau 7-29 (page 205). En 2019, les activités en ^{14}C mesurées dans les échantillons prélevés dans le milieu aquatique sont supérieures au valeur du bruit de fond ambiant hors influence industrielle (entre 200-220 $Bq.kg^{-1}$ 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 293,0±1,2 $Bq.kg^{-1}$ de C (dans les sédiments) à 623±16 $Bq.kg^{-1}$ 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 toutes les matrices (sédiments : 422,2±1,7 $Bq.kg^{-1}$ de C ; myriophylles : 709,2±3,3 $Bq.kg^{-1}$ de C ; poissons : 770±20 $Bq.kg^{-1}$ de C).

Ces observations sont cohérentes avec les données des années antérieures qui mettent en évidence, d'une part, le marquage en ^{14}C de l'environnement aquatique lié aux rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly et de Belleville-sur-Loire situés en amont sur la Loire et, d'autre part, la contribution spécifique des rejets de ^{14}C du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux.

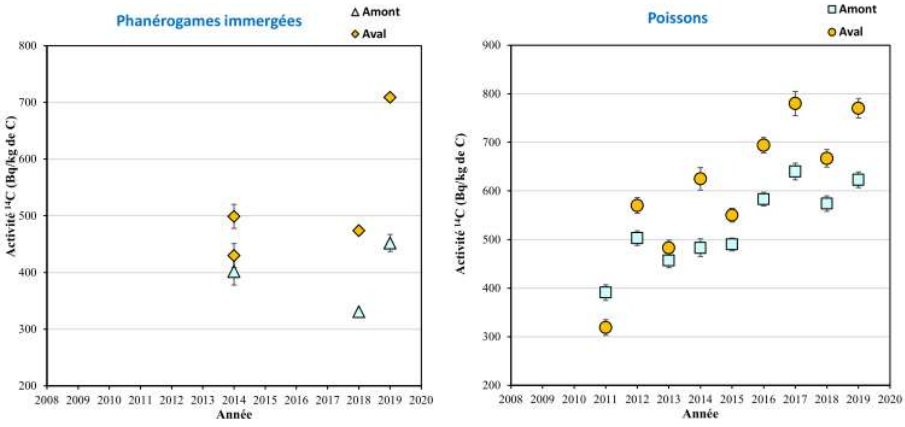


Figure 7-13. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2019.

7.3.2.2.3. Nickel 63 et Fer 55

En 2019, les analyses de ^{63}Ni et de ^{55}Fe montrent des activités inférieures aux seuils de décision pour les sédiments et les myriophylles (Tableau 7-30 et Tableau 7-31, pages 206 et 206).

7.3.2.3. Radionucléides émetteurs alpha

Le $^{239+240}$Pu et l'^{241}Am sont détectés à l'amont et l'aval du C.N.P.E. (Tableau 7-29, page 206). En revanche, le ^{238}Pu n'est pas détecté dans les myriophylles. Les rapports d'activités ^{238}Pu/$^{239+240}$Pu et ^{241}Am/$^{239+240}$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 (retraitement du combustible) [9]. Le rapport ^{241}Am/$^{239+240}$Pu déterminé en 2019 pour les échantillons prélevés à l'amont (0,42±0,41) est caractéristique aux incertitudes de mesure près de l'unique influence des retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens. Ce rapport est moins élevé que la valeur attendue pour les échantillons prélevés à l'aval du C.N.P.E (0,15±0,13), cela peut s'expliquer par les caractéristiques de transfert différentes dans l'environnement entre américium et plutonium [9].

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 2019 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 2019, la radioactivité artificielle détectée dans **le milieu terrestre** est due à la présence de traces de ^{137}Cs. Il provient principalement des retombées des anciens essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Les analyses de ^{14}C dans les salades et le lait prélevés dans des zones sous influence potentielle des effluents atmosphériques rejetés par le C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux montrent des activités cohérentes aux incertitudes de mesure près avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle. Les activités en ^{3}H (libre et organiquement lié) confortent les observations des années antérieures. En 2019, elles ne montrent pas de marquage lié aux rejets d'effluents tritiés du C.N.P.E. sur le milieu terrestre.

Dans **le milieu aquatique**, le ^{137}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 2019, la présence de ^{137}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}Co, de ^{60}Co, d'^{110m}Ag et de ^{54}Mn à l'amont et/ou à l'aval de l'installation. Ces observations montrent, d'une part, le marquage du milieu aquatique lié aux 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. Les analyses de ^{3}H (libre et organiquement lié) et de ^{14}C montrent des activités plus élevées que les valeurs attendues en dehors de tout apport industriel local à la fois en amont et en aval du C.N.P.E. Elles sont cohérentes avec les observations des années antérieures et elles illustrent l'influence des rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. situés sur la Loire pour les deux formes du tritium et le carbone 14.

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. 154

Figure 7-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux. 157

Figure 7-3. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du 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 2019. 159

Figure 7-4. Activités en tritium libre détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2019. 160

Figure 7-4. 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 2019. 161

Figure 7-5. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2019. 162

Figure 7-6. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux. 166

Figure 7-7. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ 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 référencede 1977/1978 au suivi radioécologique de 2019. 169

Figure 7-8. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les phanérogames semi-aquatiques et immergées (toutes fractions confondues) prélevées dans l'environnement aquatique du 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 2019. 170

Figure 7-9. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ 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 2019. 171

Figure 7-10. Activités en tritium libre détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2019. 172

Figure 7-11. Teneurs en tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2019. 173

Figure 7-12. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2019. 174

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 2019. 156

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 2019. 165

Tableau 7-3. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ dans les sols prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 ($Bq.kg^{-1}$ sec). 183

Tableau 7-4. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ dans les mousses prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 ($Bq.kg^{-1}$ sec). 184

Tableau 7-5. Activités du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les lierres trimestriels prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2015 à 2019 (^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$). 185

Tableau 7-6. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les salades prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ sec ; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone ; ^{3}H :$Bq.L^{-1}$)..... 186

Tableau 7-7. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}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 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ sec ; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$)..... 187

Tableau 7-8. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}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 2009 à 2019 (spectrométrie γ et ^{3}H : $Bq.L^{-1}$; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone)..... 188

Tableau 7-9. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2019. 189

Tableau 7-10. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2019. 190

Tableau 7-11. Teneur en iode stable des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2019. 191

Tableau 7-11. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2019..... 191

Tableau 7-12. Activité du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2019. 192

Tableau 7-13. Activité du ^{14}C des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2019..... 192

Tableau 7-14. Activité du ^{90}Sr des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2019..... 193

Tableau 7-15. Activité du ^{55}Fe des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2019..... 193

Tableau 7-15. Activité du ^{36}Cl des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2019..... 194

Tableau 7-16. 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 2019. 194

Tableau 7-17. 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 2019. 195

Tableau 7-18. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ et du ^{3}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 2009 à 2019 ($Bq.L^{-1}$). 197

Tableau 7-19. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ, du ^{14}C et du ^{3}H organiquement lié dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2019 (spectrométrie γ et ^{3}H : $Bq.kg^{-1}$ sec ; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone)..... 198

Tableau 7-20. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les végétaux aquatiques prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ sec ; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$). 199

Tableau 7-21. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}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 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ frais ; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$)..... 200

Tableau 7-22. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2019..... 201

Tableau 7-23. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2019..... 202

Tableau 7-24. Teneur en iode stable dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2019..... 203

Tableau 7-24. Activités du tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2019. 203

Tableau 7-25. 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 2019. 204

Tableau 7-26. Activités du ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2019..... 205

Tableau 7-27. Activités du ^{63}Ni dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2019. 206

Tableau 7-28. Activités du ^{55}Fe dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2019. 206

Tableau 7-29. 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 2019. 207

Tableau 7-30. 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 2019. 207

Tableau 7-3. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ dans les sols prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 (Bq.kg^{-1} sec).

Année de prélèvement	mai 2009	juin 2010	mai/oct. 2011	avril 2012	avril 2013	avril/juil. 2014	juin 2015	mai 2016	juin 2017	avril 2018	mai 2019
Distance par rapport au site	7,6 km	7,6 km	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
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	4,9 (1/1)	3,6 (1/1)	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)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 7-4. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ dans les mousses prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 (Bq.kg^{-1} sec).

Année de prélèvement	avril 2009	avril 2010	avril 2011	avril 2012	avril 2013	avril/oct. 2014		juin 2015	mai 2016	juin 2017	avril 2018	mai 2019
Distance par rapport au site	1 et 9,1 km	1 et 9,1 km	1 et 9,1 km	1 et 9,1 km	1 et 9,1 km	1,9 et 9,1 km	8,2 km	1,9 et 9,1 km	1,9 et 9,1 km	1,9 et 9,1 km	1,9 km	1 km
Nature	mousse	mousse	mousse	mousse	mousse	mousse	champignon	mousse	mousse	mousse	mousse	mousse
Emetteurs γ d'origine artificielle												
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,75-1,8 (2/2)	-	1,7-2,4 (2/2)	1,5-2,0 (2/2)	1,8 (1/2)	1,2-4,0 (2/2)	38 (1/1)	1,3-2,3 (2/2)	2,1 (1/2)	1,9-2,9 (2/2)	2 (1/1)	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{131}I	-	-	19-22 (2/2)	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	-

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 7-5. Activités du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les lierres trimestriels prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2015 à 2019 (^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

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	janv. 2018	avril 2018	juil. 2018	oct. 2018	janv. 2019
Distance par rapport au site	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km
Emetteurs β																	
^{14}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)	236 (1/1)	228 (1/1)	234 (1/1)	240 (1/1)	229 (1/1)
^{3}H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,3 (1/1)	n.a.
^{3}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 ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 7-6. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les salades prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H :Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	sept. 2009	août 2010	juil. 2011	sept. 2012	juil. 2013	sept. 2014	août 2015	juil. 2016	juin 2017	oct. 2018	juin 2019
Distance par rapport au site	6,1 km	6,1 km	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
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	-	-	0,28-0,54 (2/2)	0,36 (1/2)	0,16 (1/2)	0,25-0,70 (2/2)	-	0,19 (1/1)	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β											
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	232 (1/1)	233 (1/1)	237 (1/1)	237 (1/1)	227,0 (1/1)
^{3}H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,5 (1/1)	-	-	0,8 (1/1)	-
^{3}H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	1,3 (1/1)	-	-

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 7-7. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}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 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ sec ; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$).

Année de prélèvement	mai 2009	juin 2010	mai 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	juin 2015	mai 2016	juin 2017	avr 2018	mai 2019
Distance par rapport au site	7,6 km	7,6 km	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
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	0,12 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,13 (1/1)	-	0,12 (1/1)	-	-	0,072 (1/2)	0,078 (1/1)	0,11 (1/1)	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β											
^{14}C	n.a.	n.a.	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.
^{3}H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,9 (1/2)	-	-	1,9 (1/1)	n.a.	0,77 (1/1)
^{3}H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	4,4 (1/1)	n.a.	0,77 (1/1)

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 7-8. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}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 2009 à 2019 (spectrométrie γ et ^{3}H : $Bq.L^{-1}$; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone).

Année de prélèvement	mai 2009	juin 2010	mai 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	juin 2015	mai 2016	juin 2017	avril 2018	mai 2019
Distance par rapport au site	7,6 km	7,6 km	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
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,023 (1/1)	0,019 (1/1)	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)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β											
^{14}C	n.a.	n.a.	-	-	-	234-240 (2/2)	-	-	-	231 (1/1)	229,0 (1/1)
^{3}H libre	-	-	1,0 (1/1)	-	-	-	-	-	0,7 (1/1)	-	-
^{3}H organiquement lié	n.a.	n.a.	-	-	-	1,5 (1/1)	-	-	-	3,8 (1/1)	-

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 7-9. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2019.

Sous les vents

							Emetteurs γ d'origine naturelle					
							Activité Bq.kg^{-1} sec (sols, végétaux), Bq.L^{-1} (lait)					
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{40}K	Famille de ^{232}Th	Famille de ^{238}U			^{7}Be
								^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Courbouzon	Mousse terrestre	Mousse *Eurhynchium striatum*	Entier	27/05/19	28/05/19	Frais	287 ± 44	8,7 ± 3,0	< 9,4	n.a.	138 ± 26	415 ± 48
Mer	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	18/06/19	28/06/19	Cendres	2429 ± 347	< 0,57	< 1,4	n.a.	14 ± 3	199 ± 22
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	27/05/19	20/06/19	Sec	906 ± 130	70,4 ± 9,1	n.a.	74 ± 22	n.a.	< 1,9
Station AS1	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	27/05/19	30/07/19	Cendres	578 ± 82	0,37 ± 0,13	< 0,36	n.a.	6,5 ± 1,2	56,4 ± 6,3
Muides-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	27/05/19	28/06/19	Cendres	47,9 ± 6,9	< 0,014	< 0,035	n.a.	< 0,060	< 0,04

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

Tableau 7-10. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2019.

Sous les vents

							Emetteurs γ d'origine artificielle						
							Activité Bq.kg^{-1} sec (sols, végétaux), Bq.L^{-1} (lait)						
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{131}I
Courbouzon	Mousse terrestre	Mousse *Eurhynchium striatum*	Entier	27/05/19	28/05/19	Frais	< 0,71	< 0,69	< 0,56	< 0,67	< 0,78	< 0,56	< 0,66
Mer	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	18/06/19	28/06/19	Cendres	< 0,12	< 0,12	< 0,14	< 0,17	< 0,14	< 0,13	n.a.
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	27/05/19	20/06/19	Sec	< 0,17	**2,07 ± 0,27**	< 0,19	< 0,17	< 0,21	< 0,20	n.a.
Station AS1	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	27/05/19	30/07/19	Cendres	< 0,024	< 0,026	< 0,030	< 0,034	< 0,031	< 0,026	n.a.
Muides-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	27/05/19	28/06/19	Cendres	< 0,0033	**0,0155 ± 0,0040**	< 0,0046	< 0,0044	< 0,0042	< 0,0036	n.a.

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

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{127}I mg.kg^{-1} frais
Courbouzon	Mousse terrestre	Mousse *Eurhynchium striatum*	Entier	27/05/19	22/10/19	sec	< 26

Tableau 7-11. Teneur en iode stable des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2019.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{3}H libre Bq.L^{-1}	^{3}H libre Bq.kg^{-1} frais (végétaux) Bq.L^{-1} de lait
Mer	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	18/06/19	27/07/19	Eau de lyophilisation	< 0,49	< 0,46
Station AS1	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	27/05/19	28/07/19	Eau de lyophilisation	0,77 ± 0,53	0,54 ± 0,37
Muides-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	27/05/19	28/06/19	Eau de lyophilisation	< 0,49	< 0,42

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

Tableau 7-12. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2019.

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L $^{-1}$ d'eau de combustion	Bq.kg $^{-1}$ frais (végétaux) Bq.L $^{-1}$ de lait	Bq.kg $^{-1}$ MO
Mer	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	18/06/19	29/09/19	Lyophilisée	< 0,48	< 0,016	< 0,30
Station AS1	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	27/05/19	01/07/19	Lyophilisée	0,77 ± 0,51	0,128 ± 0,085	0,46 ± 0,31
Muides-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	27/05/19	28/06/19	Lyophilisée	< 0,44	< 0,041	< 0,34

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

Tableau 7-13. Activité du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2019.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{14}C		C tot	^{13}C/^{12}C	PMC
							Bq.kg $^{-1}$ de C	Bq.kg $^{-1}$ frais (végétaux) Bq.L $^{-1}$ de lait	g.kg $^{-1}$ frais (végétaux) g.L $^{-1}$ de lait	‰	%
Mer	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	18/06/19	30/10/19	Lyophilisé	227,0 ± 9,0	5,55 ± 0,22	24	-29,72	101
Muides-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	27/05/19	02/10/19	Lyophilisé	229,0 ± 9,0	16,20 ± 0,64	71	-22,34	101

Tableau 7-14. Activité du ^{14}C des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2019.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{90}Sr	^{90}Sr/Ca	Ca
							Bq.kg $^{-1}$ sec	Bq.g $^{-1}$ Ca	g.kg $^{-1}$ sec
Courbouzon	Mousse terrestre	Mousse *Eurhynchium striatum*	Entier	27/05/19	22/11/19	Cendres	2,70 ± 0,53	0,500 ± 0,098	5,4
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	27/05/19	22/11/19	Calciné	0,56 ± 0,16	0,110 ± 0,031	5,1

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

Tableau 7-15. Activité du ^{90}Sr des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2019.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{55}Fe
							Bq.kg^{-1} sec
Courbouzon	Mousse terrestre	Mousse *Eurhynchium striatum*	Entier	27/05/19	10/02/20	Cendres	< 2,4
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	27/05/19	14/03/20	Calciné	< 8,2
Courbouzon	Sol de production agricole	Sol de céréale *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	18/06/19	25/09/20	Calciné	< 5,7

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

Tableau 7-16. Activité du ^{55}Fe des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2019.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{36}Cl Bq.kg^{-1} sec
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	27/05/19	10/02/20	Calciné	< 1,7
Station AS1	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	27/05/19	14/03/20	Calciné	< 5,4

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

Tableau 7-17. Activité du ^{36}Cl des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2019.

Hors vents | Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure		Qualité	Emetteurs α				
								Activité mBq.kg^{-1} sec (sols, végétaux) mBq.L^{-1} (laits)			Rapports	
					^{238}Pu $^{238+240}Pu$	^{241}Am		^{238}Pu	$^{238+240}Pu$	^{241}Am	$^{238}Pu/^{238+240}Pu$	$^{241}Am/^{238+240}Pu$
La Ferté Saint-Cyr	Mousse terrestre	Mousse *Eurhynchium striatum*	Entier	28/05/19	04/11/19	15/11/19	Cendres	< 1,0	17,5 ± 5,6	4,1 ± 3,2	-	0,23 ± 0,20
Courbouzon	Mousse terrestre	Mousse *Eurhynchium striatum*	Entier	27/05/19	04/11/19	15/11/19	Cendres	< 1,2	26 ± 11	5,2 ± 2,6	-	0,20 ± 0,18
Cheverny	Sol de pâturage ou de prairie	*Sol de pâturage Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	28/05/19	18/07/19	28/01/20	Cendres	9,4 ± 2,9	200 ± 50	67 ± 26	0,047 ± 0,026	0,34 ± 0,21
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	27/05/19	18/07/19	28/01/20	Cendres	< 0,80	64,0 ± 8,0	20 ± 14	-	0,31 ± 0,26

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 2019.

Sous les vents

Station	Nature	Date de prélèvement	Analyses	%
Station AS1	Sol de prairie *Horizon 0 - 5 cm*	27/05/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	14,50
			Limons fins	11,50
			Limons grossiers	10,30
			Sables fins	46,80
			Sables grossiers	17,00
			Teneur en matières organiques	2,05

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 2019.

Tableau 7-20. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ et du ^{3}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 2009 à 2019 (Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	avril 2009	avril 2010	avril 2011	avril 2012	avril 2013	avril, juil. et août 2014	juin 2015	mai 2016	juin 2017	avril et juil. 2018	mai 2019
Distance par rapport au site	7,1 et 23,3 km	7,1 et 23,3 km	7,1 et 23,3 km	7,1 et 23,3 km	7,1 et 23,3 km	2,0 à 52,1 km	7,1 et 23,3 km	7,1 et 23,3 km	7,1 et 23,3 km	2,0 à 23,3 km	2,0 à 23,3 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{137}Cs	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{58}Co	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{60}Co	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{110m}Ag	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{54}Mn	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Emetteurs β											
^{3}H libre	14 (1/2)	2,4 (1/2)	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 (2/2)	1,10-28,9 (3/5)

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 7-21. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ, du ^{14}C et du ^{3}H organiquement lié dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2019 (spectrométrie γ et ^{3}H : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone).

Année de prélèvement	juin 2009		juin/juil. 2010		juil. 2011		juil. 2012		juil. 2013		sept. 2014		sept. 2015		sept. 2016		oct. 2017		oct. 2018		sept. 2019	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																						
^{134}Cs	-	-	-	-	0,75 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19 (1/1)	0,17 (1/2)	-	-
^{137}Cs	7,7 (1/1)	6,3-7,0 (2/2)	7,6 (1/1)	8,0-9,2 (3/3)	9,6 (1/1)	6,8-10 (3/3)	8 (1/1)	7,4-8,3 (3/3)	6,6 (1/1)	5,5-6,6 (3/3)	6,9 (1/1)	6,7-8,4 (2/2)	6,7 (1/1)	5,1-5,7 (2/2)	2,3 (1/1)	5,5-6,2 (2/2)	4,5 (1/1)	4,4-5,4 (2/2)	4,7 (1/1)	3,8-5,5 (2/2)	4,56 (1/1)	3,09-4,51 (2/2)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,13 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	0,43 (1/1)	0,69-0,91 (3/3)	0,28 (1/1)	0,31-0,42 (2/3)	0,31 (1/1)	0,31 (1/3)	0,79 (1/1)	0,42-0,45 (2/3)	0,36 (1/1)	0,29-0,37 (2/2)	1,5 (1/1)	0,42-2 (2/2)	1,1 (1/1)	0,77 (1/2)	0,73 (1/1)	0,72 (1/2)	0,62 (1/1)	0,47 (1/2)	0,71 (1/1)	0,30-2,74 (2/2)
^{110m}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}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β																						
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	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.	293,0 (1/1)	422,2 (1/1)
^{3}H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	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. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 7-22. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les végétaux aquatiques prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	juin 2009		juin 2010		mai/sept. 2011		juil./sept. 2012		juil./sept. 2013		juil./sept./oct. 2014		juil./sept. 2015		sept.2016		oct. 2017		oct. 2018		sept. 2019	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																						
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,052-0,35 (2/2)	0,10-0,34 (3/3)	0,29-0,41 (2/2)	0,24-0,35 (3/3)	0,28-0,71 (4/5)	0,10-1,2 (6/6)	0,11-1,3 (5/5)	0,15-1,5 (6/6)	0,10-2,6 (5/5)	0,091-3,0 (6/6)	1,0-1,3 (3/4)	0,16-1,5 (5/5)	0,13-0,50 (2/2)	0,13-0,49 (3/3)	0,72 (1/2)	0,14-0,78 (3/3)	0,030-0,25 (2/2)	0,083-1,4 (3/3)	0,18 (1/1)	0,44-0,60 (2/2)	0,233 (1/1)	0,544-0,72 (2/2)
^{54}Co	-	-	-	0,085 (1/3)	0,13-0,29 (3/5)	0,13-0,29 (4/6)	0,27-0,52 (4/5)	0,25-0,37 (3/6)	0,12-0,16 (2/5)	-	0,25-0,29 (2/4)	0,17 (1/5)	1,8 (1/2)	0,38-1,3 (2/3)	0,65 (1/2)	0,32 (1/3)	0,40 (1/2)	0,37 (1/3)	0,34 (1/1)	0,23-0,55 (2/2)	0,189 (1/1)	0,161 (1/2)
^{60}Co	-	0,33 (1/3)	-	0,26 (1/3)	0,13 (1/5)	0,24-0,85 (3/6)	0,13 (1/5)	0,20-0,32 (3/6)	0,25-0,39 (2/5)	-	0,22-0,25 (2/4)	0,64-1,2 (3/5)	0,75 (1/2)	0,39-3 (2/3)	0,35 (1/2)	0,28-0,43 (2/3)	0,30 (1/2)	0,59-0,75 (2/3)	0,30 (1/1)	0,54-0,85 (2/2)	0,188 (1/1)	0,61-0,63 (2/2)
^{110m}Ag	0,12 (1/2)	0,15 (1/3)	-	-	-	0,14-0,27 (2/6)	-	0,11-0,21 (2/6)	-	-	-	-	-	0,77 (1/3)	0,15 (1/2)	0,17-0,29 (2/3)	-	0,25-0,54 (2/3)	0,34 (1/1)	0,45-0,59 (2/2)	0,193 (1/1)	1,43-3,57 (2/2)
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	0,091 (1/5)	-	-	-	-	-	0,22 (1/2)	0,18-0,39 (2/3)	-	-	-	-	0,073 (1/1)	-	0,50 (1/1)	-
^{131}I	-	-	9,9 (1/1)	-	1,4 (1/1)	-	4,3 (1/1)	-	2,9 (1/1)	-	-	-	3,5 (1/1)	2,9 (1/1)	-	-	-	2,3 (1/1)	6,9 (1/1)	4,9 (1/1)	-	-
Emetteurs β																						
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	402 (1/1)	430-499 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	331 (1/1)	474 (1/1)	452 (1/1)	709,2 (1/1)
^{3}H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	8,6 (1/1)	19-23 (2/2)	29 (1/1)	28 (1/1)	28 (1/1)	29 (1/1)	11 (1/1)	39 (1/1)	20 (1/1)	34 (1/1)	28,9 (1/1)	31,7 (1/1)
^{3}H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	12 (1/1)	15-16 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	16 (1/1)	27 (1/1)	21,2 (1/1)	30,7 (1/1)

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 7-23. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}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 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} frais ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	août 2009		juin 2010		juin 2011		oct. 2012		sept. 2013		sept. 2014		sept./oct. 2015		sept. 2016		oct. 2017		oct. 2018		oct. 2019	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																						
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,059 (1/1)	0,10 (1/1)	0,058 (1/1)	0,050 (1/1)	0,060-0,070 (2/2)	0,074-0,11 (2/2)	0,041 (1/2)	0,041-0,059 (2/2)	0,028 (1/2)	0,032 (1/2)	0,030-0,033 (2/2)	0,039-0,054 (2/2)	0,039 (1/1)	0,030 (1/1)	0,024 (1/1)	0,058 (1/1)	0,032 (1/1)	-	0,035 (1/1)	-	0,022 (1/1)	0,052 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β																						
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	391 (1/1)	319 (1/1)	503 (1/1)	570 (1/1)	457 (1/1)	483 (1/1)	483 (1/1)	625 (1/1)	490 (1/1)	550 (1/1)	583 (1/1)	694 (1/1)	640 (1/1)	780 (1/1)	574 (1/1)	667 (1/1)	623 (1/1)	770 (1/1)
^{3}H libre	2,7 (1/1)	6,1 (1/1)	0,83 (1/1)	18 (1/1)	17 (2/2)	22 (2/2)	49 (2/2)	48-51 (2/2)	31-33 (2/2)	33-34 (2/2)	20-22 (2/2)	15-21 (2/2)	25 (1/1)	47 (1/1)	3,9 (1/1)	13 (1/1)	10 (1/1)	9,5 (1/1)	25 (1/1)	34 (1/1)	21,9 (1/1)	27,8 (1/1)
^{3}H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	13 (1/1)	6,4 (1/1)	18 (1/1)	19 (1/1)	15 (1/1)	17 (1/1)	19 (1/1)	17 (1/1)	18 (1/1)	22 (1/1)	16 (1/1)	15 (1/1)	11 (1/1)	14 (1/1)	15 (1/1)	5,9 (1/1)	15,1 (1/1)	14,8 (1/1)

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 7-24. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

							Emetteurs γ d'origine naturelle					
							Activité Bq.kg $^{-1}$ sec (sédiments, végétaux), Bq.kg $^{-1}$ frais (poissons)					
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{40}K	Famille de ^{232}Th	Famille de ^{238}U			^{7}Be
								^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Tavers Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	25/09/19	27/01/20	Sec	686 ± 98	65,8 ± 8,5	n.a.	51 ± 25	n.a.	< 8,4
Pont de Muides Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	25/09/19	27/01/20	Sec	698 ± 100	61,3 ± 8,0	n.a.	53 ± 28	n.a.	25,5 ± 9,8
Ménars Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/19	13/03/20	Sec	684 ± 98	69,8 ± 9,0	n.a.	47 ± 21	n.a.	< 12
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	25/09/19	23/12/19	Cendres	402 ± 58	23,8 ± 3,1	12,9 ± 2,5	n.a.	23,2 ± 3,7	55,3 ± 6,3
Pont de Muides Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	25/09/19	25/10/19	Cendres	440 ± 63	34,3 ± 4,5	15,5 ± 2,9	n.a.	33,2 ± 5,2	89 ± 10
Ménars Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	08/11/19	Cendres	407 ± 58	32,8 ± 4,3	20,3 ± 3,7	n.a.	36,7 ± 5,9	94 ± 11
Tavers Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	23/10/19	27/12/19	Cendres	101 ± 14	< 0,085	< 0,18	n.a.	< 0,24	< 0,34
Pont de Muides Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	24/10/19	03/01/20	Cendres	100 ± 14	< 0,12	< 0,23	n.a.	< 0,31	< 0,53

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

Suivi radioécologique de l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Loire – Année 2019
C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux
Rapport SUBRE/RC/Y-L

Tableau 7-25. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

							Emetteurs γ d'origine artificielle						
							Activité Bq.kg $^{-1}$ sec (sédiments, végétaux), Bq.kg $^{-1}$ frais (poissons)						
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{131}I
Tavers Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	25/09/19	27/01/20	Sec	< 0,23	**4,56 ± 0,54**	< 0,61	**0,71 ± 0,26**	< 0,37	< 0,34	n.a.
Pont de Muides Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	25/09/19	27/01/20	Sec	< 0,26	**3,09 ± 0,38**	< 0,67	**2,74 ± 0,58**	**1,51 ± 0,25**	< 0,32	n.a.
Ménars Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/19	13/03/20	Sec	< 0,20	**4,51 ± 0,52**	< 0,79	**0,30 ± 0,10**	< 0,32	< 0,30	n.a.
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	25/09/19	23/12/19	Cendres	< 0,067	**0,233 ± 0,037**	**0,189 ± 0,054**	**0,188 ± 0,079**	**0,193 ± 0,042**	**0,50 ± 0,25**	n.a.
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	23/10/19	24/10/19	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 1,4
Pont de Muides Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	25/09/19	25/10/19	Cendres	< 0,086	**0,544 ± 0,080**	**0,161 ± 0,052**	**0,63 ± 0,13**	**3,57 ± 0,41**	< 0,10	n.a.
Pont de Muides Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	23/10/19	24/10/19	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 0,9
Ménars Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	08/11/19	Cendres	< 0,11	**0,72 ± 0,10**	< 0,13	**0,61 ± 0,14**	**1,43 ± 0,19**	< 0,12	n.a.
Tavers Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	23/10/19	27/12/19	Cendres	< 0,024	**0,022 ± 0,022**	< 0,039	< 0,028	< 0,032	< 0,024	n.a.
Pont de Muides Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	24/10/19	03/01/20	Cendres	< 0,036	**0,052 ± 0,019**	< 0,055	< 0,037	< 0,045	< 0,034	n.a.

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

Amont	Aval

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{127}I mg.kg^{-1} frais
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	25/09/19	21/10/20	Sec	< 5,1
Pont de Muides Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	25/09/19	21/10/20	Sec	< 6,9

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 2019.

Amont	Aval

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{3}H libre Bq.L^{-1}	^{3}H libre Bq.kg^{-1} frais
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	25/09/19	23/12/19	Eau de lyophilisation	28,9 ± 5,2	26,0 ± 4,7
Pont de Muides Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	25/09/19	11/11//2019	Eau de lyophilisation	31,7 ± 5,7	27,3 ± 4,9
Tavers Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	23/10/19	18/12/19	Eau de lyophilisation	21,9 ± 4,8	16,3 ± 3,5
Pont de Muides Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	24/10/19	10/01/20	Eau de lyophilisation	27,8 ± 6,0	20,8 ± 4,5
Muides-sur-Loire	Eau	Eau de boisson	Entier	28/05/19	03/08/19	Entier	< 0,44	-
Blois	Eau	Eau de boisson	Entier	27/08/19	04/08/19	Entier	< 0,44	-
Courbouzon	Eau	Eau d'irrigation	Entier	23/10/19	24/11/19	Entier	1,10 ± 0,54	-
Tavers Rive droite	Eau	Eau de rivière	Entier	25/09/19	01/11/19	Entier	28,7 ± 5,1	-
Le Cavereau Rive gauche	Eau	Eau de rivière	Entier	25/09/19	02/11/19	Entier	28,9 ± 5,2	-

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 2019.

Amont	Aval

							^{3}H organiquement lié		
Station	**Nature**	**Espèce**	**Fraction**	**Date de prélèvement**	**Date de mesure**	**Qualité**	**Bq.L^{-1} d'eau de combustion**	**Bq.kg^{-1} sec (sédiments) Bq.kg^{-1} frais (végétaux, poissons)**	**Bq.kg^{-1} MO**
Tavers Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	25/09/19	20/02/20	Eau de combustion	1,31 ± 0,62	0,131 ± 0,079	0,73 ± 0,44
Pont de Muides Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	25/09/19	20/11/19	Eau de combustion	15,4 ± 3,2	1,08 ± 0,61	7,8 ± 4,4
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	25/09/19	17/11/19	Eau de combustion	21,2 ± 3,2	0,97 ± 0,20	12,6 ± 2,6
Pont de Muides Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	25/09/19	20/11/19	Eau de combustion	30,7 ± 4,6	1,93 ± 0,40	20,2 ± 4,2
Tavers Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	23/10/19	24/12/19	Eau de combustion	15,1 ± 2,8	2,68 ± 0,57	11,1 ± 2,4
Pont de Muides Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	24/10/19	24/01/20	Eau de combustion	14,8 ± 2,8	2,54 ± 0,55	11,0 ± 2,4

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

Tableau 7-28. Activités du tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2019.

Amont	Aval

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{14}C		C tot	$^{13}C/^{12}C$	PMC
							$Bq.kg^{-1}$ de C	$Bq.kg^{-1}$ sec (sédiments) $Bq.kg^{-1}$ frais (végétaux, poissons) $Bq.L^{-1}$ (eaux)	$g.kg^{-1}$ sec (sédiments) $g.kg^{-1}$ frais (végétaux, poissons) $g.L^{-1}$ (eaux)	‰	%
Tavers Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	25/09/19	10/12/20	Lyophilisé	293,0 ± 1,2	20,158 ± 0,083	69	-25,77	123
Pont de Muides Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	25/09/19	10/12/20	Lyophilisé	422,2 ± 1,7	17,732 ± 0,071	42	-24,75	177
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	25/09/19	11/01/20	Lyophilisé	452 ± 15	15,14 ± 0,50	33	-21,84	190
Pont de Muides Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	25/09/19	En cours	Lyophilisé	709,2 ± 3,3	32,31 ± 0,15	46	-20,50	298
Tavers Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	23/10/19	11/07/20	Lyophilisé	623 ± 16	90,0 ± 2,3	144	-25,85	262
Pont de Muides Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	24/10/19	17/07/20	Lyophilisé	770 ± 20	103,0 ± 2,7	134	-24,63	324
Tavers Rive droite	Eau	Eau de rivière	Entier	28/05/19	22/11/19	Entier	873,2 ± 6,0	0,02026 ± 0,00014	0,0232	-17,81	367
Le Cavereau Rive gauche	Eau	Eau de rivière	Entier	27/08/19	22/11/19	Entier	871,8 ± 4,0	0,018918 ± 0,000087	0,0217	-18,86	366

Tableau 7-29. Activités du ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2019.

Amont	Aval

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{63}Ni Bq.kg^{-1} sec
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	25/09/19	27/01/20	Cendres	< 0,32
Pont de Muides Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	25/09/19	28/01/20	Cendres	< 0,38
Tavers Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	25/09/19	13/07/20	Calciné	< 0,78
Pont de Muides Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	25/09/19	14/07/20	Calciné	< 1,0

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

Tableau 7-30. Activités du ^{63}Ni dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2019.

Amont	Aval

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{55}Fe Bq.kg^{-1} sec
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	25/09/19	26/08/20	Cendres	< 0,42
Pont de Muides Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	25/09/19	27/08/20	Cendres	< 1,1
Tavers Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	25/09/19	13/09/20	Calciné	< 53
Pont de Muides Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	25/09/19	15/09/20	Calciné	< 32

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

Tableau 7-31. Activités du ^{55}Fe dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2019.

Amont	Aval

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure		Qualité	Emetteurs α			Rapports	
					^{238}Pu $^{239+240}Pu$	^{241}Am		Activité mBq.kg $^{-1}$ sec (sols, végétaux)				
								^{238}Pu	$^{239+240}Pu$	^{241}Am	$^{238}Pu/^{239+240}Pu$	$^{241}Am/^{239+240}Pu$
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	25/09/19	19/12/19	13/12/19	Cendres	< 0,57	10,0 ± 4,0	4,2 ± 2,4	-	0,42 ± 0,41
Pont de Muides Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	25/09/19	19/12/19	13/12/19	Cendres	< 1,2	31,0 ± 8,0	4,5 ± 2,8	-	0,15 ± 0,13

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 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

Station	Nature	Date de prélèvement	Analyses	%
Tavers Rive droite	Sédiment	25/09/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	28,10
			Limons fins	24,70
			Limons grossiers	9,20
			Sables fins	13,10
			Sables grossiers	12,70
			Teneur en matières organiques	11,40
Pont de Muides Rive gauche	Sédiment	25/09/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	19,20
			Limons fins	13,80
			Limons grossiers	5,30
			Sables fins	19,60
			Sables grossiers	32,90
			Teneur en matières organiques	9,00
Ménars Rive gauche	Sédiment	26/09/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	22,60
			Limons fins	18,70
			Limons grossiers	10,70
			Sables fins	20,80
			Sables grossiers	17,20
			Teneur en matières organiques	9,80

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 2019.

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_2, 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] Duffa, C., 2001. Répartition du plutonium et de l'américium dans l'environnement terrestre de la basse vallée du Rhône, in Géosciences de l'environnement, Aix-Marseille III. 179 p.

[10] Gontier G. et Siclet F. Le tritium organique dans les écosystèmes d'eau douce : évolution à long terme dans l'environnement des centres nucléaires de production d'électricité français. Radioprotection, Vol. 46, n°4, 457-491, 2011.

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

- Année 2019 -

Bassin de la Loire

Belleville-sur-Loire

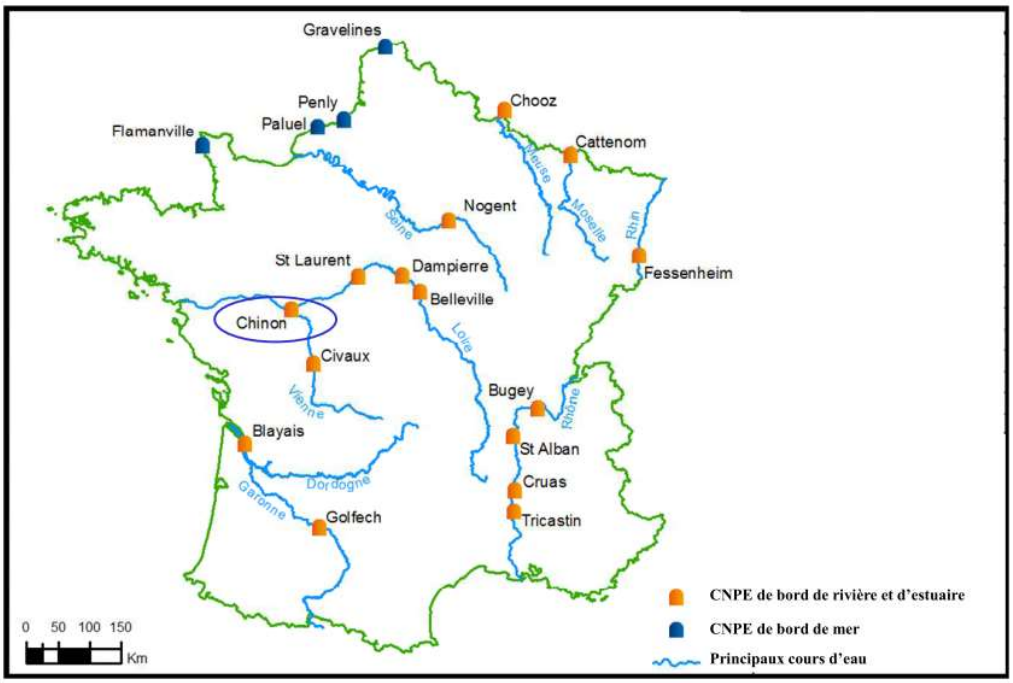
Dampierre-en-Burly

Saint-Laurent-des-Eaux

Chinon-Avoine

Civaux

C.N.P.E. de Chinon-Avoine



Source : EDF/DIPDE.

8. Etat radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine 219
8.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques 219
8.2. Etat radiologique de l'environnement terrestre 221
8.2.1. Stratégie d'échantillonnage 221
8.2.2. Résultats et interprétation 224
8.2.2.1.Radionucléides émetteurs gamma 224
8.2.2.2.Radionucléides émetteurs bêta 226
8.2.2.3.Radionucléides émetteurs alpha 229
8.3. Etat radiologique de l'environnement aquatique 230
8.3.1. Stratégie d'échantillonnage 230
8.3.2. Résultats et interprétation 217
8.3.2.1.Radionucléides émetteurs gamma 217
8.3.2.2.Radionucléides émetteurs bêta 221
8.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine 224

Résumé

L'objectif du suivi radioécologique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine 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 2019 montre que le niveau de radioactivité naturelle demeure similaire à celui constaté avant la mise en fonctionnement de l'installation de Chinon-Avoine.

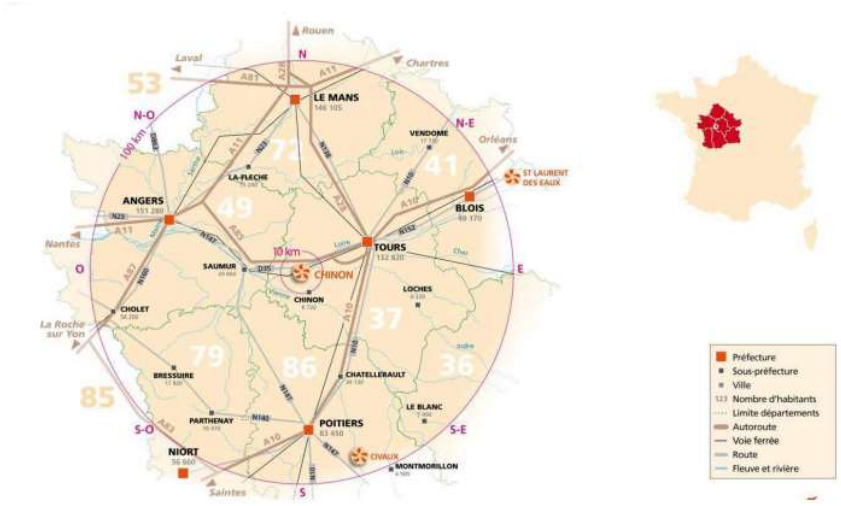
En 2019, la radioactivité d'origine artificielle détectée dans **le milieu terrestre** est liée à la présence du ^{137}Cs. Il provient principalement des retombées des anciens essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Les analyses de ^{14}C réalisées en 2019 sont cohérentes aux incertitudes de mesure près avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle. Les activités du ^{3}H (libre et organiquement lié) mesurées demeurent dans la variabilité environnementale. Enfin, les analyses spécifiques en ^{55}Fe dans les mousses terrestres montrent l'influence des rejets d'effluents du C.N.P.E pour ce radionucléide.

Dans **le milieu aquatique**, le ^{137}Cs est présent en 2019 à l'amont et à l'aval dans les sédiments et les phanérogames immergées (myriophylles). Seules les activités détectées dans les myriophylles montrent l'influence du fonctionnement du C.N.P.E. pour ce radionucléide. En 2019, la présence de ^{137}Cs résulte donc principalement de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl ainsi que probablement des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. La détection de traces de ^{60}Co et d'^{110m}Ag à l'amont montre le marquage du milieu aquatique lié aux rejets d'effluents des C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux, de Dampierre-en-Burly et/ou de Belleville-sur-Loire situés à l'amont. Le marquage lié aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Chinon-Avoine est mis en évidence, d'une part, par l'augmentation de l'activité du ^{60}Co et de l'^{110m}Ag en aval du C.N.P.E. et, d'autre part, par la détection de traces de ^{58}Co uniquement à l'aval de l'installation. En 2019, les analyses de ^{3}H (libre et organiquement lié) et de ^{14}C montrent l'influence sur le milieu aquatique des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Chinon-Avoine et des C.N.P.E. situés en amont sur la Loire.

8. Etat radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine

8.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques

Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité (C.N.P.E.) de Chinon-Avoine est implanté sur la commune d'Avoine à l'ouest du département de l'Indre-et-Loire (37), à 9 km de Chinon et 19 km de Saumur [1,2]. L'installation se situe sur la rive gauche de la Loire en aval des C.N.P.E. de St-Laurent-des-Eaux (120 km), de Dampierre-en-Burly (210 km) et de Belleville-sur-Loire (250 km).



Carte 1. Implantation géographique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine.

Photo 1. C.N.P.E. de Chinon-Avoine. Crédit : www.edf.fr.

La Figure 8-1 (page 220) présente la chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine depuis 1977.

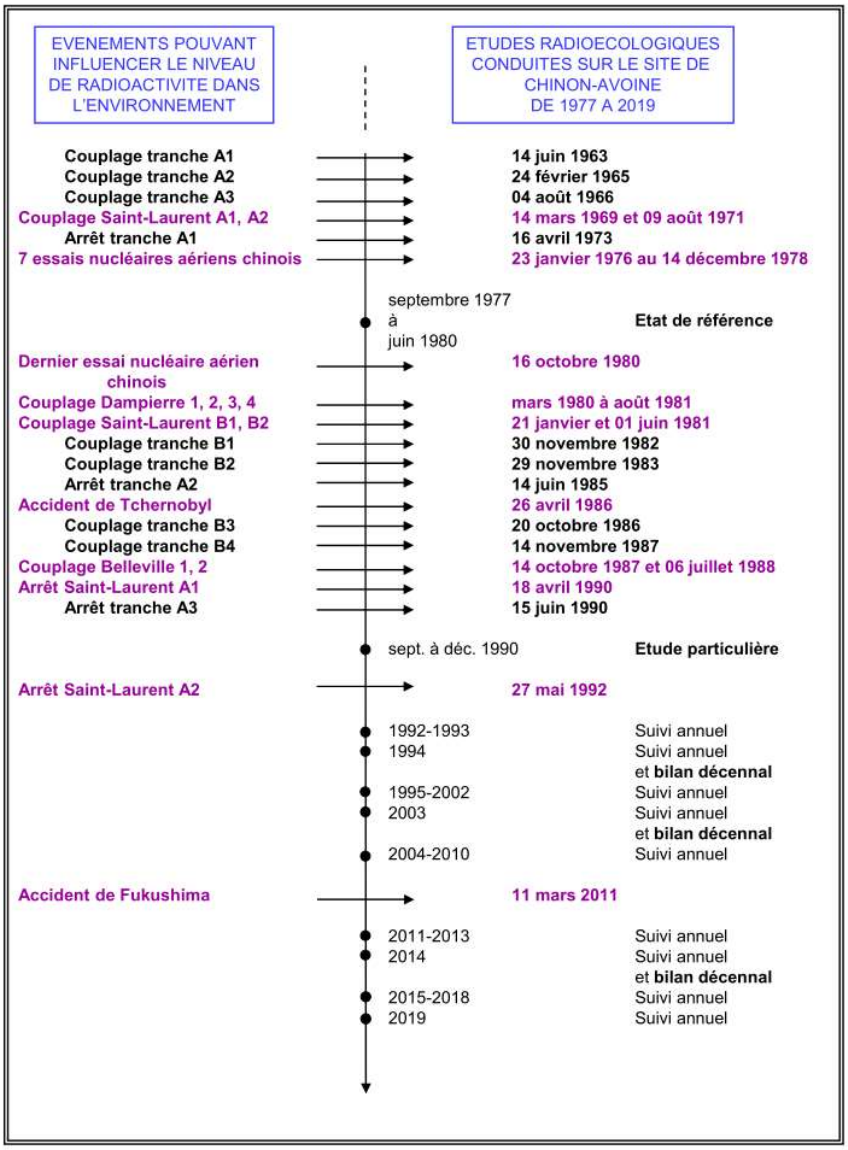


Figure 8-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine.

8.2. Etat radiologique de l'environnement terrestre

8.2.1. Stratégie d'échantillonnage

Le Tableau 8-1 (page 222) 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 8-2 (page 223) présente les stations de prélèvement et la nature des échantillons prélevés en 2019.

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 8-2 (page 223), 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 et au Sud-Est de l'installation alors que les zones sous les vents dominants et potentiellement influencées (« ZSV » dans la suite du texte) se situent le long de la Loire au Sud-Ouest et à l'Est-Nord-Est.

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 2019, quatre prélèvements d'herbe ont été réalisés par le C.N.P.E. à la station AMI 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.

Tableau 8-1. Identification des échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019.

Hors vents | Sous les vents

Station	Situation par rapport à la centrale	Coordonnées WGS84		Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Rapport frais/sec	Rapport sec/cendres
		Latitude	Longitude							
La Roche-Clermault	10,9 km SSE	47,13722	0,22667	Mousse terrestre	Mousse *Eurhynchium striatum*	Entier	20/05/19	Spectrométrie α	3,15	9,62
Huismes	6,6 km E	47,23889	0,25611	Mousse terrestre	Mousse *Eurhynchium striatum*	Entier	20/05/19	Spectrométrie γ en frais (Iode 131) Spectrométrie α Strontium 90 Fer 55	2,71	4,41
Allonnes	12,2 km NO	47,26972	0,02028	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	21/10/19	Spectrométrie γ	24,55	2,72
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	18,73	-
Saint-Patrice	12,3 km ENE	47,28222	0,31250	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	21/10/19	Spectrométrie γ	27,14	3,32
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	21,55	-
Cravant	11,3 km SE	47,16250	0,28972	Sol non cultivé	Sol de pâturage *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	20/05/19	Spectrométrie α	1,25	-
La Chapelle-sur-Loire	1,5 km NE	47,23917	0,17972	Sol non cultivé	Sol de pâturage *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	20/05/19	Spectrométrie γ Strontium 90 Fer 55 Chlore 36 Spectrométrie α Granulométrie, TMO	1,22	-
Chouzé-sur-Loire	4,7 km NO	47,22889	0,10778	Sol cultivé	Sol de céréales *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	18/09/19	Fer 55 Granulométrie, TMO	1,05	-
La Chapelle-sur-Loire	1,5 km NE	47,23917	0,17972	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de pâturage	Parties aériennes	20/05/19	Spectrométrie γ Chlore 36	3,60	12,75
Musoir	1,0 km	47,23294	0,18042	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	20/05/19	Tritium libre Tritium organiquement lié	2,79	-
Chouzé-sur-Loire	4,9 km NO	47,25583	0,12000	Lait	Lait de vache	Entier	21/05/19	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	7,79	17,18

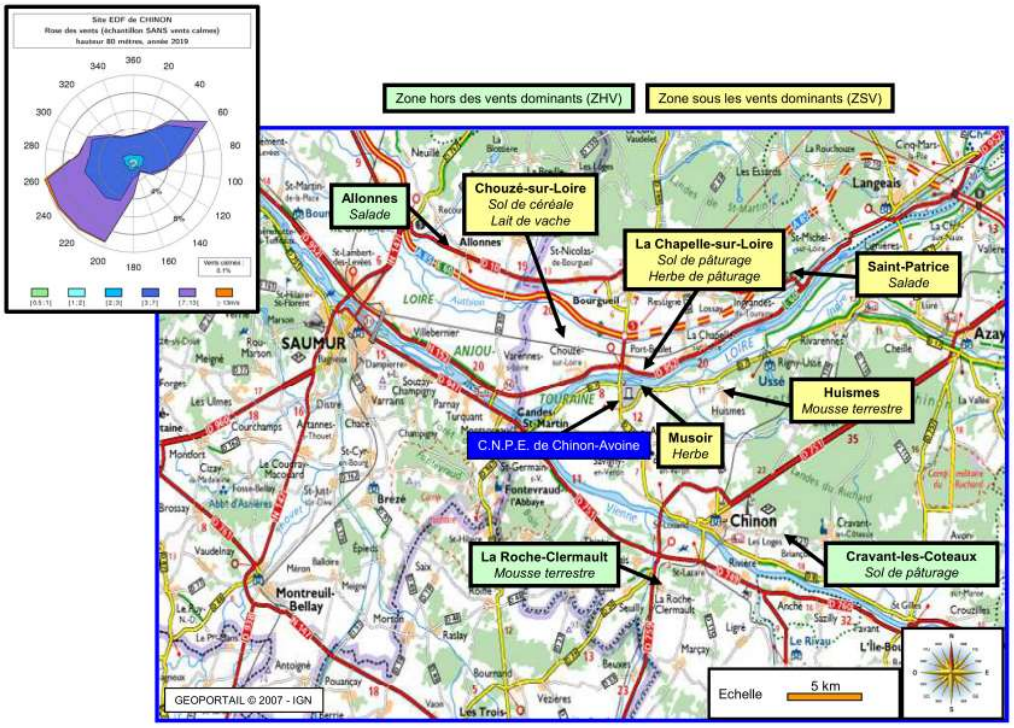


Figure 8-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. de Chinon-Avoine.

8.2.2. Résultats et interprétation

8.2.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

8.2.2.1.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

En 2019, 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 1992. Elle est similaire à celle mesurée lors de l'état de référence. La radioactivité d'origine tellurique est essentiellement due au ^{40}K dans l'ensemble des matrices et dans une moindre mesure aux chaînes naturelles du ^{232}Th et de l'^{238}U. Les activités mesurées sont cohérentes avec le bruit de fond naturel observé en France [3].

Dans le lait, le ^{40}K est le seul radionucléide naturel détecté. Le niveau d'activité est conforme aux valeurs mesurées antérieurement (proche de 50-60 $Bq.L^{-1}$) quels que soient l'année ou le lieu de prélèvement.

Le ^{7}Be est systématiquement détecté dans les végétaux (salades et herbes) et la mousse terrestre. Naturellement produit en haute atmosphère, le ^{7}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.

8.2.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

En 2019, la radioactivité d'origine artificielle est due à la présence de traces de ^{137}Cs dans tous les compartiments du milieu terrestre (Tableau 8-10, page 252). Il a été mesuré dans les six échantillons analysés. Les niveaux d'activités en ^{137}Cs détectés sont cohérents avec les gammes de variations observées depuis 1996. La présence de traces de ^{137}Cs en 2019 est liée principalement à la rémanence des retombées de l'accident de Tchernobyl et des essais aériens nucléaires. Aucun autre radionucléide artificiel émetteur gamma n'a été mis en évidence. En 2019, 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 Chinon-Avoine.

Les études menées lors de l'état de référence (1977-1980) indiquaient déjà la présence de ^{137}Cs dans tous les compartiments due aux retombées des essais nucléaires (Figure 8-3, page 225). De 1992 à 1995, le ^{134}Cs était détecté systématiquement dans les mousses terrestres suite aux retombées de l'accident de Tchernobyl. En 2011, la détection de ^{134}Cs et d'^{131}I était cohérente avec leur mise en évidence dans les retombées de l'accident de Fukushima en France métropolitaine [4]. Depuis 2012, ces deux radionucléides ne sont plus détectés.

Depuis 1992, en dehors de l'accident de Fukushima en 2011, la radioactivité gamma artificielle dans le milieu terrestre était uniquement due à la présence de ^{137}Cs, à l'exception de la détection de ^{54}Mn dans des échantillons de mousse terrestre et de vin en 1997 et d'^{241}Am dans un sol de pâturage et un sol forestier en 2014.

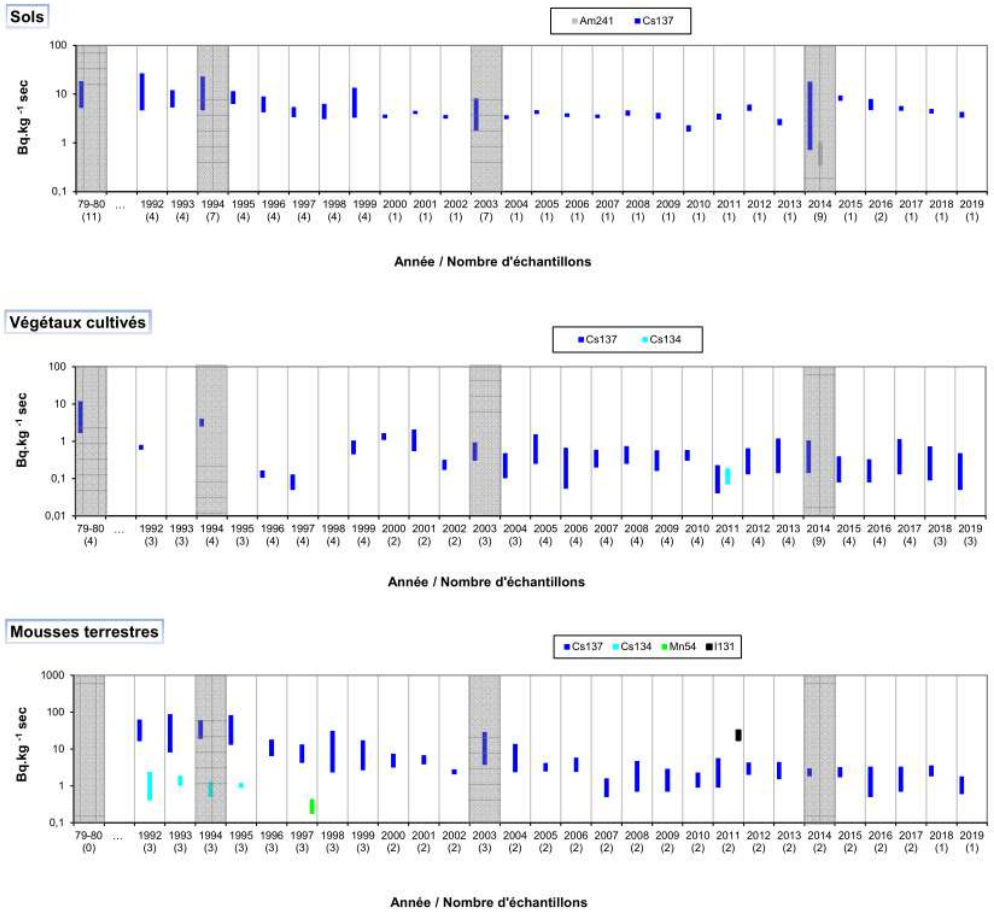


Figure 8-3. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des études menées depuis l'état de référence de 1979/1980 au suivi radioécologique de 2019.
(*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

8.2.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

8.2.2.2.1. Tritium

Les résultats sont présentés dans les Tableau 8-12 et Tableau 8-13 (page 253). En 2019, les activités en ^{3}H libre et organiquement lié mesurées dans les salades, les herbes et le lait de vache sont inférieures aux seuils de décision ou proches du bruit de fond ambiant hors influence industrielle (<3 $Bq.L^{-1}$) [3,5]. Ces activités ne montrent pas d'influence des rejets atmosphériques du C.N.P.E. de Chinon-Avoine sur le milieu terrestre pour ces radionucléides.

Ces observations sont cohérentes avec les mesures de ^{3}H libre et organiquement lié réalisées lors des études antérieures à l'exception de l'activité du ^{3}H libre mesurée dans les salades prélevées sous les vents dominants lors du suivi radioécologique de 2017.

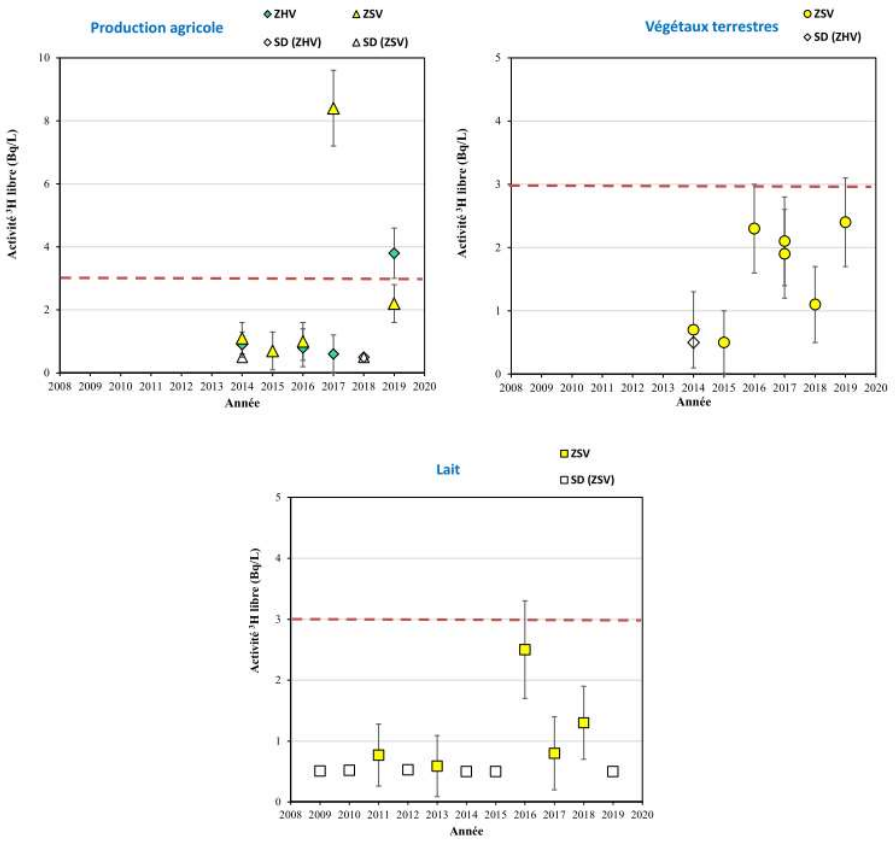


Figure 8-4. Activités en tritium libre détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Chinon-Avoine de 2009 à 2019. La ligne en pointillées représente la limite de bruit de fond ambiant hors influence industrielle (<3 $Bq.L^{-1}$) [3,5].

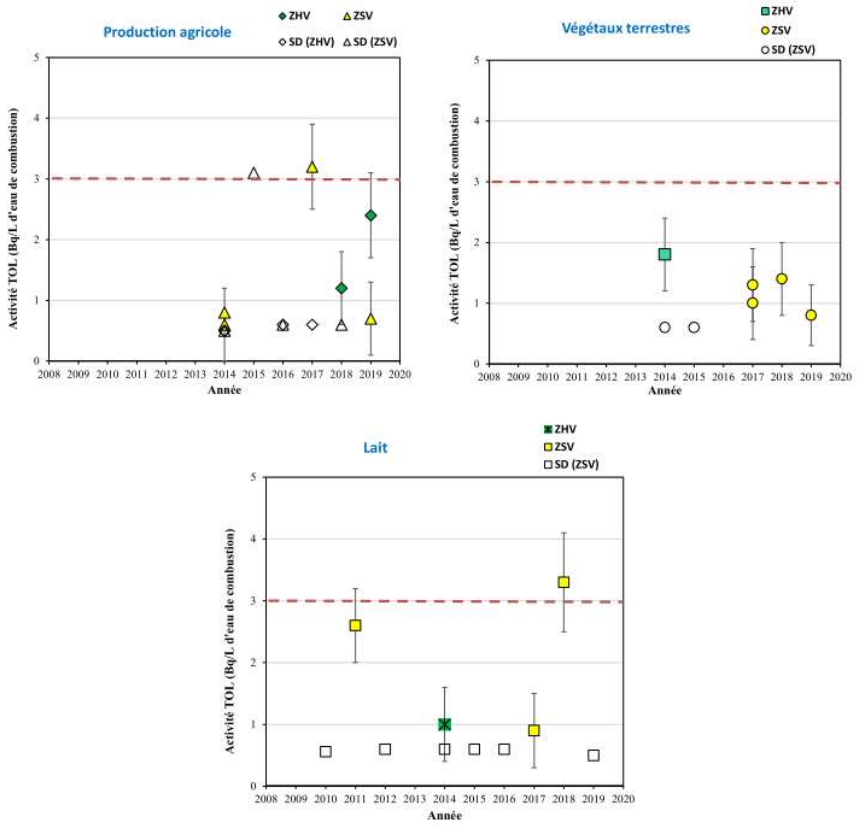


Figure 8-5. Activités en tritium organiquement lié détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Chinon-Avoine de 2009 à 2019. La ligne en pointillées représente la limite de bruit de fond ambiant hors influence industrielle (<3 $Bq.L^{-1}$) [3,5].

8.2.2.2.2. Carbone 14

Les résultats sont présentés dans le Tableau 8-14 (page 254). Les analyses du ^{14}C dans les salades (ZHV et ZSV) et le lait montrent des activités cohérentes aux incertitudes de mesure près avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle proche de 227 $Bq.kg^{-1}$ de carbone en 2019 [3,6]. Aucune influence des rejets d'effluents atmosphériques de ^{14}C du C.N.P.E. de Chinon-Avoine n'est mise en évidence en 2019.

Ces résultats sont cohérents avec les données des années antérieures, à l'exception du prélèvement d'herbe du suivi radioécologique de 2017 qui témoignait d'un marquage en ^{14}C de quelques becquerels par kg de carbone par rapport au niveau ambiant lié aux rejets d'effluents atmosphériques de l'installation. Ce constat était cohérent avec le bilan radiologique 2015-2017 de l'IRSN [3]. Ce marquage ponctuel est également observé sur certains prélèvements trimestriels d'herbes réalisés depuis 2015 à proximité du C.N.P.E.

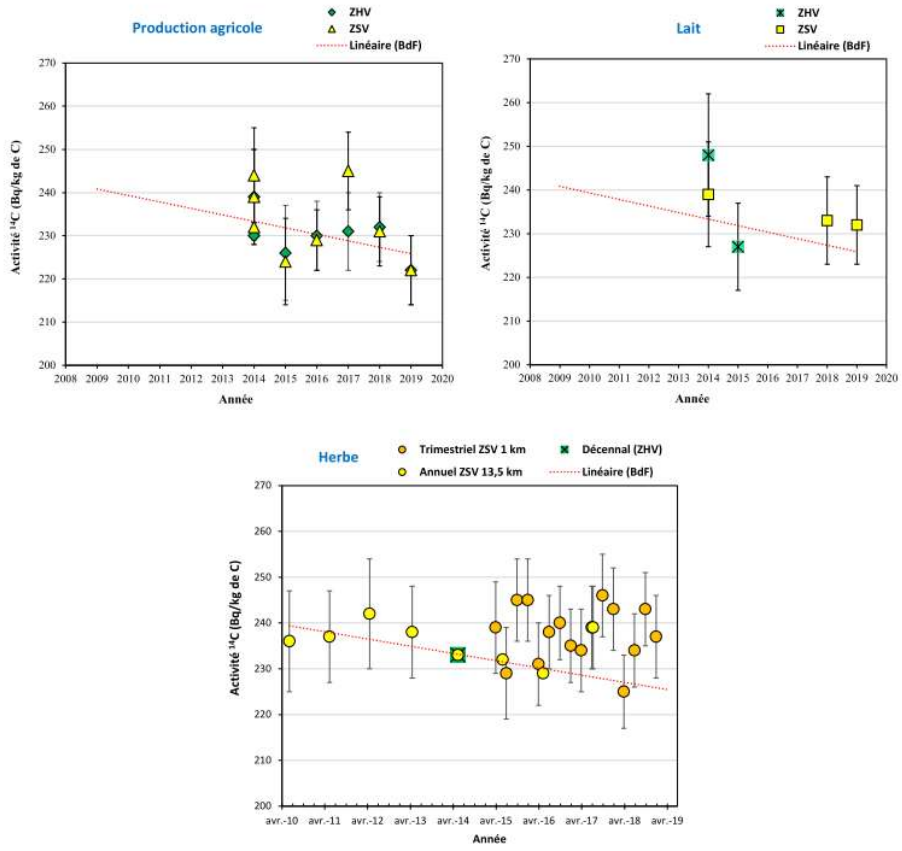


Figure 8-6. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Chinon-Avoine de 2009 à 2019.

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).

8.2.2.2.3. Strontium 90

En 2019, les résultats d'analyse du ^{90}Sr dans la mousse terrestre (1,50±0,30 $Bq.kg^{-1}$ sec) et le sol de pâturage (0,57±0,12 $Bq.kg^{-1}$ sec) prélevés sous les vents dominants montrent des activités cohérentes avec les niveaux observés habituellement en lien avec les retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens (Tableau 8-15, page 255) [7].

8.2.2.2.4. Fer 55

Les résultats de ^{55}Fe sont inférieurs aux seuils de décision dans les sols (sol non cultivé : <8,7 $Bq.kg^{-1}$ sec et sol cultivé : <5,1 $Bq.kg^{-1}$ sec) (Tableau 8-16, page 255). Dans la mousse terrestre son activité est de 10,8±3,0 $Bq.kg^{-1}$ sec.

8.2.2.2.5. Chlore 36

Les résultats de ^{36}Cl sont inférieurs aux seuils de décision dans le sol et l'herbe (sol non cultivé : <3,5 $Bq.kg^{-1}$ sec et herbe : <2,1 $Bq.kg^{-1}$ sec) (Tableau 8-17, page 256).

8.2.2.3. Radionucléides émetteurs alpha

Le ^{238}Pu, le $^{239+240}Pu$ et l'^{241}Am sont systématiquement détectés dans les mousses terrestres et les sols (Tableau 8-18, page 256). Les rapports d'activités $^{238}Pu/^{239+240}Pu$ et $^{241}Am/^{239+240}Pu$, 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 (retraitement du combustible) [8]. Les rapports $^{238}Pu/^{239+240}Pu$ et $^{241}Am/^{239+240}Pu$ déterminés en 2019 pour les prélèvements de sols sont caractéristiques aux incertitudes de mesure près de l'unique influence des retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens. Ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus lors des bilans décennaux de 1994, 2003 et 2014. Le rapport $^{241}Am/^{239+240}Pu$ est moins élevé que la valeur attendue pour les échantillons de mousses, cela peut s'expliquer par les caractéristiques de transfert différentes dans l'environnement entre américium et plutonium [8].

8.3. Etat radiologique de l'environnement aquatique

8.3.1. Stratégie d'échantillonnage

Le Tableau 8-2 (page 231) regroupe l'identification des échantillons (station, nature, date de prélèvement…) ainsi que les rapports masse fraîche/masse sèche et masse sèche/masse cendres. La Figure 8-7 (page 232) présente les stations de prélèvement et la nature des échantillons prélevés en 2019.

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, de préférence dans la zone de dilution complète. Afin de garantir leur comparaison, les échantillons prélevés en amont et en aval sont, si possible, de même nature. Sur la base des études antérieures, les prélèvements ont lieu sur la rive gauche de la Loire, excepté en aval lointain pour tenir compte de la confluence avec la Vienne. Afin de garantir leur comparaison, les échantillons prélevés en amont et en aval sont, dans la mesure du possible, de même nature.

Quatre prélèvements d'eaux sont réalisés. Dans la continuité des années précédentes, l'eau de boisson provient du réseau d'eau potable de Saumur. Le prélèvement a eu lieu à la station de pompage du Petit-Puy en rive gauche de la Loire. Le captage est réalisé dans la nappe alluviale. La profondeur du forage est de 16 mètres. En 2019, le plan d'échantillonnage intègre une eau d'irrigation prélevée à l'aval du C.N.P.E. Le prélèvement a été réalisé sur la commune de Chouzé-sur-Loire. Dans le cadre du suivi quinquennal, deux prélèvements d'eau de fleuve ont été réalisés à l'amont (Bréhémont) et à l'aval (Bertignolles) du C.N.P.E.

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

Tous les échantillons prélevés sont traités et conservés au laboratoire.

Tableau 8-2. Identification des échantillons prélevés dans le milieu aquatique de l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019.

Amont | Aval | Aval lointain

Station	Situation par rapport à la centrale	Coordonnées WGS84		Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Rapport frais/sec	Rapport sec/cendres
		Latitude	Longitude							
Brèhémont Rive gauche	15,6 km amont	47,29528	0,35167	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/19	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium organiquement lié Nickel 63 Fer 55 Chlore 36 Granulométrie, TMO	2,83	-
Bertignolles Rive gauche	5,1 km aval	47,22111	0,10278	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/19	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium organiquement lié Nickel 63 Fer 55 Chlore 36 Granulométrie, TMO	2,75	-
Port de Varennes Rive droite	9,9 km aval lointain	47,23083	0,03917	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	27/09/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	3,30	-
Brèhémont Rive gauche	15,6 km amont	47,29528	0,35167	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	Spectrométrie γ en frais (Iode 131) Spectrométrie γ Nickel 63 Fer 55 Chlore 36	11,15	3,54
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	8,42	-
Bertignolles Rive gauche	5,1 km aval	47,22111	0,10278	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	Spectrométrie γ en frais (Iode 131) Spectrométrie γ Nickel 63 Fer 55 Chlore 36	8,50	1,93
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	7,53	-
Port de Varennes Rive droite	9,9 km aval lointain	47,23083	0,03917	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	Spectrométrie γ	10,86	3,76
L'Ile Saint-Martin Rives gauche et droite	10 km amont	47,26000	0,27444	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	25/10/19	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	3,81	16,16
Chouzé-sur-Loire Rives gauche et droite	3 km aval	47,23611	0,12722	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	25/10/19	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	3,67	17,34
Saumur, Station du Petit-Puy	16 km aval	47,25000	0,05278	Eau	Eau de boisson	Entier	21/05/19	Tritium libre	-	-
Chouzé-sur-Loire	5,8 km aval	47,24778	0,09897	Eau	Eau d'irrigation	Entier	18/09/19	Tritium libre	-	-
Brèhémont Rive gauche	15,6 km amont	47,29528	0,35167	Eau	Eau de fleuve	Entier	26/09/19	Tritium libre Carbone 14	-	-
Bertignolles Rive gauche	5,1 km aval	47,22111	0,10278	Eau	Eau de fleuve	Entier	26/09/19	Tritium libre Carbone 14	-	-

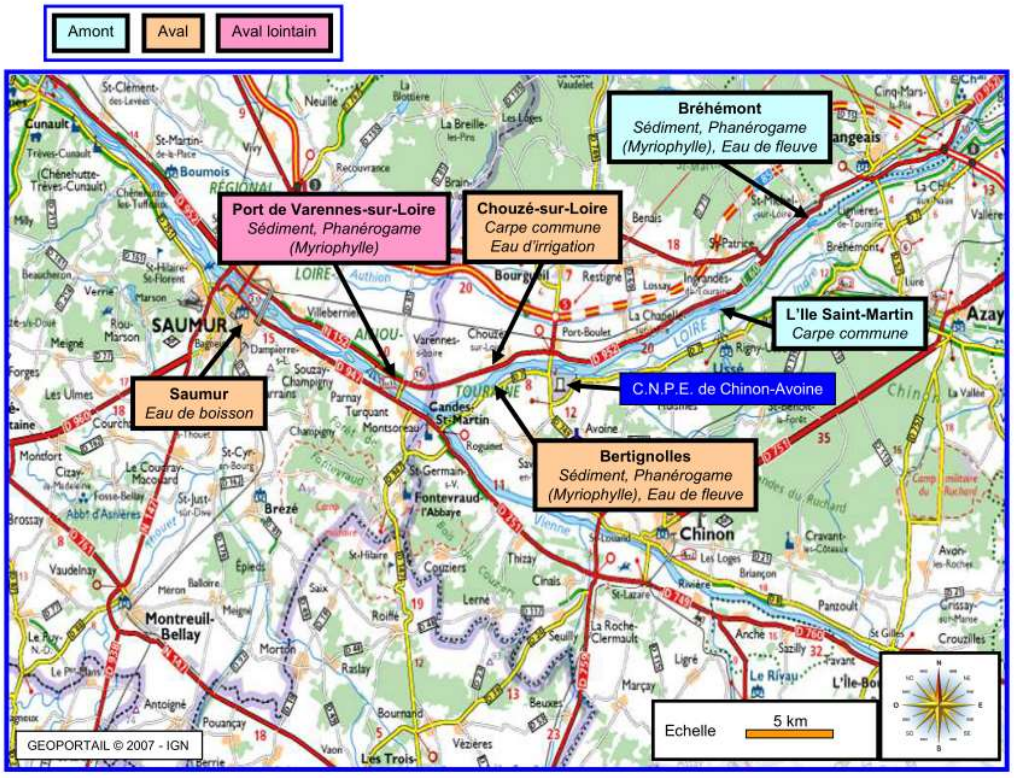


Figure 8-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. de Chinon-Avoine.

8.3.2. Résultats et interprétation

8.3.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

8.3.2.1.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

En 2019, le niveau de radioactivité d'origine naturelle mesuré dans les différents compartiments du milieu aquatique est similaire à celle observée lors des études menées les années antérieures. Elle est cohérente avec celle mesurée lors de l'état de référence. Dans l'ensemble des matrices, la radioactivité naturelle est principalement d'origine tellurique (^{40}K et à un degré moindre les chaînes naturelles du ^{232}Th et de l'^{238}U). Les activités mesurées sont cohérentes avec le bruit de fond naturel observé en France [3].

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

D'origine cosmique, le ^{7}Be est systématiquement détecté dans les végétaux. Il est également mesuré dans le sédiment prélevé en aval lointain.

8.3.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine, la radioactivité d'origine artificielle se caractérise en 2019 par la présence de ^{137}Cs, de ^{58}Co, de ^{60}Co, d'^{110m}Ag et d'^{131}I (Tableau 8-25, page 262).

L'activité du ^{137}Cs a été mesurée dans six des huit échantillons analysés. Dans les sédiments, les activités détectées sont équivalentes aux incertitudes de mesures près entre l'amont et l'aval. Son activité augmente en revanche dans les myriophylles prélevées à l'aval proche. Il n'est pas détecté dans les poissons. En 2019, les activités en ^{137}Cs résultent de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl ainsi que probablement des rejets d'effluents du C.N.P.E. En 2019, la détection de ^{60}Co et d'^{110m}Ag dans les phanérogames prélevées à l'amont est liée aux rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. situés en amont sur la Loire et l'augmentation de l'activité en aval montre la contribution de ceux du C.N.P.E. de Chinon-Avoine pour ces radionucléides. La détection de traces de ^{58}Co (phanérogames aval et aval lointain) uniquement en aval de l'installation montre la contribution spécifique des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. au marquage du milieu aquatique environnant.

Lors de l'état de référence de 1977/1978, la présence de traces de ^{137}Cs, de ^{144}Ce et de ^{106}Ru-Rh résultait des dépôts des essais aériens nucléaires et des rejets d'effluents liquides des réacteurs U.N.G.G. des C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux et de Chinon-Avoine (Figure 8-8, page 234, Figure 8-9, page 235, et Figure 8-10, page 236). Depuis 1992, l'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. a été identifiée par la détection régulière de ^{60}Co et la mesure épisodique de ^{134}Cs, de ^{58}Co, d'^{110m}Ag et de ^{54}Mn dans les sédiments et les phanérogames prélevés à l'aval de l'installation. Enfin, la détection ponctuelle de ^{60}Co et d'^{110m}Ag en amont du C.N.P.E. traduit également la contribution des trois C.N.P.E. situés en amont sur la Loire (Saint-Laurent-des-Eaux, Dampierre-en-Burly et Belleville-sur-Loire) à l'apport de radionucléides dans le milieu aquatique. En 2011, la détection de traces de ^{134}Cs dans des sédiments était liée aux retombées de l'accident de Fukushima.

Depuis 1998, des spectrométries gamma sont réalisées sur des échantillons à l'état frais pour rechercher l'^{131}I. Les détections successives en 2005, 2006, 2008, 2009, 2012, 2014, 2017 et 2018 ont montré que les activités en amont étaient supérieures à celles détectées à l'aval, témoignant ainsi de l'existence de points de rejets d'^{131}I en amont (centre hospitalier de Tours). Les analyses de 2019 confirment ce constat.

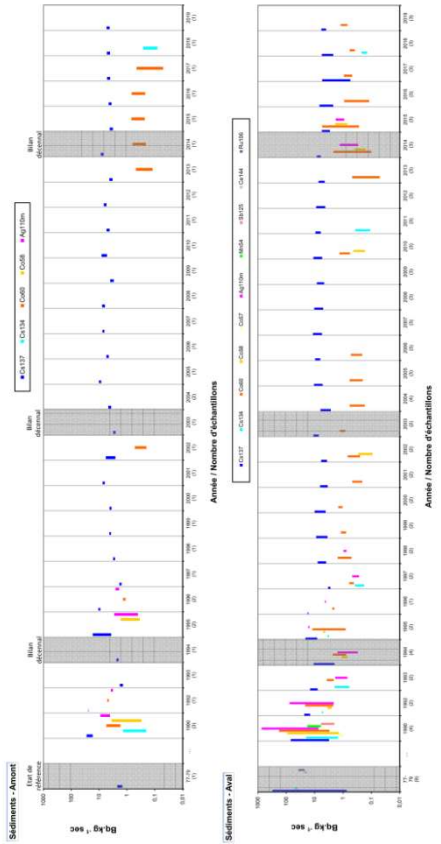


Figure 8-8. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les sédiments prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1979 au suivi radioécologique de 2019.
(*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

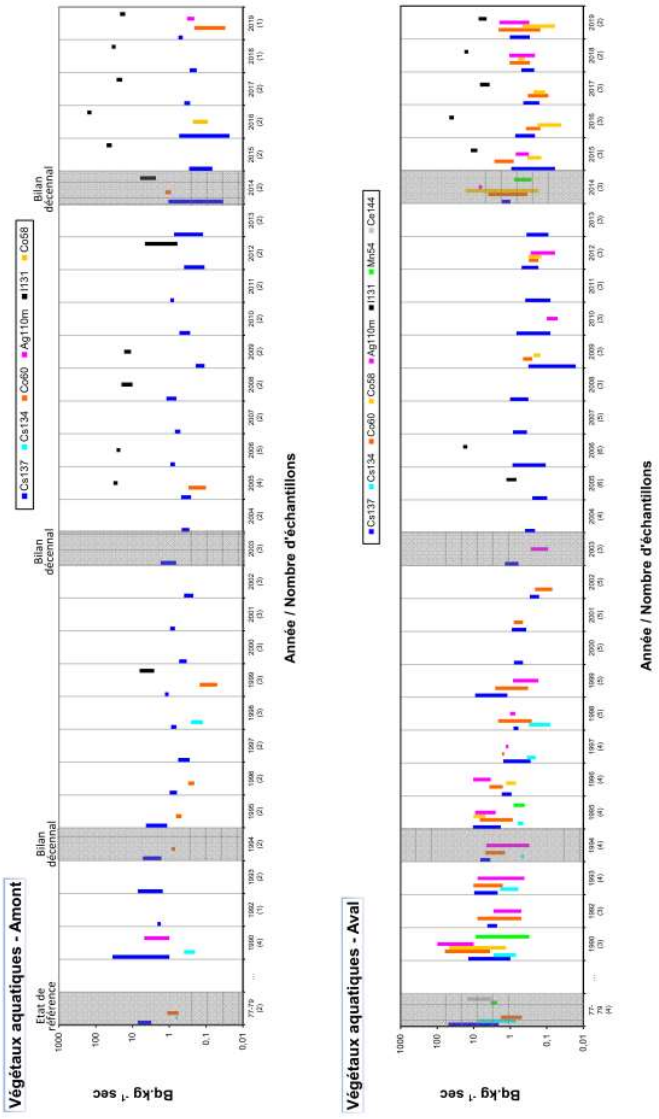


Figure 8-9. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les phanérogames (toutes fractions confondues) prélevées dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1979 au suivi radioécologique de 2019.
(*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

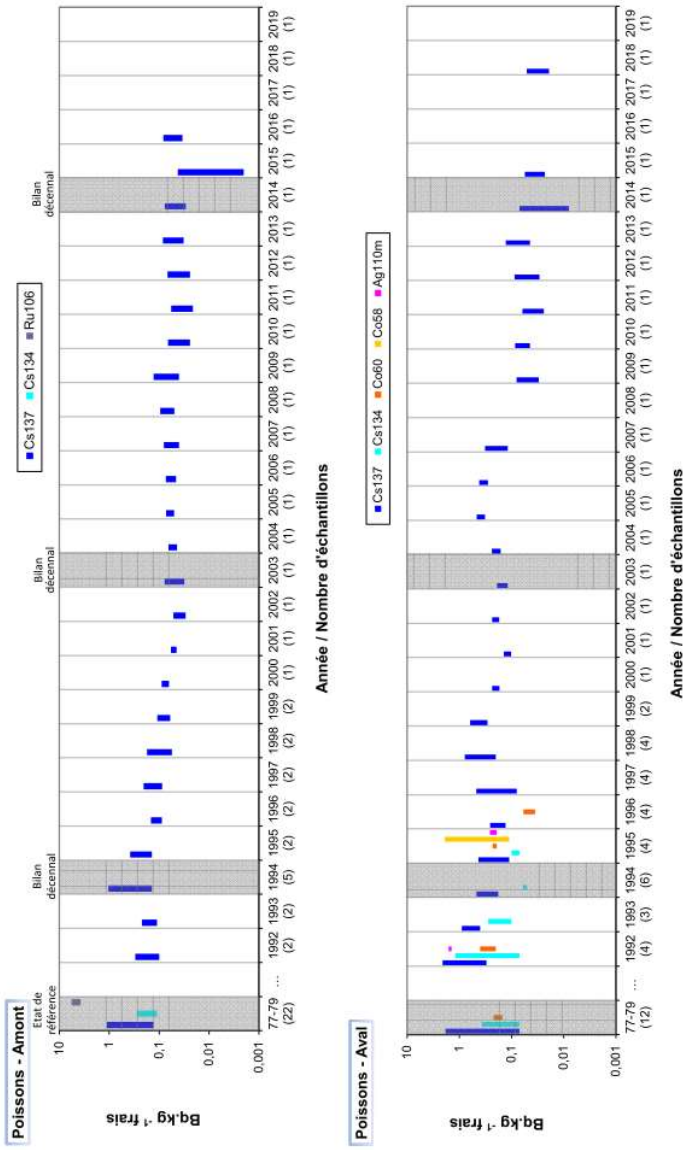


Figure 8-10. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les poissons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1979 au suivi radioécologique de 2019.
(*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

8.3.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

8.3.2.2.1. Tritium

En 2019, les activités volumiques du ^{3}H libre mesurées dans le milieu aquatique (phanérogames immergées, poissons et eaux) varient de 21 à 51 $Bq.L^{-1}$ (Tableau 8-27, page 263). Le marquage observé à l'amont du C.N.P.E. est lié aux rejets d'effluents tritiés des C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire, de Dampierre-en-Burly et de Saint-Laurent-des-Eaux. Les activités détectées sont équivalentes aux incertitudes de mesures près entre l'amont et l'aval et masquent la contribution spécifique des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Chinon-Avoine. La détection de ^{3}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}H au sein de ces milieux récepteurs [9].

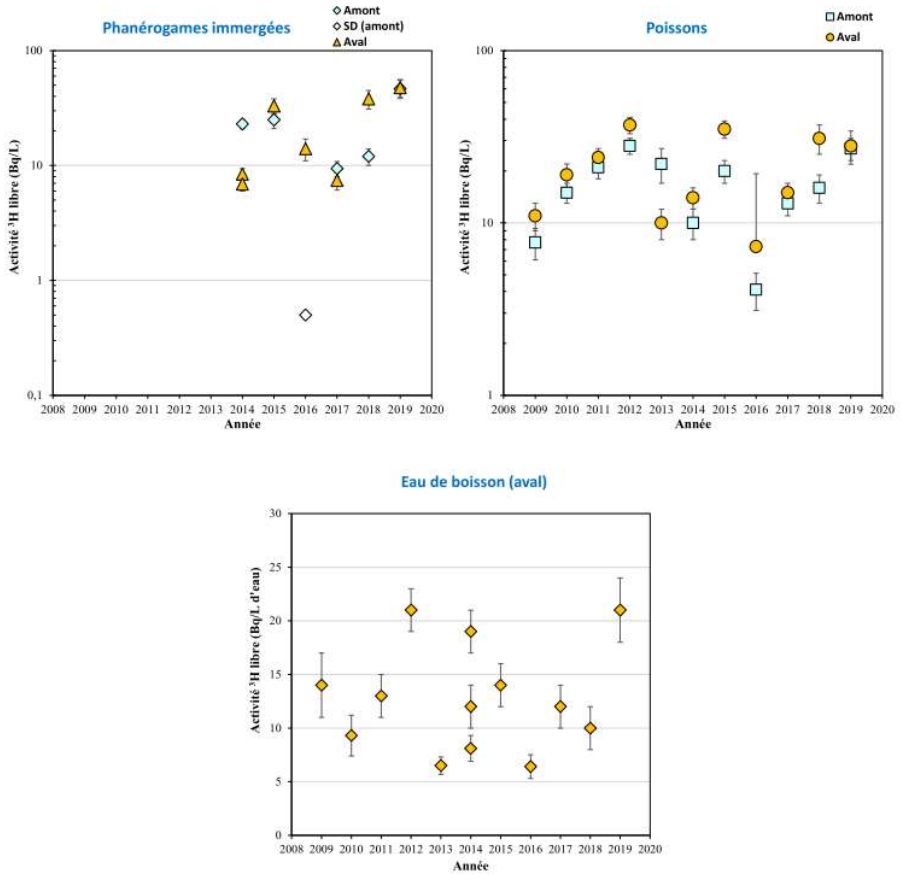


Figure 8-11. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Chinon-Avoine de 2009 à 2019.

Depuis 2009, les activités mesurées dans les échantillons sont systématiquement plus élevées en aval, à l'exception de 2013 et de 2019 pour les poissons et de 2014 et de 2017 pour les phanérogames immergées. Dans les eaux, les activités sont également plus élevées que le bruit de fond ambiant hors influence industrielle. Depuis 2009, la présence de ^{3}H libre est régulièrement mise en évidence dans l'eau de boisson prélevée à Saumur à des niveaux d'activité qui fluctuent entre le seuil de décision analytique et la vingtaine de $Bq.L^{-1}$ en fonction de la concomitance du prélèvement avec une période de rejet ou non. Ce marquage en tritium libre est lié aux rejets d'effluents liquides tritiés du C.N.P.E. de Chinon-Avoine et/ou des C.N.P.E. situés en amont sur la Loire (Saint-Laurent-des-Eaux, Dampierre-en-Burly et Belleville-sur-Loire). En 2019, l'activité mesurée confirme ce constat. Pour rappel, la valeur-guide dans l'eau potable recommandée par l'OMS est de 10000 $Bq.L^{-1}$. La réglementation européenne relative à l'eau potable appliquée par la France fixe par ailleurs une référence de qualité de 100 $Bq.L^{-1}$, au-delà de laquelle des investigations complémentaires doivent être menées pour rechercher la présence de radionucléides artificiels.

Enfin, les analyses de ^{3}H organiquement lié montrent des activités proches de 34 et 45 $Bq.L^{-1}$ d'eau de combustion dans les myriophylles et de 15 et 13 $Bq.L^{-1}$ d'eau de combustion dans les poissons (Tableau 8-28, page 264). En 2019, le marquage constaté à l'amont masque la contribution spécifique des rejets d'effluents liquides tritiés du C.N.P.E. de Chinon-Avoine en particulier dans les poissons. Ces résultats montrent l'influence des rejets de tritium des C.N.P.E. ligériens sur le milieu aquatique.

Ces données sont cohérentes avec les observations des années antérieures.

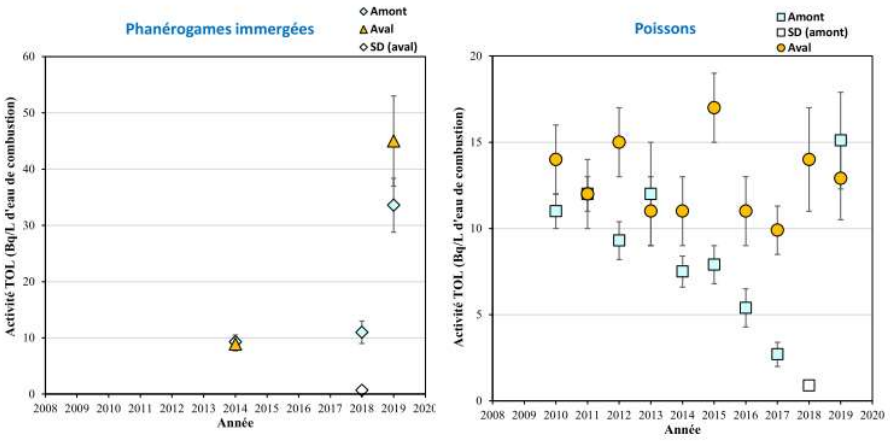


Figure 8-12. Activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Chinon-Avoine de 2009 à 2019.

8.3.2.2.2. Carbone 14

Les résultats sont présentés dans le Tableau 8-29 (page 265). En 2019, les activités en ^{14}C mesurées dans les échantillons prélevés dans le milieu aquatique varient de 242,3±1,0 $Bq.kg^{-1}$ de C (dans les sédiments prélevés à l'amont) à 796,0±4,5 $Bq.kg^{-1}$ de C (dans les myriophylles prélevées à l'aval). Ces valeurs sont supérieures au bruit de fond ambiant hors influence industrielle de 200-220 $.kg^{-1}$ de C [3]. La contribution spécifique des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Chinon-Avoine est mise en évidence par l'augmentation des activités constatée dans les sédiments et les myriophylles. Dans les poissons, le marquage constaté en amont ne permet pas de distinguer cet apport.

Ces observations sont cohérentes avec les données des années antérieures qui soulignent régulièrement le marquage en ^{14}C de l'environnement aquatique lié aux rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. ligériens.

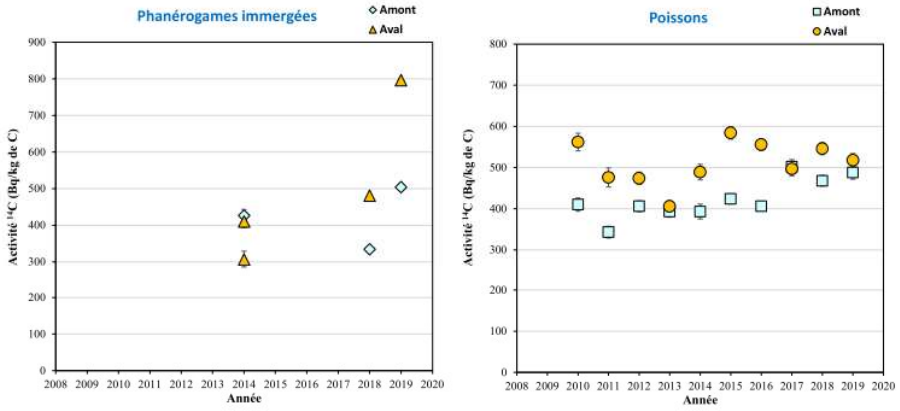


Figure 8-13. Activités spécifiques en ^{14}C mesurées dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Chinon-Avoine de 2009 à 2019.

8.3.2.2.3. Nickel 63 et Fer 55

En 2019, les analyses de ^{63}Ni et de ^{55}Fe dans les sédiments et les phanérogames immergées (myriophylles) montrent des activités inférieures aux seuils de décision (Tableau 8-30, page 265 et Tableau 8-31, page 266).

8.3.2.2.4. Chlore 36

En 2019, les analyses de ^{36}Cl dans les sédiments et les phanérogames immergées (myriophylles) montrent des activités inférieures au seuil de décision (Tableau 8-32, page 266).

8.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du C.N.P.E de Chinon-Avoine

Le suivi radioécologique établi en 2019 montre que le niveau de radioactivité naturelle demeure similaire à celui constaté avant la mise en fonctionnement de l'installation de Chinon-Avoine.

En 2019, la radioactivité d'origine artificielle détectée dans **le milieu terrestre** est liée à la présence du ^{137}Cs. Il provient principalement des retombées des anciens essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Les analyses de ^{14}C réalisées en 2019 sont cohérentes aux incertitudes de mesure près avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle. Les activités du ^{3}H (libre et organiquement lié) mesurées demeurent dans la variabilité environnementale. Enfin, les analyses spécifiques en ^{55}Fe dans les mousses terrestres montrent l'influence des rejets d'effluents du C.N.P.E pour ce radionucléide.

Dans **le milieu aquatique**, le ^{137}Cs est présent en 2019 à l'amont et à l'aval dans les sédiments et les phanérogames immergées (myriophylles). Seules les activités détectées dans les myriophylles montrent l'influence du fonctionnement du C.N.P.E. pour ce radionucléide. En 2019, la présence de ^{137}Cs résulte donc principalement de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl ainsi que probablement des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. La détection de traces de ^{60}Co et d'^{110m}Ag à l'amont montre le marquage du milieu aquatique lié aux rejets d'effluents des C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux, de Dampierre-en-Burly et/ou de Belleville-sur-Loire situés à l'amont. Le marquage lié aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Chinon-Avoine est mis en évidence, d'une part, par l'augmentation de l'activité du ^{60}Co et de l'^{110m}Ag en aval du C.N.P.E. et, d'autre part, par la détection de traces de ^{58}Co uniquement à l'aval de l'installation. En 2019, les analyses de ^{3}H (libre et organiquement lié) et de ^{14}C montrent l'influence sur le milieu aquatique des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Chinon-Avoine et des C.N.P.E. situés en amont sur la Loire.

LISTE DES FIGURES

Figure 8-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine. 220

Figure 8-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. de Chinon-Avoine. 223

Figure 8-3. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des études menées depuis l'état de référence de 1979/1980 au suivi radioécologique de 2019. 225

Figure 8-4. Activités en tritium libre détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Chinon-Avoine de 2009 à 2019. La ligne en pointillées représente la limite de bruit de fond ambiant hors influence industrielle (<3 $Bq.L^{-1}$). 226

Figure 8-5. Activités en tritium organiquement lié détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Chinon-Avoine de 2009 à 2019. La ligne en pointillées représente la limite de bruit de fond ambiant hors influence industrielle (<3 $Bq.L^{-1}$). 227

Figure 8-6. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Chinon-Avoine de 2009 à 2019..... 228

Figure 8-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. de Chinon-Avoine. 232

Figure 8-8. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les sédiments prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1979 au suivi radioécologique de 2019. 234

Figure 8-9. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les phanérogames (toutes fractions confondues) prélevées dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1979 au suivi radioécologique de 2019. 235

Figure 8-10. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les poissons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1979 au suivi radioécologique de 2019. 236

Figure 8-11. Activités en tritium libre détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Chinon-Avoine de 2009 à 2019..... 237

Figure 8-12. Activités en tritium organiquement lié détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Chinon-Avoine de 2009 à 2019. 238

Figure 8-13. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Chinon-Avoine de 2009 à 2019..... 239

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 8-1. Identification des échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019. 222

Tableau 8-2. Identification des échantillons prélevés dans le milieu aquatique de l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019. 231

Tableau 8-3. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ dans les sols prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 ($Bq.kg^{-1}$ sec). 245

Tableau 8-4. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ dans les mousses prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 ($Bq.kg^{-1}$ sec). 246

Tableau 8-5. Activités du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les herbes trimestrielles prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine de 2015 à 2019 ($Bq.kg^{-1}$ de carbone ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$). 247

Tableau 8-6. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les salades prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ sec ; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$). 248

Tableau 8-7. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les herbes prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ sec ; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$). 249

Tableau 8-8. Activités des principaux radionucléides principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les laits prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ sec ; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$). 250

Tableau 8-9. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019. 251

Tableau 8-10. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019. 252

Tableau 8-11. Teneur en iode stable des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2019. 253

Tableau 8-12. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2019. 253

Tableau 8-13. Activité du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2019. 253

Tableau 8-14. Activité du ^{14}C des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2019. 254

Tableau 8-15. Activité du ^{90}Sr des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2019. 255

Tableau 8-16. Activité du ^{55}Fe des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2019. 255

Tableau 8-17. Activité du ^{36}Cl des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2019. 256

Tableau 8-18. Activité des radionucléides émetteurs alpha dans les échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2019. 256

Tableau 8-19. Granulométrie et teneur en matières organiques de l'échantillon de sol prélevé dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019. 256

Tableau 8-20. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ et du ^{3}H libre dans les eaux prélevées dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ sec ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$). 257

Tableau 8-21. Activités des radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les échantillons de sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ sec ; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de C ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$). 258

Tableau 8-22. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les échantillons de végétaux aquatiques (toutes fractions confondues) prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E.de Chinon-Avoine de 2009 à 2019. 259

Tableau 8-23. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les échantillons de poissons (entiers ou fractions) prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E.de Chinon-Avoine de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ frais ; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$). 260

Tableau 8-24. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019. 261

Tableau 8-25. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019. 262

Tableau 8-26. Teneurs en iode stable dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019. 263

Tableau 8-27. Activités du tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019. 263

Tableau 8-28. Activités du tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019. 264

Tableau 8-29. Activités du ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019. **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 8-30. Activités du ^{63}Ni dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019. 265

Tableau 8-31. Activités du ^{55}Fe dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019. 266

Tableau 8-32. Activités du ^{36}Cl dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019. 266

Tableau 8-33. Granulométrie et teneur en matières organiques des échantillons de sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019 267

Tableau 8-3. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ dans les sols prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 (Bq.kg^{-1} sec).

Année de prélèvement	mai 2009	juin 2010	avril 2011	avril 2012	avril 2013	mai/juil./oct. 2014	juin 2015	mai/déc. 2016	juil. 2017	avril 2018	mai 2019
Distance par rapport au site	7,3 km	13,5 km	13,5 km	13,5 km	13,5 km	7,3 à 13,5 km	13,5 km	1,5 et 13,5 km	1,5 km	1,5 km	1,5 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	3,6 (1/1)	2,0 (1/1)	3,5 (1/1)	5,3 (1/1)	2,7 (1/1)	0,85-16 (9/9)	8,3 (1/1)	5,4-7,1 (2/2)	5,1 (1/1)	4,5 (1/1)	3,84 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{241}Am	-	-	-	-	-	0,53-0,81 (2/9)	-	-	-	-	-

« - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 8-4. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ dans les mousses prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 (Bq.kg^{-1} sec).

Année de prélèvement	avril 2009	avril 2010	avril 2011	avril 2012	avril 2013	mai 2014	juin 2015	mai 2016	juil. 2017	avril 2018	mai 2019
Distance par rapport au site	6,6 et 10,9 km	6,6 et 10,9 km	6,6 et 10,9 km	6,6 et 10,9 km	6,6 et 10,9 km	6,6 et 10,9 km	6,6 et 10,9 km	6,6 et 10,9 km	6,6 et 10,9 km	6,6 km	6,6 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	1,7-2,2 (2/2)	1,6 (1/2)	2,1-3,8 (2/2)	2,8-3,3 (2/2)	2,3-3,6 (2/2)	2,3-2,4 (2/2)	2,3-2,5 (2/2)	1,4-2,4 (2/2)	1,7-2,3 (2/2)	2,7 (1/1)	1,2 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{131}I	-	-	20-29 (2/2)	-	-	-	-	-	-	-	-

« - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 8-5. Activités du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les herbes trimestrielles prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine de 2015 à 2019 (^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

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	avril 2018	juil. 2018	oct. 2018	janv. 2019
Distance par rapport au site	1,0 km	1,0 km	1,0 km	1,0 km	1,0 km	1,0 km	1,0 km	1,0 km	1,0 km	1,0 km	1,0 km	1,0 km	1,0 km	1,0 km	1,0 km	1,0 km
Emetteurs β																
^{14}C	239 (1/1)	229 (1/1)	245 (1/1)	245 (1/1)	231 (1/1)	238 (1/1)	240 (1/1)	235 (1/1)	234 (1/1)	239 (1/1)	246 (1/1)	243 (1/1)	225 (1/1)	234 (1/1)	243 (1/1)	237 (1/1)
^{3}H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	0,6 (1/1)	1,1 (1/1)
^{3}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.	-	0,6 (1/1)	1,4 (1/1)

« n.a. » : non analysé, « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 8-6. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les salades prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	sept. 2009	août 2010	oct. 2011	août 2012	juil. 2013	août. 2014	juin 2015	juil. 2016	juil. 2017	juil. 2018	oct. 2019
Distance par rapport au site	6,7 et 14,2 km	6,7 et 14,2 km	12,3 et 14,2 km	12,3 et 14,2 km	12,3 et 14,2 km	12,3 et 14,2 km	12,3 et 14,2 km	12,3 et 14,2 km	12,3 et 14,2 km	12,3 et 14,2 km	12,3 et 14,2 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,28-0,37 (2/2)	0,42-0,45 (2/2)	- (0/2)	0,27 (1/2)	0,27-0,35 (2/2)	0,27-0,30 (2/2)	0,23 (1/2)	0,19-0,20 (2/2)	0,37-0,99 (2/2)	0,48-0,58 (2/2)	0,25-0,36 (2/2)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β											
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	224-226 (2/2)	229-230 (2/2)	231-245 (2/2)	231-232 (2/2)	222,0 (2/2)
^{3}H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,7 (1/1)	0,8-1,0 (2/2)	0,6-8,4 (2/2)	-	2,19-3,76 (2/2)
^{3}H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	3,2 (1/2)	1,2 (1/2)	0,74-2,44 (2/2)

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 8-7. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les herbes prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	mai 2009	juin 2010	mai 2011	avril 2012	avril 2013	mai 2014	juin 2015	mai 2016	juil. 2017	avril/oct. 2018	mai 2019
Distance par rapport au site	7,3 et 11,3 km	11,3 et 13,5 km	11,3 et 13,5 km	11,3 et 13,5 km	11,3 et 13,5 km	11,3 et 13,5 km	11,3 et 13,5 km	11,3 et 13,5 km	11,3 et 13,5 km	1,5 km	1,5 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	0,10-0,16 (2/2)	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	-	-	0,10-0,18 (2/2)	0,23-0,57 (2/2)	1,1 (1/2)	0,66-0,96 (2/2)	0,20-0,35 (2/2)	0,26-0,29 (2/2)	0,17-0,21 (2/2)	0,14 (1/1)	0,077 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β											
^{14}C	n.a.	236 (1/1)	237 (1/1)	242 (1/1)	238 (1/1)	233 (2/2)	232 (1/1)	229 (1/1)	239 (2/2)	-	n.a.
^{3}H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,7 (1/2)	0,5 (1/1)	2,3 (1/1)	1,9-2,1 (2/2)	-	2,38 (1/1)
^{3}H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,8 (1/2)	n.a.	n.a.	1,0-1,3 (2/2)	-	0,77 (1/1)

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 8-8. Activités des principaux radionucléides principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les laits prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	mai 2009	juin 2010	mai 2011	avril 2012	avril 2013	mai 2014	juin 2015	mai 2016	juil. 2017	avril 2018	mai 2019
Distance par rapport au site	7,3 et 11,3 km	11,3 et 13,5 km	11,3 et 13,5 km	11,3 et 13,5 km	11,3 et 13,5 km	11,3 et 13,5 km	11,3 et 13,5 km	11,3 et 13,5 km	4,9 et 11,3 km	4,9 km	4,9 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,026-0,034 (2/2)	0,016 (1/2)	0,015 (1/2)	0,013 (2/2)	0,012-0,031 (2/2)	-	-	0,015 (1/2)	-	0,0098 (1/1)	0,0200 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β											
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	239-248 (2/2)	-	-	-	233 (1/1)	232,0 (1/1)
^{3}H libre	-	-	0,77 (1/1)	-	0,59 (1/1)	-	0,012 (1/2)	1,3-2,5 (2/2)	0,8 (1/1)	1,3 (1/1)	-
^{3}H organiquement lié	n.a.	-	2,6 (1/1)	-	-	1,0 (1/2)	-	-	0,9 (1/1)	3,3 (1/1)	-

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 8-9. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019.

Hors vents	Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs γ d'origine naturelle – Activité Bq.kg^{-1} sec (sols, végétaux), Bq.L^{-1} (lait)					
							^{40}K	Famille de ^{232}Th	Famille de ^{238}U			^{7}Be
								^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Huismes	Mousse terrestre	Mousse *Eurhynchium striatum*	Entier	20/05/19	21/05/19	Frais	210 ± 32	8,3 ± 2,6	< 7,9	n.a.	147 ± 26	208 ± 25
Allonnes	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	21/10/19	15/11/19	Cendres	2173 ± 311	3,13 ± 0,71	2,8 ± 2,4	n.a.	15,6 ± 3,8	161 ± 18
Saint-Patrice	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	21/10/19	15/11/19	Cendres	1972 ± 282	5,59 ± 0,89	6,4 ± 2,3	n.a.	32,5 ± 5,5	331 ± 37
La Chapelle-sur-Loire	Sol non cultivé	Sol de pâturage *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	20/05/19	29/05/19	Sec	799 ± 114	85 ± 11	n.a.	83 ± 23	n.a.	< 1,7
La Chapelle-sur-Loire	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de pâturage	Parties aériennes	20/05/19	29/05/19	Cendres	512 ± 73	< 0,13	< 0,39	n.a.	6,0 ± 1,1	82,7 ± 9,3
Chouzé-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	21/05/19	07/06/19	Cendres	47,5 ± 6,8	< 0,018	< 0,040	n.a.	< 0,067	< 0,034

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

Tableau 8-10. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019.

Hors vents	Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs γ d'origine artificielle – Activité Bq.kg^{-1} sec (sols, végétaux), Bq.L^{-1} (lait)						
							^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{131}I
Huismes	Mousse terrestre	Mousse *Eurhynchium striatum*	Entier	20/05/19	21/05/19	Frais	< 0,59	**1,2 ± 0,6**	< 0,49	< 0,56	< 0,65	< 0,51	< 0,54
Allonnes	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	21/10/19	15/11/19	Cendres	< 0,12	**0,25 ± 0,13**	< 0,15	< 0,16	< 0,15	< 0,13	n.a.
Saint-Patrice	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	21/10/19	15/11/19	Cendres	< 0,094	**0,36 ± 0,12**	< 0,14	< 0,13	< 0,11	< 0,12	n.a.
La Chapelle-sur-Loire	Sol non cultivé	Sol de pâturage *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	20/05/19	29/05/19	Sec	< 0,18	**3,84 ± 0,46**	< 0,17	< 0,17	< 0,22	< 0,21	n.a.
La Chapelle-sur-Loire	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de pâturage	Parties aériennes	20/05/19	29/05/19	Cendres	< 0,027	**0,077 ± 0,031**	< 0,030	< 0,037	< 0,034	< 0,028	n.a.
Chouzé-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	21/05/19	07/06/19	Cendres	< 0,0041	**0,0200 ± 0,0048**	< 0,0046	< 0,0053	< 0,0050	< 0,0043	n.a.

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

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{127}I mg.kg^{-1} frais
Huismes	Mousse terrestre	Mousse *Eurhynchium striatum*	Entier	20/05/19	28/01/20	Lyophilisée	< 16

Tableau 8-11. Teneur en iode stable des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2019.

Hors vents | Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{3}H libre Bq.L^{-1}	^{3}H libre Bq.kg^{-1} frais (végétaux) Bq.L^{-1} de lait
Allonnes	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	21/10/19	13/12/19	Eau de lyophilisation	3,76 ± 0,80	3,56 ± 0,75
Saint-Patrice	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	21/10/19	12/12/19	Eau de lyophilisation	2,19 ± 0,64	2,09 ± 0,61
Musoir	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	02/04/19	29/09/19	Eau de lyophilisation	2,38 ± 0,67	1,09 ± 0,30
Chouzé-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	21/05/19	26/07/19	Eau de lyophilisation	< 0,48	< 0,41

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

Tableau 8-12. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2019.

Hors vents	Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{3}H organiquement lié		
							Bq.L $^{-1}$ d'eau de combustion	Bq.kg $^{-1}$ frais (végétaux) Bq.L $^{-1}$ de lait	Bq.kg $^{-1}$ MO
Allonnes	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	21/10/19	13/12/19	Lyophilisée	2,44 ± 0,70	0,070 ± 0,022	1,86 ± 0,58
Saint-Patrice	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	21/10/19	12/12/19	Lyophilisée	0,74 ± 0,59	0,019 ± 0,015	0,48 ± 0,38
Musoir	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	02/04/19	23/08/19	Lyophilisée	0,77 ± 0,50	0,25 ± 0,16	0,47 ± 0,32
Chouzé-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	21/05/19	19/06/19	Lyophilisée	< 0,51	< 0,046	< 0,39

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

Tableau 8-13. Activité du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2019.

Hors vents	Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{14}C		C tot	^{13}C/^{12}C	PMC
							Bq.kg $^{-1}$ de C	Bq.kg $^{-1}$ frais (végétaux) Bq.L $^{-1}$ de lait	g.kg $^{-1}$ frais (végétaux) g.L $^{-1}$ de lait	‰	%
Allonnes	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	21/10/19	20/06/20	Lyophilisée	222,0 ± 8,0	4,66 ± 0,17	21	-29,38	99
Saint-Patrice	Production agricole	Salade Batavia *Lactuca sativa L.*	Feuilles	21/10/19	01/02/20	Lyophilisée	222,0 ± 8,0	4,13 ± 0,15	19	-30,07	99
Chouzé-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	21/05/19	11/09/19	Lyophilisée	232,0 ± 9,0	15,81 ± 0,61	68	-16,73	101

Tableau 8-14. Activité du ^{14}C des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2019.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{90}Sr	$^{90}Sr/Ca$	Ca
							Bq.kg $^{-1}$ sec	Bq.g $^{-1}$ Ca	g.kg $^{-1}$ sec
Huismes	Mousse terrestre	Mousse *Eurhynchium striatum*	Entier	20/05/19	22/11/19	Cendres	1,50 ± 0,30	0,283 ± 0,057	5,3
La Chapelle-sur-Loire	Sol non cultivé	Sol de pâturage *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	20/05/19	22/11/19	Calciné	0,57 ± 0,12	0,098 ± 0,021	5,8

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

Tableau 8-15. Activité du ^{90}Sr des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2019.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{55}Fe
							Bq.kg^{-1} sec
Huismes	Mousse terrestre	Mousse *Eurhynchium striatum*	Entier	20/05/19	22/02/20	Cendres	10,8 ± 3,0
La Chapelle-sur-Loire	Sol non cultivé	Sol de pâturage *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	18/09/19	15/03/20	Calciné	< 8,7
Chouzé-sur-Loire	Sol cultivé	Sol de céréale *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	18/09/19	15/03/20	Calciné	< 5,1

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

Tableau 8-16. Activité du ^{55}Fe des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2019.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{36}Cl Bq.kg^{-1} sec
La Chapelle-sur-Loire	Sol non cultivé	Sol de pâturage *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	20/05/19	02/02/21	Sec	< 3,5
La Chapelle-sur-Loire	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de pâturage	Parties aériennes	20/05/19	06/02/21	Sec	< 2,1

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

Tableau 8-17. Activité du ^{36}Cl des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2019.

Hors vents | Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure		Qualité	Emetteurs α			Rapports	
					$^{239+240}Pu$ $^{238+240}Pu$	^{241}Am		Activité mBq.kg^{-1} sec (sols, végétaux)				
								^{238}Pu	$^{239+240}Pu$	^{241}Am	$^{239+240}Pu/^{239+240}Pu$	$^{241}Am/^{239+240}Pu$
La Roche-Clermault	Mousse terrestre	Mousse *Eurhynchium striatum*	Entier	20/05/19	04/11/19	15/11/19	Cendres	4,9 ± 2,7	37,0 ± 7,0	6,6 ± 3,7	0,13 ± 0,10	0,18 ± 0,13
Huismes	Mousse terrestre	Mousse *Eurhynchium striatum*	Entier	20/05/19	04/11/19	15/11/19	Cendres	4,9 ± 3,0	47 ± 10	8,4 ± 3,0	0,10 ± 0,09	0,18 ± 0,10
Cravant	Sol de pâturage ou de prairie	*Sol de pâturage Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	20/05/19	18/07/19	28/01/20	Cendres	6,2 ± 1,9	178 ± 35	62 ± 24	0,035 ± 0,018	0,35 ± 0,20
La Chapelle-sur-Loire	Sol non cultivé	Sol de pâturage *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	20/05/19	18/07/19	28/01/20	Cendres	3,6 ± 2,1	96 ± 12	26 ± 13	0,038 ± 0,027	0,27 ± 0,17

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

Tableau 8-18. Activité des radionucléides émetteurs alpha dans les échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2019.

Sous les vents

Station	Nature	Date de prélèvement	Analyses	%
La Chapelle-sur-Loire	Sol de pâturage *Horizon 0 - 5 cm*	20/05/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	20,50
			Limons fins	19,40
			Limons grossiers	18,20
			Sables fins	34,60
			Sables grossiers	7,40
			Teneur en matières organiques	3,77

Tableau 8-19. Granulométrie et teneur en matières organiques de l'échantillon de sol prélevé dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019.

Tableau 8-20. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ et du ^{3}H libre dans les eaux prélevées dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des suivis radioécologiques annuels de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	avril 2009	avril 2010	avril 2011	avril 2012	avril 2013	mai/août 2014	juin 2015	mai 2016	juil. 2017	avril/oct. 2018	mai 2019
Distance par rapport au site	16 km	16 km	16 km	16 km	16 km	4 à 16 km	16 km	16 km	16 km	5,8 et 16 km	5,1 à 16 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{137}Cs	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{58}Co	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{60}Co	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{110m}Ag	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{54}Mn	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Emetteurs β											
^{3}H libre	14 (1/1)	9,3 (1/1)	13 (1/1)	21 (1/1)	6,5 (1/1)	0,96-19 (4/4)	14 (1/1)	6,4 (1/1)	12 (1/1)	10-31 (2/2)	21,0-51,0 (4/4)

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 8-21. Activités des radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les échantillons de sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de C ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	juin 2009		juil. 2010		juil. 2011		juil. 2012		juil. 2013		sept./oct. 2014		sept./oct. 2015		oct. 2016		oct. 2017		oct. 2018		sept. 2019	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																						
^{134}Cs	-	-	-	-	-	0,21-0,25 (2/3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17 (1/1)	0,18 (2/2)	-	-
^{137}Cs	3,5 (1/1)	5,6-7,4 (3/3)	6,7 (1/1)	6,1-10,1 (3/3)	4,8 (1/1)	6,9-8,3 (3/3)	6,1 (1/1)	4,8-7,8 (3/3)	3,8 (1/1)	5,0-6,5 (3/3)	7,8 (1/1)	6,9-7,4 (3/3)	3,7 (1/1)	3,4-5,0 (3/3)	4,1 (1/1)	2,6-6,1 (3/3)	4,6 (1/1)	0,67-4,8 (3/3)	4,7 (1/1)	2,5-5,3 (2/2)	4,84 (1/1)	4,44-5,24 (2/2)
^{58}Co	-	-	-	0,3 (1/3)	-	-	-	-	-	-	-	0,27 (1/3)	-	1,1-1,7 (2/3)	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	0,95 (1/3)	-	-	-	-	0,3 (1/1)	0,23-0,29 (2/3)	0,42 (1/1)	0,18-1,9 (3/3)	0,46 (1/1)	0,46-4,7 (3/3)	0,4 (1/1)	0,29-0,71 (3/3)	0,25 (1/1)	0,70 (1/3)	-	0,48 (2/2)	-	0,95 (1/2)
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40-1,1 (2/3)	-	1,1-1,6 (2/3)	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β																						
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	360 (2/2)	405-428 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	242,3 (1/1)	256,5 (1/1)
^{3}H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	10 (1/1)	9,2-14 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,97 (1/1)	3,9 (1/1)

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 8-22. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les échantillons de végétaux aquatiques (toutes fractions confondues) prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E.de Chinon-Avoine de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de C ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	juin/oct. 2009		juil./sept. 2010		juil. 2011		juil./sept. 2012		juil./sept. 2013		juil./sept. 2014		juil./sept./oct. 2015		oct. 2016		oct. 2017		oct. 2018		sept. 2019	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																						
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,15 (1/2)	0,044-0,22 (3/3)	0,32-0,47 (2/2)	0,11-0,60 (3/3)	0,84 (1/2)	0,11-0,34 (3/3)	0,15-0,35 (2/2)	0,20-0,44 (3/3)	0,15-0,63 (2/2)	0,13-0,30 (3/3)	0,060-0,94 (2/2)	1,2-1,5 (2/4)	0,088-0,23 (2/2)	0,10-0,83 (3/3)	0,061-0,47 (2/2)	0,26-0,63 (3/3)	0,33 (1/1)	0,21-0,37 (2/2)	0,23 (1/1)	0,43 (2/2)	0,496 (1/1)	0,348-0,92 (2/2)
^{58}Co	-	0,19 (1/3)	-		-		-	0,23 (1/3)	-	-	-	0,28-15 (2/4)	-	0,24 (1/3)	0,16 (1/2)	-	-	0,17 (1/2)	-	0,51 (1/2)	-	0,098-0,400 (2/2)
^{60}Co	-	0,35 (1/3)	-	-	-	-	-	0,24 (1/3)	-	-	1,1 (1/2)	0,49-3,6 (2/4)	-	1,0-2,4 (2/3)	-	0,21-0,26 (2/3)	-	0,21 (1/2)	-	0,40-0,87 (2/2)	0,119 (1/1)	0,240-1,83 (2/2)
^{110m}Ag	-	-	-	0,074 (1/3)	-	-	-	0,17 (1/3)	-	-	-	6,6 (1/4)	-	0,38-0,63 (2/3)	-	0,11 (1/3)	-	-	-	0,28-0,93 (2/2)	0,266 (1/1)	0,360-1,78 (2/2)
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,52 (1/4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{131}I	14 (1/1)	-		-		-	2,6 (1/1)	-	-	-	4,3 (1/2)	-	44 (1/1)	10 (1/1)	150 (1/1)	41 (1/1)	23 (1/1)	5,2 (1/1)	33 (1/1)	16 (1/1)	18,8 (1/1)	5,9 (1/1)
Emetteurs β																						
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	426 (1/1)	306-410 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	334 (1/1)	481 (1/1)	504,0 (1/1)	796,0 (1/1)
^{3}H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	23 (1/1)	6,9-8,4 (2/2)	25 (1/1)	33 (1/1)	3,8 (1/1)	14 (1/1)	9,4 (1/1)	7,4 (1/1)	12 (1/1)	38 (1/1)	46,6 (1/1)	47,6 (1/1)
^{3}H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	9,3 (1/1)	8,2-8,9 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	11 (1/1)	-	33,6 (1/1)	45,0 (1/1)

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 8-23. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les échantillons de poissons (entiers ou fractions) prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E.de Chinon-Avoine de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} frais ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	août 2009		juin 2010		juin 2011		oct. 2012		sept. 2013		sept./oct. 2014		oct. 2015		oct. 2016		sept. 2017		oct. 2018		oct. 2019	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																						
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,086 (1/1)	0,056 (1/1)	0,045 (1/1)	0,065 (1/1)	0,039 (1/1)	0,043 (1/1)	0,046 (1/1)	0,058 (1/1)	0,058 (1/1)	0,086 (1/1)	0,053 (1/1)	0,039 (1/1)	0,022 (1/1)	0,039 (1/1)	0,058 (1/1)	-	-	-	-	0,035 (1/1)	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β																						
^{14}C	n.a.	n.a.	410 (1/1)	562 (1/1)	343 (1/1)	476 (1/1)	406 (1/1)	474 (1/1)	393 (1/1)	406 (1/1)	393 (1/1)	489 (1/1)	424 (1/1)	584 (1/1)	406 (1/1)	556 (1/1)	502 (1/1)	497 (1/1)	468 (1/1)	546 (1/1)	488 (1/1)	518 (1/1)
^{3}H libre	7,7 (1/1)	11 (1/1)	15 (1/1)	19 (1/1)	21 (1/1)	24 (1/1)	28 (1/1)	37 (1/1)	22 (1/1)	10 (1/1)	10 (1/1)	14 (1/1)	20 (1/1)	35 (1/1)	4,1 (1/1)	7,3 (1/1)	13 (1/1)	15 (1/1)	16 (1/1)	31 (1/1)	27,0 (1/1)	28,0 (1/1)
^{3}H organiquement lié	n.a.	n.a.	11 (1/1)	14 (1/1)	12 (1/1)	12 (1/1)	9,3 (1/1)	15 (1/1)	12 (1/1)	11 (1/1)	7,5 (1/1)	11 (1/1)	7,9 (1/1)	17 (1/1)	5,4 (1/1)	11 (1/1)	2,7 (1/1)	9,9 (1/1)	-	14 (1/1)	15,1 (1/1)	12,9 (1/1)

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 8-24. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs γ d'origine naturelle Activité Bq.kg^{-1} sec (sédiments, végétaux), Bq.kg^{-1} frais (poissons)					
							^{40}K	Famille de ^{232}Th ^{228}Ac	Famille de ^{238}U ^{234}Th	Famille de ^{238}U ^{234m}Pa	Famille de ^{238}U ^{210}Pb	^{7}Be
Bréhémont Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/19	29/01/20	Sec	514 ± 74	59,6 ± 7,8	n.a.	40 ± 23	n.a.	< 8,3
Bertignolles Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/19	28/01/20	Sec	521 ± 75	59,9 ± 7,8	n.a.	64 ± 24	n.a.	< 8,4
Port de Varennes Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	27/09/19	13/03/20	Sec	492 ± 71	62,6 ± 8,1	n.a.	26 ± 21	n.a.	21,6 ± 5,7
Bréhémont Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	18/10/19	Cendres	453 ± 65	31,8 ± 4,1	11,4 ± 2,3	n.a.	28,3 ± 4,5	76,4 ± 8,6
Bertignolles Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	25/10/19	Cendres	427 ± 61	22,5 ± 2,9	14,5 ± 3,0	n.a.	46,6 ± 7,1	127 ± 14
Port de Varennes Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	11/10/19	Cendres	530 ± 76	36,0 ± 4,7	10,3 ± 2,2	n.a.	21,6 ± 3,6	81,4 ± 9,2
L'Ile Saint-Martin Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	25/10/19	23/12/19	Cendres	103 ± 15	< 0,068	< 0,14	n.a.	< 0,20	< 0,23
Chouzé-sur-Loire Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	25/10/19	20/01/20	Cendres	104 ± 15	< 0,089	< 0,19	n.a.	< 0,27	< 0,46

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

Suivi radioécologique de l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Loire – Année 2019
C.N.P.E. de Chinon-Avoine
Rapport SUB/RE/RC/Y-L

Tableau 8-25. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs γ d'origine artificielle Activité Bq.kg^{-1} sec (sédiments, végétaux), Bq.kg^{-1} frais (poissons)						
							^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{131}I
Bréhémont Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/19	29/01/20	Sec	< 0,23	**4,84 ± 0,57**	< 0,58	< 0,20	< 0,35	< 0,33	n.a.
Bertignolles Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/19	28/01/19	Sec	< 0,24	**5,24 ± 0,61**	< 0,59	< 0,21	< 0,34	< 0,33	n.a.
Port de Varennes Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	27/09/19	13/03/20	Sec	< 0,21	**4,44 ± 0,52**	< 0,83	**0,95 ± 0,26**	< 0,29	< 0,33	n.a.
Bréhémont Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	18/10/19	Cendres	< 0,071	**0,496 ± 0,072**	< 0,076	**0,119 ± 0,087**	**0,266 ± 0,056**	< 0,084	n.a.
Bréhémont Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	24/10/19	24/10/19	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	**18,8 ± 3,1**
Bertignolles Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	25/10/19	Cendres	< 0,086	**0,92 ± 0,11**	**0,400 ± 0,065**	**1,83 ± 0,28**	**1,78 ± 0,21**	< 0,092	n.a.
Bertignolles Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	24/10/19	24/10/19	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	**5,9 ± 1,5**
Port de Varennes Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	11/10/19	Cendres	< 0,075	**0,348 ± 0,057**	**0,098 ± 0,038**	**0,240 ± 0,090**	**0,360 ± 0,064**	< 0,088	n.a.

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

Amont	Aval

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{127}I mg.kg^{-1} frais
Bréhémont Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	21/10/20	Lyophilisée	< 5,9
Bertignolles Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	21/10/20	Lyophilisée	< 6,6

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

Tableau 8-26. Teneurs en iode stable dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019.

Amont	Aval

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{3}H libre Bq.L^{-1}	^{3}H libre Bq.kg^{-1} frais
Bréhémont Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	18/11/19	Eau de lyophilisation	46,6 ± 8,3	41,1 ± 7,3
Bertignolles Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	27/11/19	Eau de lyophilisation	47,6 ± 8,4	41,3 ± 7,3
L'Ile Saint-Martin Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	25/10/19	14/12/19	Eau de lyophilisation	27,0 ± 4,0	19,9 ± 3,0
Chouzé-sur-Loire Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	25/10/19	18/01/20	Eau de lyophilisation	28,0 ± 6,1	20,4 ± 4,4
Saumur, Station du Petit-Puy	Eau	Eau de boisson	Entier	21/05/19	08/07/19	Entier	21,0 ± 3,0	-
Chouzé-sur-Loire	Eau	Eau d'irrigation	Entier	21/05/19	30/10/19	Entier	29,0 ± 3,0	-
Bréhémont Rive gauche	Eau	Eau de fleuve	Entier	26/09/19	01/11/19	Entier	46,6 ± 8,2	-
Bertignolles Rive gauche	Eau	Eau de fleuve	Entier	26/09/19	01/11/19	Entier	51,0 ± 6,0	-

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

Tableau 8-27. Activités du tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019.

Amont	Aval

							^{3}H organiquement lié		
Station	**Nature**	**Espèce**	**Fraction**	**Date de prélèvement**	**Date de mesure**	**Qualité**	**Bq.L^{-1} d'eau de combustion**	**Bq.kg^{-1} sec (sédiments) Bq.kg^{-1} frais (végétaux, poissons)**	**Bq.kg^{-1} MO**
Bréhémont Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/19	11/04/2020	Lyophilisée	2,97 ± 0,86	0,32 ± 0,15	1,90 ± 0,85
Bertignolles Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/19	03/04/2020	Lyophilisée	3,9 ± 1,3	0,39 ± 0,19	2,4 ± 1,2
Bréhémont Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	18/11/19	Lyophilisée	33,6 ± 4,8	1,81 ± 0,41	20,8 ± 4,8
Bertignolles Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	27/11/19	Lyophilisée	45,0 ± 8,0	2,71 ± 0,62	30,7 ± 7,0
L'Ile Saint-Martin Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	25/10/19	06/01/20	Lyophilisée	15,1 ± 2,8	2,73 ± 0,58	11,1 ± 2,4
Chouzé-sur-Loire Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	25/10/19	20/01/20	Lyophilisée	12,9 ± 2,4	2,41 ± 0,53	9,5 ± 2,1

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

Tableau 8-28. Activités du tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019.

Amont	Aval

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{14}C		C tot	$^{13}C/^{12}C$	PMC
							Bq.kg $^{-1}$ de C	Bq.kg $^{-1}$ sec (sédiments) Bq.kg $^{-1}$ frais (végétaux, poissons) Bq.L $^{-1}$ (eaux)	g.kg $^{-1}$ sec (sédiments) g.kg $^{-1}$ frais (végétaux, poissons) g.L $^{-1}$ (eaux)	‰	%
Bréhémont Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/19	10/12/20	Lyophilisée	242,3 ± 1,0	15,410 ± 0,064	64	-21,92	102
Bertignolles Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/19	10/12/20	Lyophilisée	256,5 ± 1,2	20,78 ± 0,10	81	-25,23	108
Bréhémont Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	25/03/20	Lyophilisée	504,0 ± 3,0	20,88 ± 0,12	41	-21,89	212
Bertignolles Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	25/03/20	Lyophilisée	796,0 ± 4,5	32,39 ± 0,18	41	-19,94	335
L'Ile Saint-Martin Rives gauche et droite	Poissons	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	25/10/19	26/06/20	Lyophilisée	488 ± 16	70,9 ± 2,3	145	-26,24	205
Chouzé-sur-Loire Rives gauche et droite	Poissons	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	25/10/19	30/06/20	Lyophilisée	518 ± 16	78,9 ± 2,4	152	-25,33	218
Bréhémont Rive gauche	Eau	Eau de rivière	Entier	25/10/19	22/11/19	Lyophilisée	516,2 ± 3,5	0,011666 ± 0,000079	0,0226	-17,83	217
Bertignolles Rive gauche	Eau	Eau de rivière	Entier	25/10/19	22/11/19	Lyophilisée	514,5 ± 3,5	0,01667 ± 0,00011	0,0324	-20,46	216

Tableau 8-29. Activités du ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019.

Amont	Aval

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{63}Ni
							Bq.kg $^{-1}$ sec
Bréhémont Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/19	09/07/20	Calciné	< 0,67
Bertignolles Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/19	11/07/19	Calciné	< 0,81
Bréhémont Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	13/01/20	Cendres	< 0,27
Bertignolles Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	13/01/20	Cendres	< 0,57

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

Tableau 8-30. Activités du ^{63}Ni dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019.

Amont	Aval

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{55}Fe Bq.kg $^{-1}$ sec
Bréhémont Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/19	07/09/20	Calciné	< 15
Bertignolles Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/19	08/09/20	Calciné	< 12
Bréhémont Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	23/08/20	Cendres	< 1,9
Bertignolles Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	23/08/20	Cendres	< 1,8

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

Tableau 8-31. Activités du ^{55}Fe dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019.

Amont	Aval

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{36}Cl Bq.kg $^{-1}$ sec
Bréhémont Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/19	03/02/21	Calciné	< 8,7
Bertignolles Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/19	04/02/21	Calciné	< 8,5
Bréhémont Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	04/02/21	Cendres	< 2,2
Bertignolles Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle *Myriophyllum spicatum*	Partie aérienne	26/09/19	05/02/21	Cendres	< 2,1

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

Tableau 8-32. Activités du ^{36}Cl dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

Station	Nature	Date de prélèvement	Analyses	%
Bréhémont Rive gauche	Sédiment	26/09/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	35,30
			Limons fins	27,70
			Limons grossiers	9,90
			Sables fins	8,30
			Sables grossiers	5,50
			Teneur en matières organiques	12,20
Bertignolles Rive gauche	Sédiment	26/09/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	33,80
			Limons fins	23,30
			Limons grossiers	7,80
			Sables fins	17,50
			Sables grossiers	5,50
			Teneur en matières organiques	11,70
Port de Varennes Rive droite	Sédiment	27/09/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	29,30
			Limons fins	32,50
			Limons grossiers	10,30
			Sables fins	5,10
			Sables grossiers	10,20
			Teneur en matières organiques	12,70

Tableau 8-33. Granulométrie et teneur en matières organiques des échantillons de sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2019

Bibliographie

[1] Electricité de France. Site internet : https://www.edf.fr/centrale-nucleaire-chinon.

[2] EDF. Dossier de presse. La centrale nucléaire de Chinon, une production d'électricité au cœur de la région Centre. Février 2012.

[3] IRSN. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017. Rapport de mission 2018, 353 p., 2018.

[4] 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.

[5] IRSN. Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement. Rapport IRSN/PRP-ENV/SERIS/2017-00004, 74 p., 2017.

[6] Centre de Datation par le RadioCarbone. Site internet : http://carbon14.univ-lyon1.fr.

[7] IRSN : Fiche radionucléide – Strontium 90 et environnement. https://www.irsn.fr/Strontium90.pdf.

[8] Duffa, C., 2001. Répartition du plutonium et de l'américium dans l'environnement terrestre de la basse vallée du Rhône, in Géosciences de l'environnement, Aix-Marseille III. 179 p.

[9] Gontier G. et Siclet F. Le tritium organique dans les écosystèmes d'eau douce : évolution à long terme dans l'environnement des centres nucléaires de production d'électricité français. Radioprotection, Vol. 46, n°4, 457-491, 2011.

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

- Année 2019 -

Bassin de la Loire

Belleville-sur-Loire

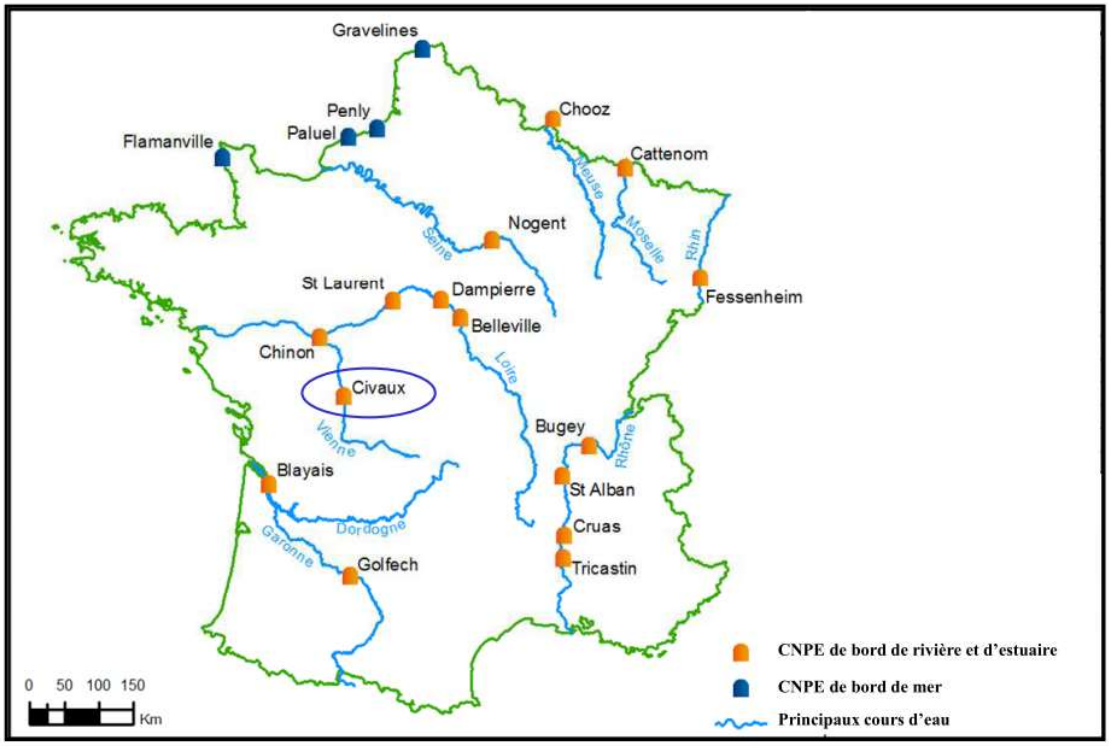
Dampierre-en-Burly

Saint-Laurent-des-Eaux

Chinon-Avoine

Civaux

C.N.P.E. de Civaux



Source : EDF/DIPDE.

9. Etat radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Civaux 261
9.1. Généralités et chronologie des études radiécologiques 261
9.2. Etat radiologique de l'environnement terrestre 263
9.2.1. Stratégie d'échantillonnage 281
9.2.2. Résultats et interprétation 285
9.2.2.1.Radionucléides émetteurs gamma *285*
9.2.2.2.Radionucléides émetteurs bêta *287*
9.3. Etat radiologique de l'environnement aquatique 270
9.3.1. Stratégie d'échantillonnage 270
9.3.2. Résultats et interprétation 273
9.3.2.1.Radionucléides émetteurs gamma *273*
9.3.2.2.Radionucléides émetteurs bêta *278*
9.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du C.N.P.E de Civaux ***280***

Résumé

L'objectif du suivi radioécologique du C.N.P.E. de Civaux 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 2019 montre que le niveau de radioactivité naturelle demeure similaire à celui mesuré avant la mise en fonctionnement de l'installation de Civaux.

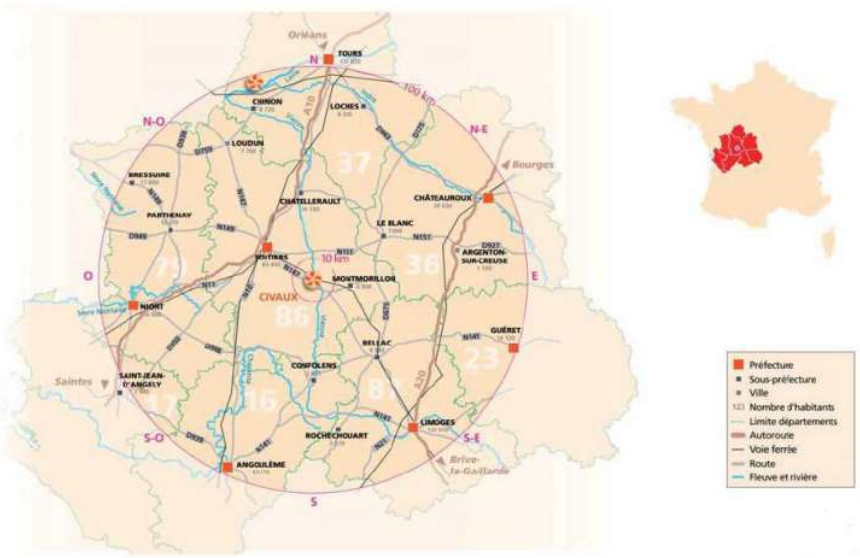
Dans **le milieu terrestre**, la radioactivité d'origine artificielle est liée à la présence du ^{137}Cs. Le ^{137}Cs provient principalement des retombées des anciens essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. En 2019, les analyses de ^{14}C réalisées sont cohérentes aux incertitudes de mesure près avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle. Dans la continuité des années antérieures, les activités en ^{3}H (libre et organiquement lié) sont cohérentes avec les valeurs attendues en dehors de tout apport industriel local.

En 2019, le ^{137}Cs est présent dans tous les compartiments **du milieu aquatique** aussi bien en amont qu'en aval de l'installation. Aucune influence des rejets d'effluents liquides n'est mise en évidence pour ce radionucléide. Le ^{137}Cs provient de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. En 2019, la présence de traces de ^{134}Cs et de ^{60}Co à l'aval de l'installation souligne le marquage du milieu récepteur par les rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Civaux de façon cohérente aux résultats des suivis radioécologiques antérieurs. Les analyses de ^{3}H (libre et organiquement lié), de ^{14}C et de ^{63}Ni montrent l'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Civaux sur le milieu aquatique environnant. Enfin, la recherche spécifique du ^{55}Fe montre que ce radionucléide n'est pas détecté dans l'environnement aquatique de l'installation.

9. Etat radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Civaux

9.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques

Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité (C.N.P.E.) de Civaux est situé dans le département de la Vienne (86), sur la commune de Civaux, à 8 km de Lussac-les-Châteaux et 12 km de Chauvigny [1,2]. L'installation se situe sur la rive gauche de la Vienne.



Carte 1. Implantation géographique du C.N.P.E. de Civaux.

Photo 1. C.N.P.E. de Civaux. Crédit : www.edf.fr.

La figure 9-1 (page 280) présente la chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Civaux depuis 1981. Une actualisation de l'état de référence a eu lieu pendant les années 1996 et 1997 avant le couplage du premier réacteur en 1997.

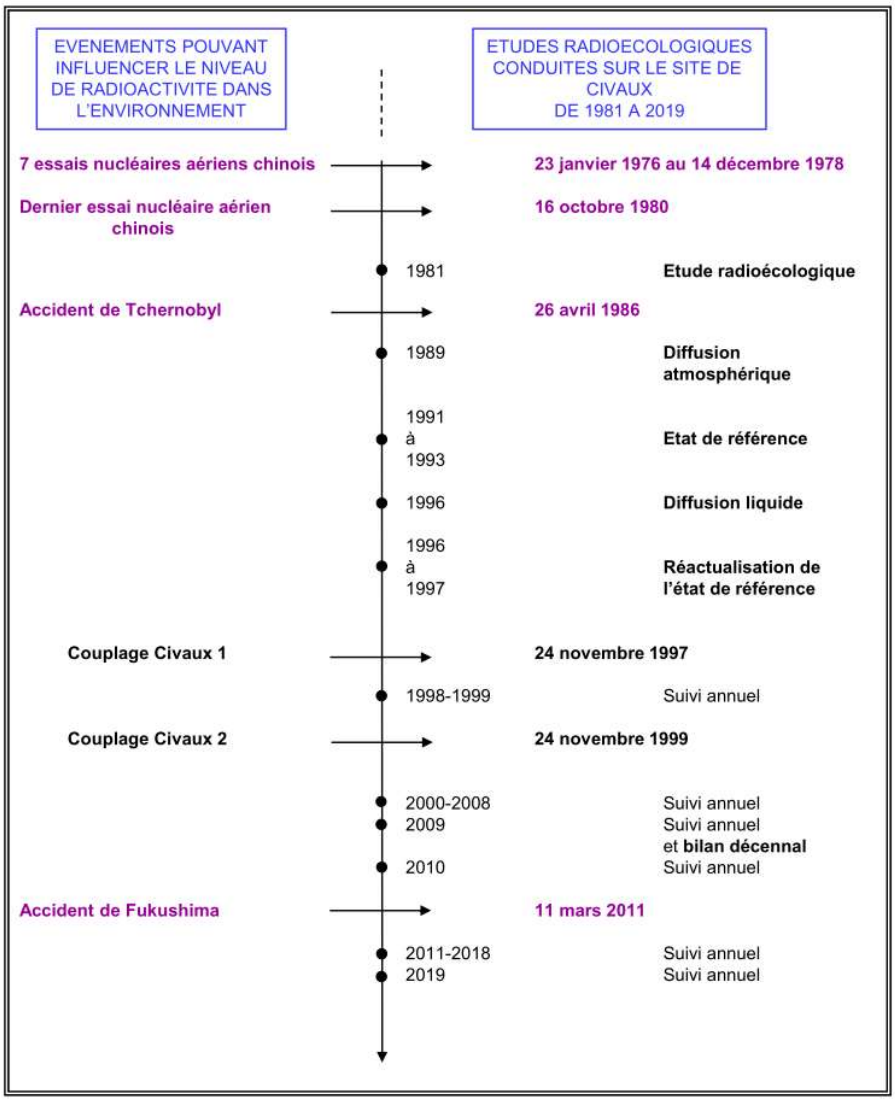


Figure 9-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Civaux.

9.2. Etat radiologique de l'environnement terrestre

9.2.1. Stratégie d'échantillonnage

Le tableau 9-1 (page 282) 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 9-2 (page 284) présente les stations de prélèvement et la nature des échantillons prélevés en 2019.

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 9-2 (page 284), les zones hors des vents dominants donc non influencées (« ZHV » dans la suite du texte) par les rejets d'effluents atmosphériques du C.N.P.E. sont situées au Nord-Ouest, au Sud et au Sud-Est de l'installation alors que les zones sous les vents dominants et potentiellement influencées (« ZSV » dans la suite du texte) se situent sur un axe Sud-Ouest Nord-Est quasi-perpendiculaire à la Vienne.

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 2019, quatre prélèvements d'herbe 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.

Hors vents | Sous les vents

Station	Situation par rapport à la centrale	Coordonnées WGS84		Nature	Espèce	Fraction	Prélèvement	Type de mesure	Rapport fraîche/	Rapport sec/cendres
		Latitude	Longitude							
Bonnes	16,8 km NNO	46,60056	0,58806	Mousse terrestre	Mousse *Rhytidiadelphus* / *Hylocomium*	Entier	20/06/18	Spectrométrie γ en frais (bde 131)	1,68	-
Cubord (Le Pré)	1,8 km NE	46,46944	0,68111	Mousse terrestre	Mousse *Rhytidiadelphus* / *Hylocomium*	Entier	09/04/19	Spectrométrie γ en frais (bde 131)	1,32	-
Bignoux	23,8 km NO	46,61056	0,43667	Production agricole	Salade Laitue *Lactuca sativa* L.	Feuilles	24/06/19	Spectrométrie γ	18,50	6,39
								Carbone 14	15,26	-
Chapelle-Viviers	8,1 km ENE	46,46889	0,72917	Production agricole	Salade Laitue *Lactuca sativa* L.	Feuilles	24/06/19	Spectrométrie γ	9,06	6,90
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	8,36	-
Montamisé	26,0 km NNO	46,61306	0,40111	Production agricole	Blé	Entier	22/07/19	Spectrométrie γ	1,04	55,73
Chapelle-Viviers	4,3 km ENE	46,46333	0,70667	Production agricole	Blé	Entier	23/07/19	Spectrométrie γ	1,12	54,34
Roches Prémarié	25,0 km ONO	46,48806	0,33000	Production agricole	Pomme	Entier	21/10/19	Spectrométrie γ	7,07	53,61
Bonnes	19,3 km N	46,62500	0,57167	Production agricole	Pomme	Entier	21/10/19	Spectrométrie γ	7,81	39,78
Vallières La Roussière	4,0 km N	46,49222	0,65472	Production agricole	Viande de bison	Entier	21/10/19	Spectrométrie γ	3,64	16,29

Tableau 9-1 (1/2). Identification des échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Hors vents | Sous les vents

Station	Situation par rapport à la centrale	Coordonnées WGS84		Nature	Espèce	Fraction	Prélèvement	Type de mesure	Rapport fraîche/	Rapport sec/cendres
		Latitude	Longitude							
Bignoux	23,8 km NO	46,61056	0,43667	Sol cultivé	Sol de céréale *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	22/07/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMD	1,02	-
Chauvigny	10,1 km N	46,54583	0,63139	Sol cultivé	Sol de céréale *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	22/07/19	Spectrométrie γ Fer 55 Granulométrie, TMD	1,10	-
Bignoux	23,8 km NO	46,61056	0,43667	Sol cultivé	Sol de sabate *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	24/06/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMD	1,18	-
Chapelle-Viviers	8,1 km ENE	46,46889	0,72917	Sol cultivé	Sol de sabate *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	24/06/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMD	1,10	-
Sillars	12,5 km ESE	46,40722	0,78250	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	10/04/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMD	1,34	-
					Sol de prairie *Horizon 5 - 15 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	10/04/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMD	1,25	
					Sol de prairie *Horizon 15 - 30 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	10/04/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMD	1,19	
Station AS1	1 km E	46,45917	0,66417	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	09/04/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMD	1,23	-
					Sol de prairie *Horizon 5 - 15 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	09/04/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMD	1,13	-
					Sol de prairie *Horizon 15 - 30 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	09/04/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMD	1,10	
Sillars	12,5 km ESE	46,40722	0,78250	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	10/04/19	Spectrométrie γ Spectrométrie γ en frais (bde 131)	3,99	9,03
Station AS1	1 km E	46,45917	0,66417	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	09/04/19	Spectrométrie γ Spectrométrie γ en frais (bde 131)	4,44	10,92
Station AS1	1 km E	46,45917	0,66417	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	02/07/19	Tritium libre Tritium organiquement lié	3,01	-
Sillars	12,5 km ESE	46,40722	0,78250	Lait	Lait de vache	Entier	10/04/19	Spectrométrie γ Spectrométrie γ en frais (bde 131)	7,60	18,42
Fontpréveir	8,1 km NE	46,46917	0,73750	Lait	Lait de vache	Entier	09/04/19	Spectrométrie γ Spectrométrie γ en frais (bde 131) Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	7,86	17,97

Tableau 9-1 (2/2). Identification des échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

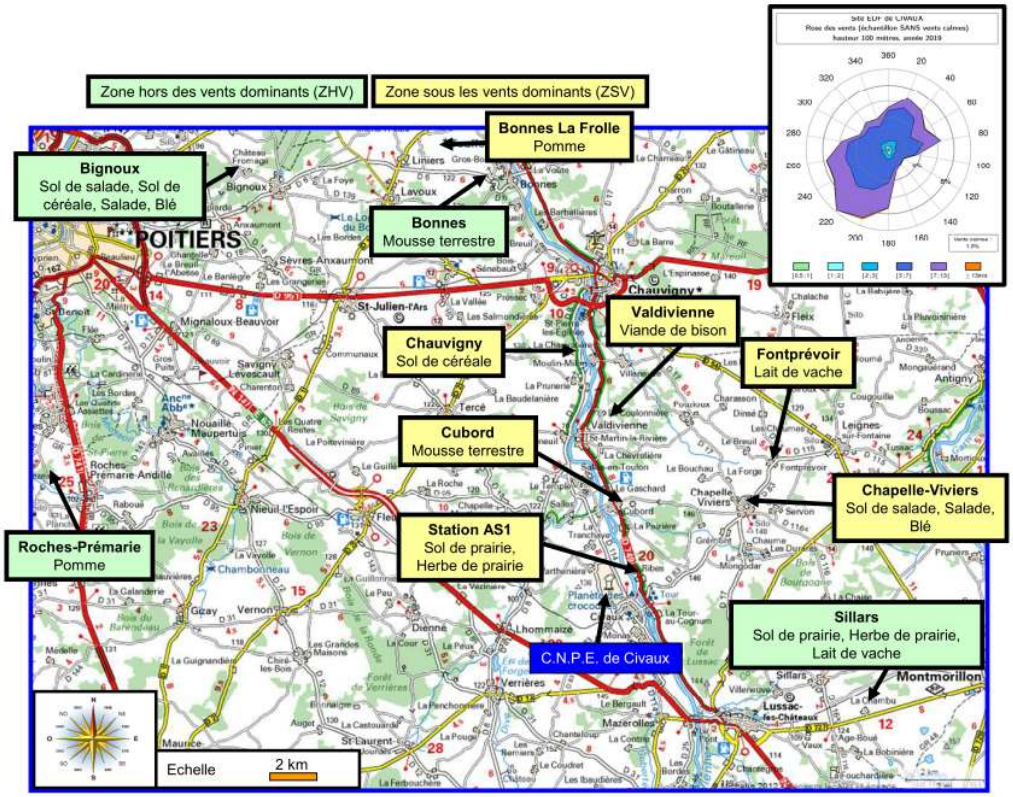


Figure 9-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. de Civaux.

9.2.2. Résultats et interprétation

9.2.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

9.2.2.1.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

En 2019, 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 1998 (Tableau 9-9, page 313). Elle est similaire à celle mesurée lors de l'état de référence.

La radioactivité d'origine tellurique est essentiellement due au ^{40}K dans l'ensemble des matrices et dans une moindre mesure aux chaînes naturelles du ^{232}Th et de l'^{238}U. Les activités mesurées sont cohérentes avec le bruit de fond naturel observé en France [3].

Dans le lait, le ^{40}K est le seul radionucléide naturel détecté et son activité est conforme aux valeurs mesurées les années précédentes (proche de 50-60 $Bq.L^{-1}$).

D'origine cosmique, le ^{7}Be est détecté dans les végétaux et le sol non cultivé prélevé hors vents dominants. Naturellement produit en haute atmosphère, le ^{7}Be se dépose 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.

9.2.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

En 2019, la radioactivité d'origine artificielle est uniquement due à la présence de traces de ^{137}Cs (Tableau 9-10, page 314). Les activités des autres radionucléides artificiels sont inférieures aux seuils de décision, y compris les résultats de la recherche spécifique de l'^{131}I dans les mousses, les herbes de prairie et les laits.

Dans le milieu terrestre, le ^{137}Cs a été mesuré dans seize des vingt-trois échantillons analysés en 2019. Les niveaux d'activités en ^{137}Cs détectés sont cohérents avec les gammes de variations observées depuis 1991-1997. Les activités sont comprises entre 3,4±0,4 et 4,7±0,6 $Bq.kg^{-1}$ sec dans les sols de production agricole. Dans les sols de prairie de la Station AS1 (sous les vents dominants) échantillonnés à différentes profondeurs, 0-5 cm, 5-15 cm et 15-30 cm, les activités varient de 2,3±0,3 à 3,0±0,4 et 4,4±0,5 $Bq.kg^{-1}$ sec avec la profondeur. Dans le sol de prairie de Sillars (ZHV), aucune différence significative n'est observée entre les trois horizons (de 6,0±0,7 à 6,3±0,7 $Bq.kg^{-1}$ sec). Dans les végétaux, le ^{137}Cs est mis en évidence dans les salades et la mousse terrestre de Cubord (ZSV). Le ^{137}Cs est également présent en plus faible quantité dans la viande de bison (0,049±0,020 $Bq.kg^{-1}$ sec) et les laits (0,0075±0,0041 et 0,0088±0,0038 $Bq.L^{-1}$).

Aucun radionucléide artificiel émetteur gamma n'est détecté dans les mousses de Bonnes (ZHV), les pommes, les blés et les herbes de prairie.

Les résultats obtenus dans les végétaux et les sols prélevés dans les zones hors et sous les vents dominants ne permettent pas d'établir de corrélation entre les valeurs obtenues et la position géographique des points de prélèvement par rapport au C.N.P.E. de Civaux. Ces observations indiquent que la présence de ^{137}Cs est liée principalement à la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. En 2019, 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 Civaux.

Les études menées lors de l'état de référence (1991-1997) indiquaient la présence de ^{137}Cs dans tous les compartiments du milieu terrestre (Figure 9-3, page 286). En 1991, le ^{134}Cs détecté dans les mousses terrestres provenait des retombées de l'accident de Tchernobyl. En 2011, la détection de ^{134}Cs et d'^{131}I était cohérente avec leur mise en évidence dans les retombées de l'accident de Fukushima en France métropolitaine [4]. Depuis 2012, ces deux radionucléides ne sont plus détectés.

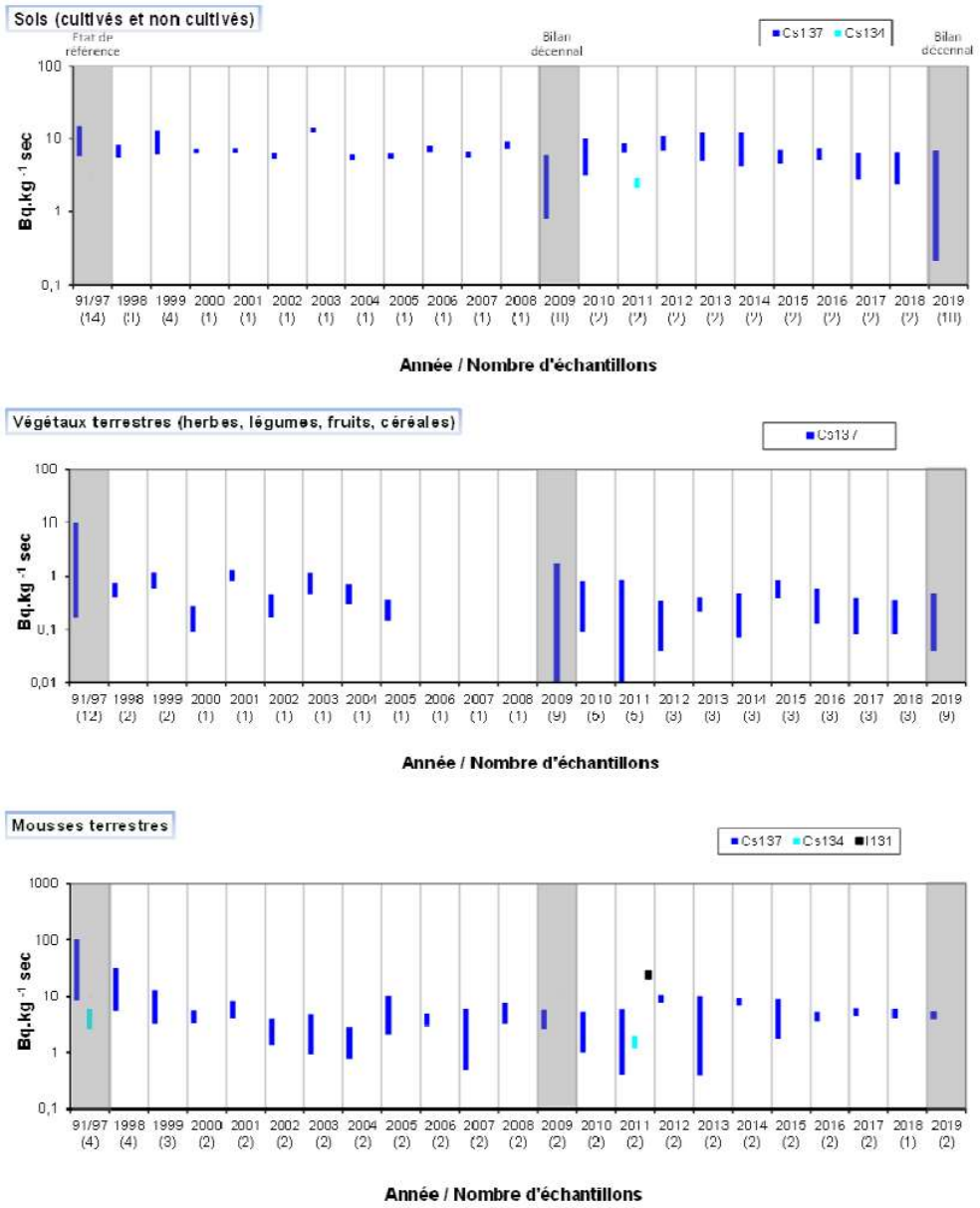


Figure 9-3. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Civaux lors des études menées depuis l'état de référence, de 1991/1997, au suivi radioécologique de 2019.
(*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

9.2.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

9.2.2.2.1. Tritium

En 2019, le ^{3}H libre a été détecté dans les salades et l'herbe de prairie avec des activités proches de 1-2 $Bq.L^{-1}$ (Tableau 9-12, page 319). Ces activités demeurent dans la variabilité environnementale et elles sont conformes aux niveaux attendus en dehors de tout apport industriel local (<3 $Bq.L^{-1}$) [3,6]. Son activité est inférieure au seuil de décision dans le lait de vache.

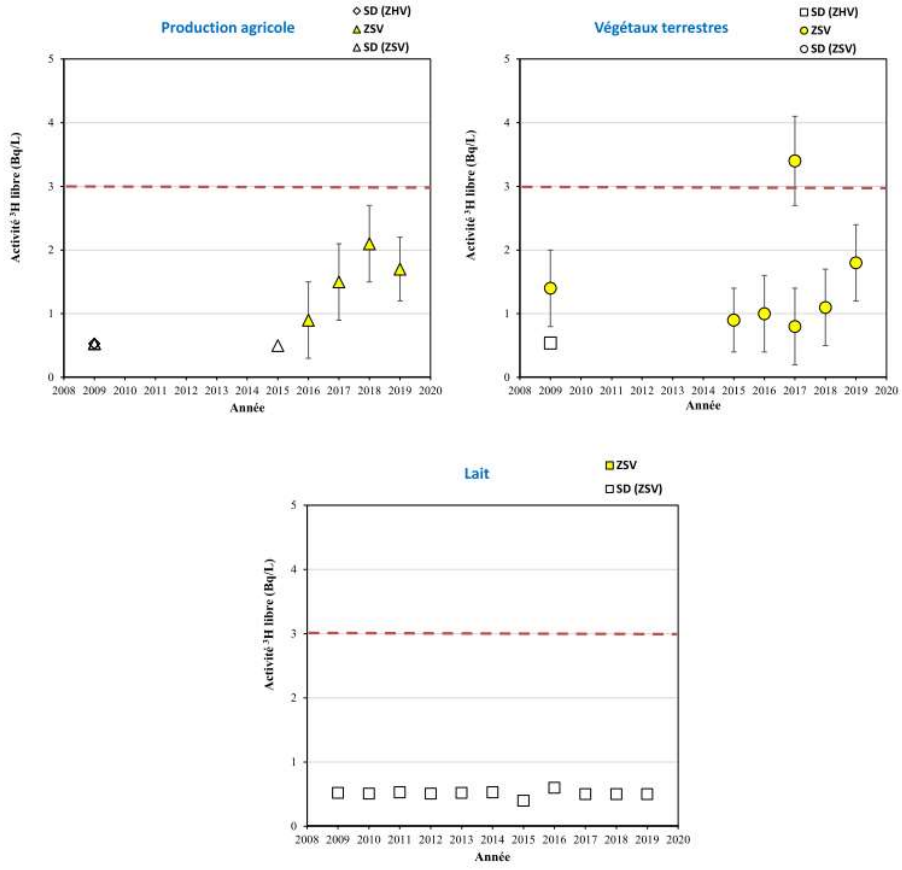


Figure 9-4. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Civaux de 2009 à 2019.
La ligne en pointillées représente la limite du bruit de fond ambiant hors influence industrielle (<3 $Bq.L^{-1}$) [3,6].

Le ^{3}H organiquement lié a été détecté dans l'herbe avec une activité proche de 1 $Bq.L^{-1}$. L'activité est inférieure aux seuils de décision (0,6-0,7 $Bq.L^{-1}$) dans la salade et le lait (Tableau 9-13, page 320).

Ces observations sont cohérentes avec les mesures de ^{3}H libre et organiquement lié réalisées lors des études antérieures et conformes avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle (<3 $Bq.L^{-1}$) [3,6]. Elles ne montrent pas d'influence des rejets atmosphériques du C.N.P.E. de Civaux sur le milieu terrestre pour ces radionucléides.

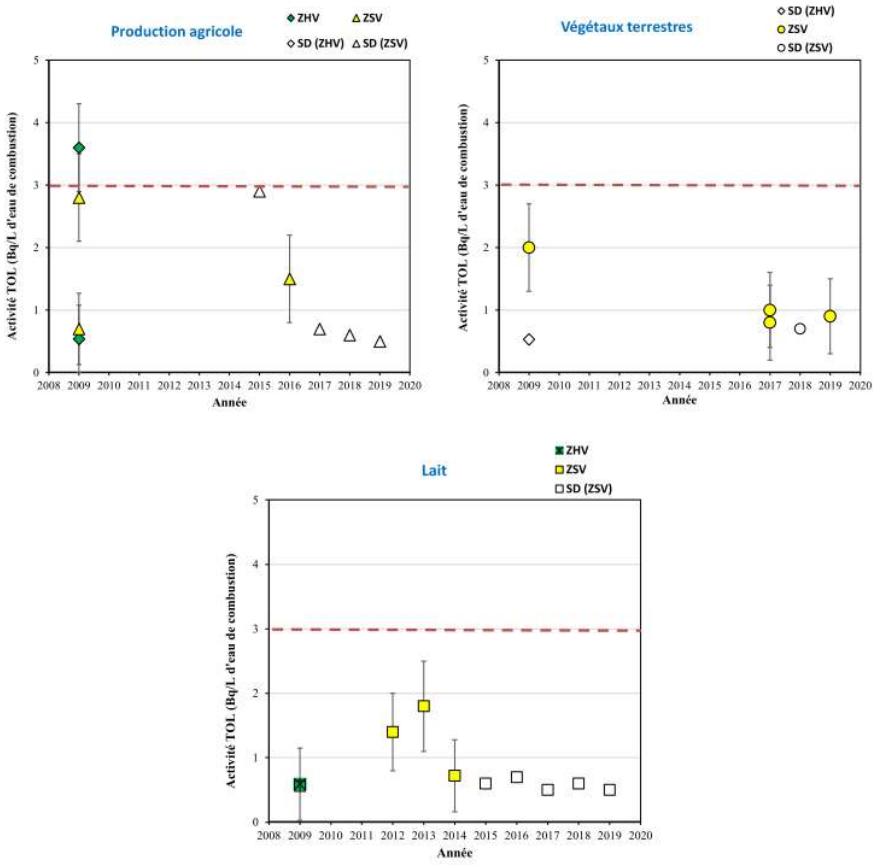


Figure 9-5. Activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Civaux de 2009 à 2019.
La ligne en pointillées représente la limite du bruit de fond ambiant hors influence industrielle (<3 $Bq.L^{-1}$) [3,6].

9.2.2.2.2. Carbone 14

Les résultats d'analyse du ^{14}C dans les salades et le lait sont cohérents aux incertitudes de mesure près avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle proche de 227 $Bq.kg^{-1}$ de carbone (Tableau 9-14, page 320) [3,[7]. Aucune influence des rejets d'effluents atmosphériques de ^{14}C du C.N.P.E. de Civaux n'est mise en évidence en 2019.

Ces résultats sont cohérents avec les données des années antérieures, à l'exception des prélèvements réalisés lors du suivi radioécologique de 2017 qui témoignaient d'un marquage en ^{14}C de quelques becquerels par kg de carbone par rapport au niveau ambiant lié aux rejets d'effluents atmosphériques de l'installation. Ce marquage ponctuel est également observé sur quelques prélèvements trimestriels d'herbes réalisés depuis 2015 à proximité du C.N.P.E.

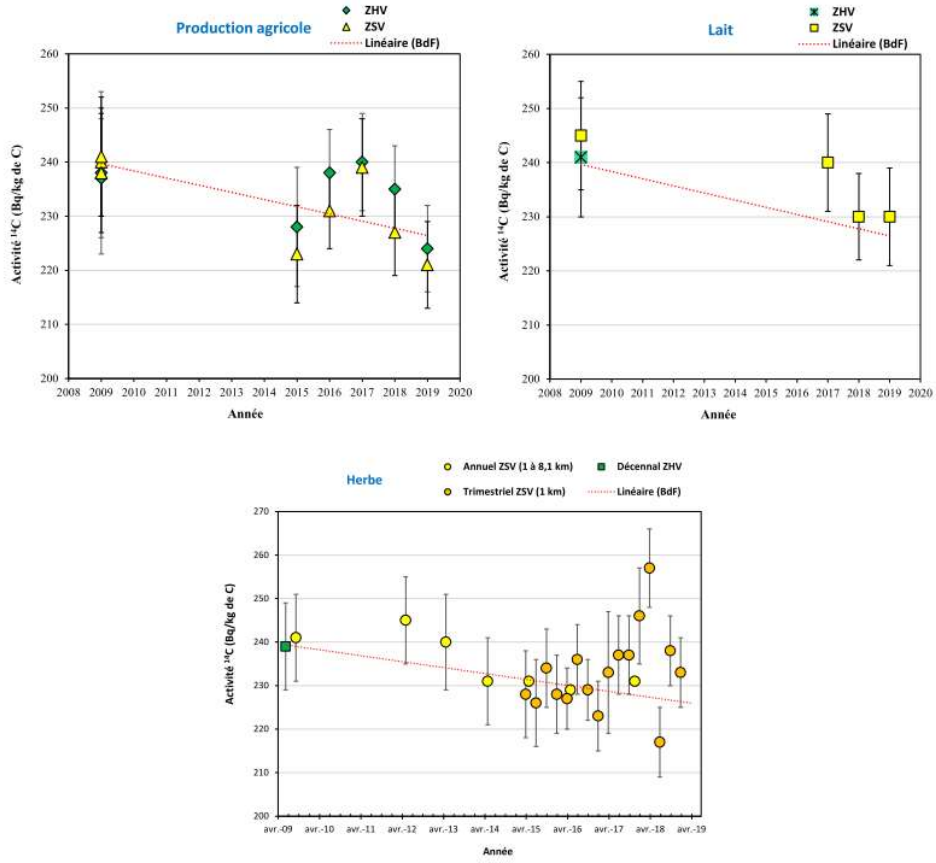


Figure 9-6. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Civaux de 2009 à 2019.

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).

9.2.2.2.3. Fer 55

Le résultat de ^{55}Fe est inférieur au seuil de décision dans le sol cultivé (<27 $Bq.kg^{-1}$ sec) (Tableau 9-15, page 320). Aucune influence des rejets d'effluents atmosphériques de ^{14}C du C.N.P.E. de Civaux n'est mise en évidence en 2019.

9.3. Etat radiologique de l'environnement aquatique

9.3.1. Stratégie d'échantillonnage

Le Tableau 9-2 (page 292) 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 9-7 (page 293) présente les stations de prélèvement et la nature des échantillons prélevés en 2019.

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, de préférence dans la zone de dilution complète. Afin de garantir leur comparaison, les échantillons prélevés en amont et en aval sont, si possible, de même nature.

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

Quatre prélèvements d'eaux sont réalisés. Dans la continuité des années antérieures, l'eau de boisson provient du réseau d'eau potable. Le prélèvement a eu lieu à la mairie de Saint-Martin-la-Rivière en rive droite de la Vienne. Le captage est réalisé dans la nappe d'eau profonde. La profondeur du forage est de 44 mètres. En 2019, le plan d'échantillonnage intègre une eau d'irrigation prélevée à l'aval du C.N.P.E. Le prélèvement a été réalisé sur la commune de Chauvigny. Dans le cadre du suivi quinquennal, deux prélèvements d'eau de rivière ont été réalisés à l'amont (Monas) et à l'aval (Saint Martin la Rivière) du C.N.P.E.

Tous les échantillons prélevés sont traités et conservés au laboratoire.

Tableau 9-2. Identification des échantillons prélevés dans le milieu aquatique de l'environnement du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

Station	Situation par rapport à la centrale	Coordonnées WGS84		Nature	Espèce	Fraction	Prélèvement	Type de mesure	Rapport frais/sec	Rapport sec/cendres
		Latitude	Longitude							
Monas Rive gauche	2,7 km amont	46,43806	0,67694	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/07/19	Spectrométrie γ Tritium organiquement lié Nickel 63 Fer 55 Carbone 14 Granulométrie, TMO	2,86	-
St-Martin-la-Rivière Rive droite	6,1 km aval	46,50889	0,63389	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/07/19	Spectrométrie γ Tritium organiquement lié Nickel 63 Fer 55 Carbone 14 Granulométrie, TMO	3,67	-
Vieilles Ecluses Rive droite	17,7 km aval lointain	46,61028	0,59583	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/07/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	3,60	-
Monas Rive gauche	2,7 km amont	46,43806	0,67694	Phanérogame immergée	Renoncule *Ranunculus aquatica*	Entier	26/06/19	Spectrométrie γ	12,49	5,43
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	10,58	-
St-Martin-la-Rivière Rive droite	6,1 km aval	46,50889	0,63389	Phanérogame immergée	Renoncule *Ranunculus aquatica*	Entier	26/06/19	Spectrométrie γ	15,60	5,18
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	11,95	-
Vieilles Ecluses Rive droite	17,7 km aval lointain	46,61028	0,59583	Phanérogame immergée	Renoncule *Ranunculus aquatica*	Entier	26/06/19	Spectrométrie γ	12,35	5,84
Chapelle St-Sylvain Gué de la Biche	4,2 km amont	46,42639	0,68611	Mousse aquatique	Mousse *Fontinalis antipyretica Hedw*	Entier	23/07/19	Spectrométrie γ Spectrométrie γ en frais (Iode 131) Nickel 63 Fer 55	4,81	4,07
Vieilles Ecluses Au milieu du seuil	17,7 km aval lointain	46,61028	0,59583	Mousse aquatique	Mousse *Fontinalis antipyretica Hedw*	Entier	23/07/19	Spectrométrie γ Spectrométrie γ en frais (Iode 131) Nickel 63 Fer 55	5,97	4,17
Le Pont Rives gauche et droite	7 km amont	46,40361	0,70222	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	18/11/19	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium organiquement lié	4,44	13,14
Salles-en-Toulon (Ile des Dessous) Rives gauche et droite	4,2 km aval	46,49250	0,64194	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	19/11/19	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium organiquement lié	3,93	9,02
Le Pont Rives gauche et droite	7 km amont	46,40361	0,70222	Fèces de faune sauvage	Fèces de ragondin	Entier	25/06/19	Spectrométrie γ	5,19	6,10
Vieilles Ecluses Rive droite	17,7 km aval lointain	46,61028	0,59583	Fèces de faune sauvage	Fèces de ragondin	Entier	25/06/19	Spectrométrie γ	3,38	5,86
St-Martin-la-Rivière Rive droite	5,9 km NNE	46,50750	0,63639	Eau	Eau de boisson	Entier	12/04/19	Tritium libre	-	-
Chauvigny Rive gauche	10 km N	46,54528	0,63306	Eau	Eau d'irrigation	Entier	22/07/19	Tritium libre	-	-
Le Pont Rive droite	7 km amont	46,40361	0,70222	Eau	Eau de rivière	Entier	25/06/19	Tritium libre Carbone 14	-	-
St-Martin-la-Rivière Rive droite	5,9 km NNE	46,50750	0,63639	Eau	Eau de rivière	Entier	25/06/19	Tritium libre Carbone 14	-	-

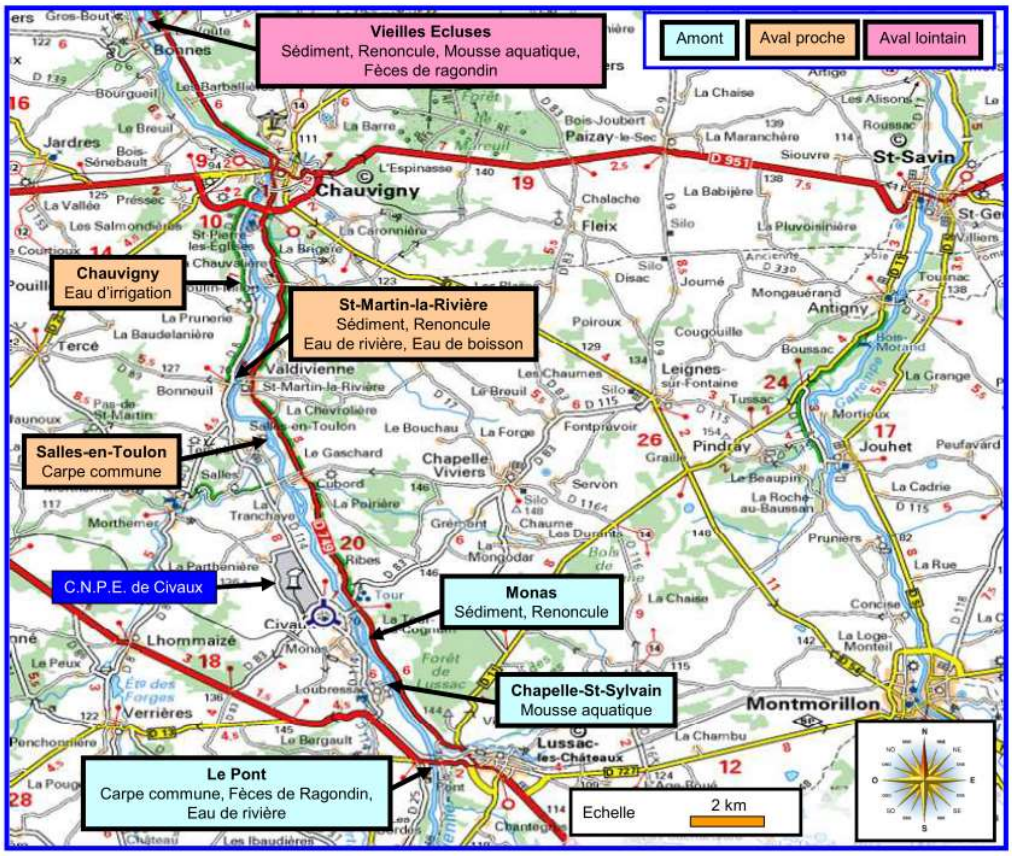


Figure 9-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. de Civaux.

9.3.2. Résultats et interprétation

9.3.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

9.3.2.1.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

En 2019, la radioactivité d'origine naturelle déterminée dans les différents compartiments de l'écosystème aquatique est similaire à celle observée lors des études menées les années antérieures (Tableau 9-22, page 329). Elle est cohérente avec celle mesurée lors de l'état de référence et de sa réactualisation (1991-1997). Dans l'ensemble des matrices, la radioactivité naturelle d'origine tellurique est principalement due au ^{40}K et à un degré moindre aux chaînes naturelles du ^{232}Th et de l'^{238}U. Les activités mesurées sont cohérentes avec le bruit de fond naturel observé en France [3].

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

Le ^{7}Be est détecté systématiquement dans les sédiments et les végétaux.

9.3.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

La radioactivité artificielle dans le milieu aquatique est caractérisée en 2019 par la présence de ^{137}Cs, de ^{60}Co et de ^{54}Mn (Tableau 9-23, page 331).

Le ^{137}Cs est détecté dans l'ensemble des matrices étudiées (sédiments, végétaux, poissons et fèces de ragondin). Sa présence est mise en évidence dans les douze échantillons analysés. Dans toutes les matrices, les activités massiques en ^{137}Cs mesurées en amont et en aval du C.N.P.E. sont comparables. Aucune influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Civaux n'est mise en évidence en 2019 pour ce radionucléide. Les activités en ^{137}Cs résultent donc principalement de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. En revanche, les spectrométries gamma réalisées en 2019 mettent également en évidence des traces de ^{60}Co dans les sédiments et les végétaux (phanérogames) ainsi que de ^{54}Mn dans les phanérogames (renoncule) uniquement à l'aval de l'installation. Ces résultats montrent l'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Civaux sur le milieu aquatique environnant. Ces observations sont en accord avec le constat des années antérieures et le précédent bilan décennal de 2009.

Depuis l'état de référence, l'évolution des gammes de variations des activités de ^{137}Cs détectées dans le milieu aquatique en amont et en aval de l'installation montre que les niveaux d'activité sont comparables d'année en année (Figure 9-8, page 295, à Figure 9-11, page 298). Ce constat confirme que le ^{137}Cs provient des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Depuis le premier suivi annuel de 1998, on observe la détection ponctuelle en aval du site, de ^{134}Cs, de ^{60}Co et d'^{110m}Ag dans les sédiments, et de ^{134}Cs, de ^{60}Co, de ^{58}Co, d'^{110m}Ag et de ^{54}Mn dans les végétaux aquatiques. Ces détections sont liées aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Civaux.

Depuis 1998, des spectrométries gamma sont réalisées sur des échantillons de végétaux aquatiques (phanérogames et/ou mousses aquatiques) à l'état frais pour rechercher l'^{131}I. Ce radionucléide est détecté régulièrement aussi bien en amont qu'en aval du C.N.P.E. de Civaux à des niveaux d'activité comparables. Les études antérieures ont établi que les apports observés étaient imputables aux rejets liés à des activités de médecine nucléaire ou universitaires conduites en amont de l'installation, notamment au niveau de l'agglomération de Limoges. En 2019, l'^{131}I n'a été détecté ni en amont ni en aval du C.N.P.E.

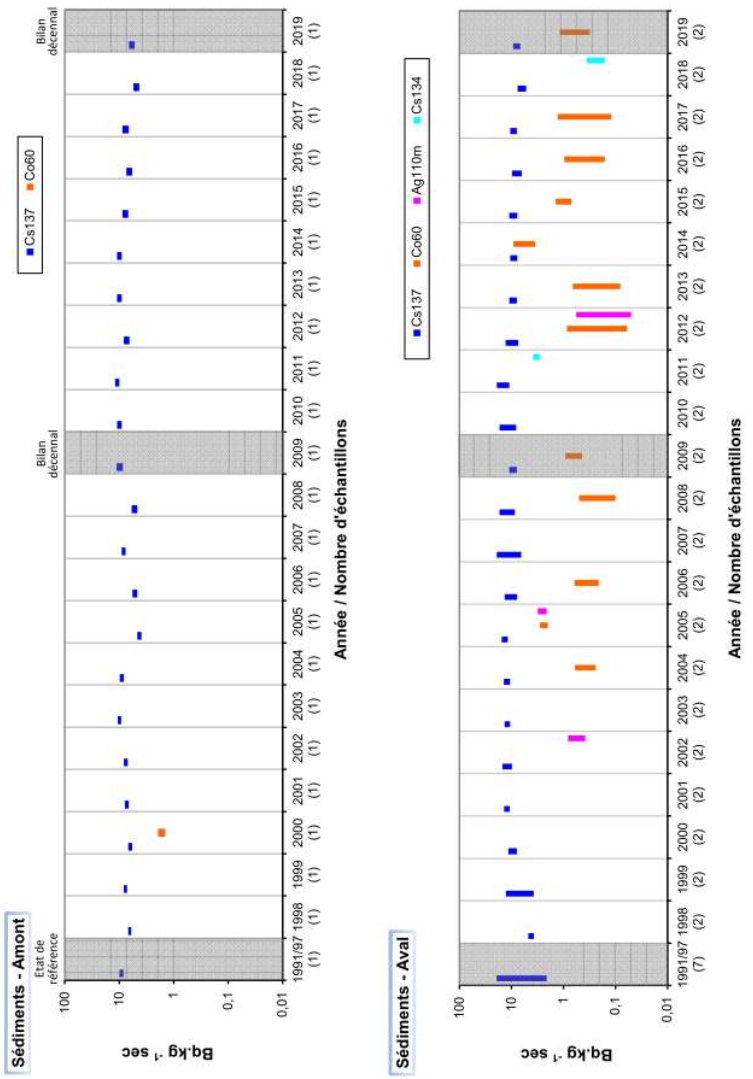


Figure 9-8. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors des études menées depuis l'état de référence, de 1991/1997, au suivi radioécologique de 2019.
(*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

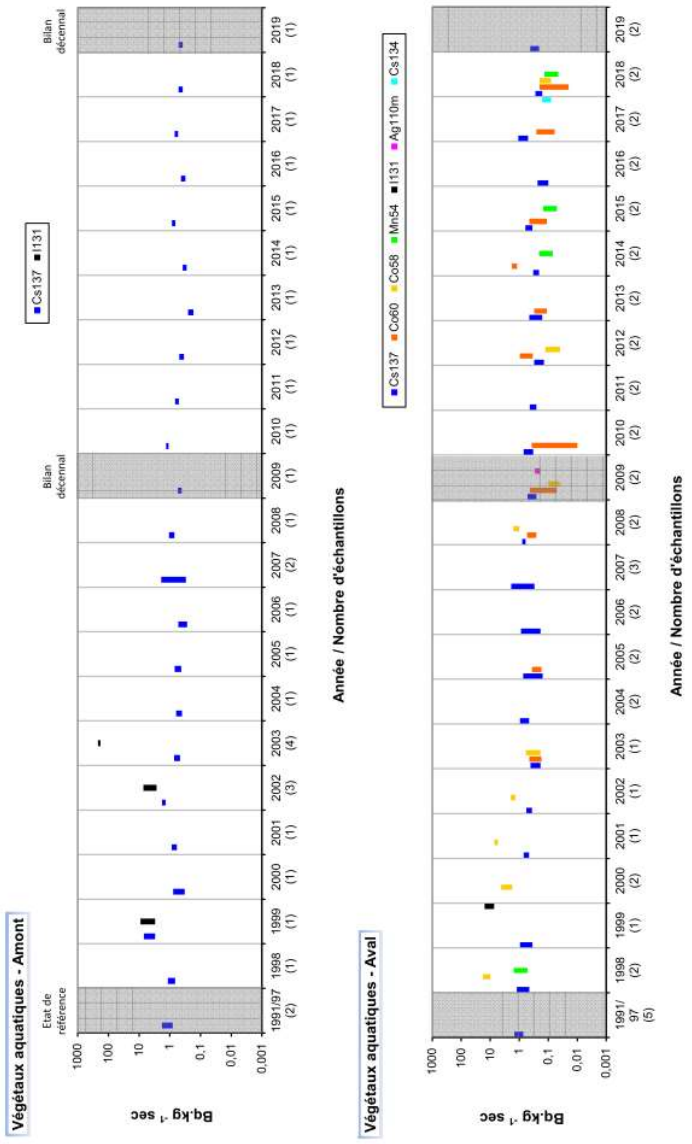


Figure 9-9. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les phanérogames (toutes fractions confondues) prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors des études menées depuis l'état de référence, de 1991/1997, au suivi radioécologique de 2019.
(*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

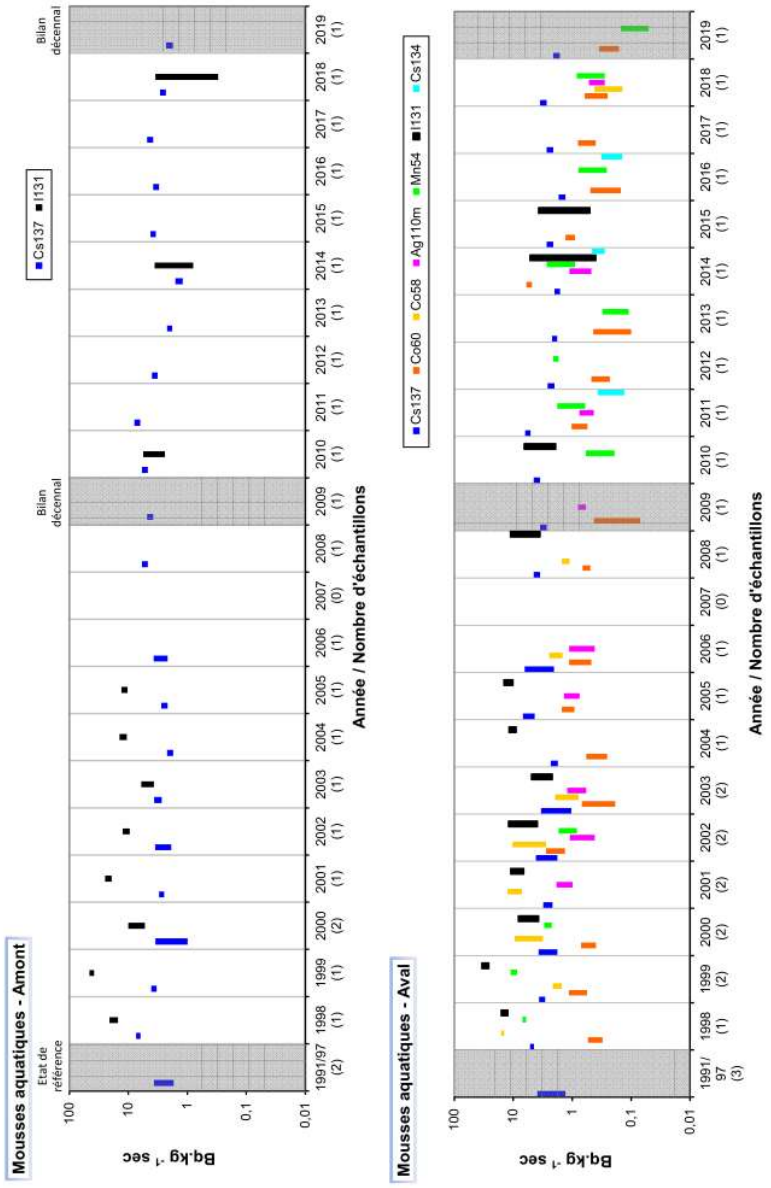


Figure 9-10. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les mousses aquatiques prélevées dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors des études menées depuis l'état de référence, de 1991/1997, au suivi radioécologique de 2019.
(*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

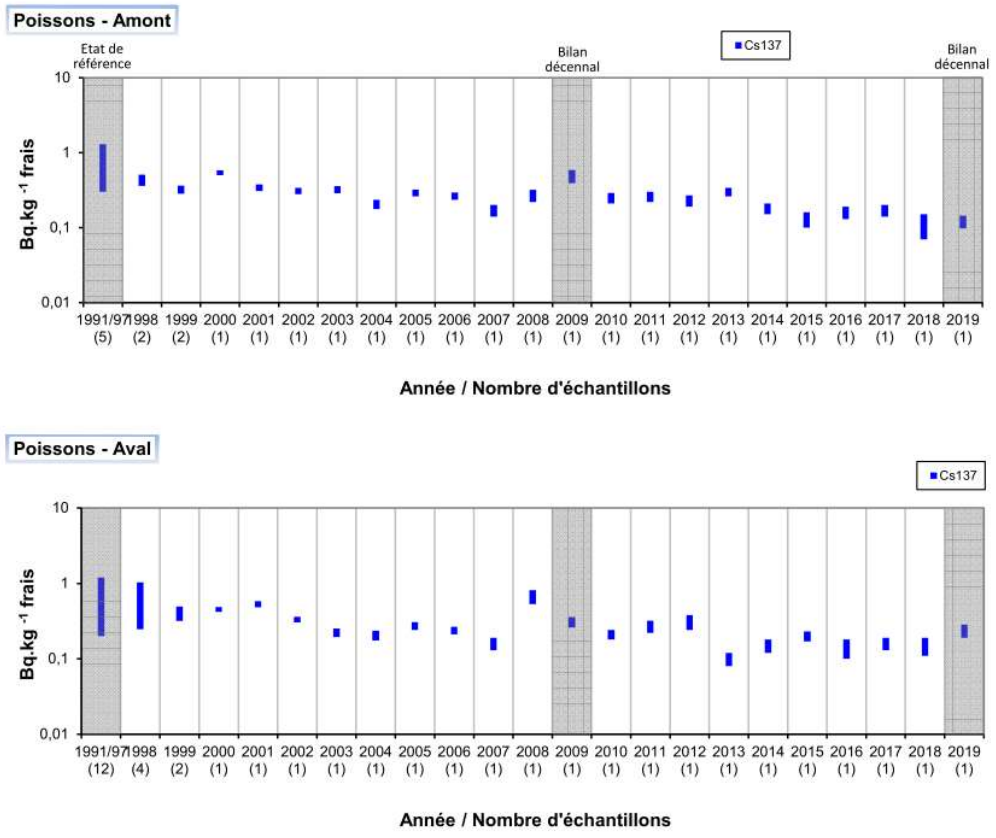


Figure 9-11. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors des études menées depuis l'état de référence, de 1991/1997, au suivi radioécologique de 2019.
(*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

9.3.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

9.3.2.2.1. Tritium

Les mesures de ^{3}H libre effectuées en 2019 montrent des activités inférieures aux seuils de décision dans les prélèvements réalisés à l'amont (phanérogame et eau de la Vienne) ainsi que dans l'eau de boisson et l'eau d'irrigation. En revanche, les activités détectées dans les phanérogames et l'eau de la Vienne prélevées à l'aval du C.N.P.E. de Civaux sont proches de 35-40 $Bq.L^{-1}$. Ces deux échantillons ont été prélevés à Saint-Martin-la-Rivière le même jour. Ces activités témoignent d'un rejet d'effluents liquides tritiés de l'installation (Tableau 9-25, page 335) [3]. La détection de ^{3}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}H au sein de ces milieux récepteurs [5]. Depuis 2000, la présence de manière sporadique du ^{3}H libre a été constatée à l'aval du C.N.P.E. dans les végétaux aquatiques et dans les poissons. Pour rappel, la valeur-guide dans l'eau potable recommandée par l'OMS est de 10000 $Bq.L^{-1}$. La réglementation européenne relative à l'eau potable appliquée par la France fixe par ailleurs une référence de qualité de 100 $Bq.L^{-1}$, au-delà de laquelle des investigations complémentaires doivent être menées pour rechercher la présence de radionucléides artificiels.

Ces observations sont cohérentes avec les données des années antérieures. Le marquage en tritium libre dans les phanérogames immergées a également été mis en évidence lors du bilan décennal radioécologique de 2009 et dans le suivi radioécologique annuel de 2018.

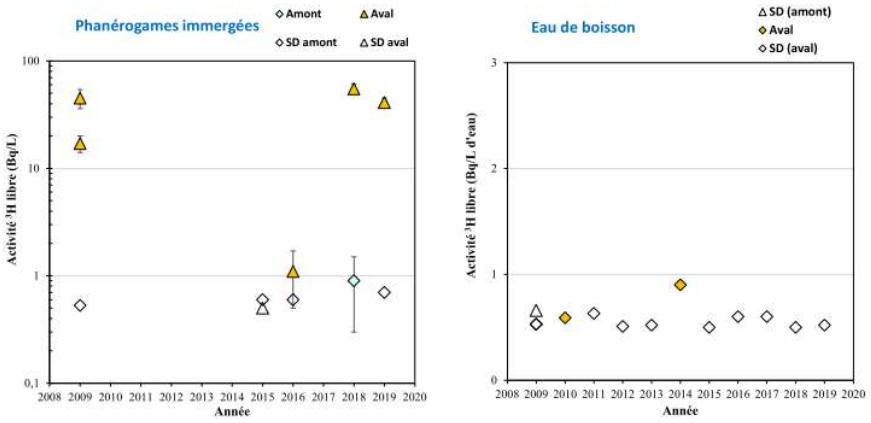


Figure 9-12. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Civaux de 2009 à 2019.

Les analyses de ^{3}H organiquement lié dans les sédiments, les phanérogames et les poissons montrent des activités inférieures aux seuils de décision à l'amont du C.N.P.E. et respectivement de 2,54±0,72, de 18,1±3,3 et de 10,6±2,0 $Bq.L^{-1}$ d'eau de combustion à l'aval de l'installation (Tableau 9-26, page 336).

Ces augmentations à l'aval du C.N.P.E. (phanérogames et poissons) sont cohérentes avec les résultats des études précédentes. Elles montrent l'influence des rejets de tritium du C.N.P.E. de Civaux sur le milieu aquatique environnant.

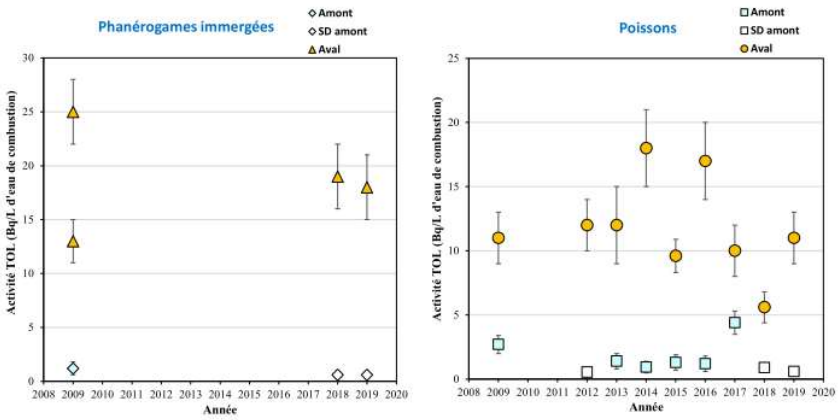


Figure 9-13. Activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Civaux de 2009 à 2019.

9.3.2.2.2. Carbone 14

Les analyses de ^{14}C révèlent une forte augmentation entre l'activité obtenue sur les échantillons de phanérogames et de poissons prélevés à l'amont, cohérente avec l'activité ambiante hors influence industrielle locale proche de 200-220 $Bq.kg^{-1}$ de carbone [3], et les valeurs mesurées à l'aval (Tableau 9-27, page 337).

Ces résultats sont cohérents avec les données des années antérieures et ils montrent le marquage en ^{14}C de l'environnement aquatique lié aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Civaux.

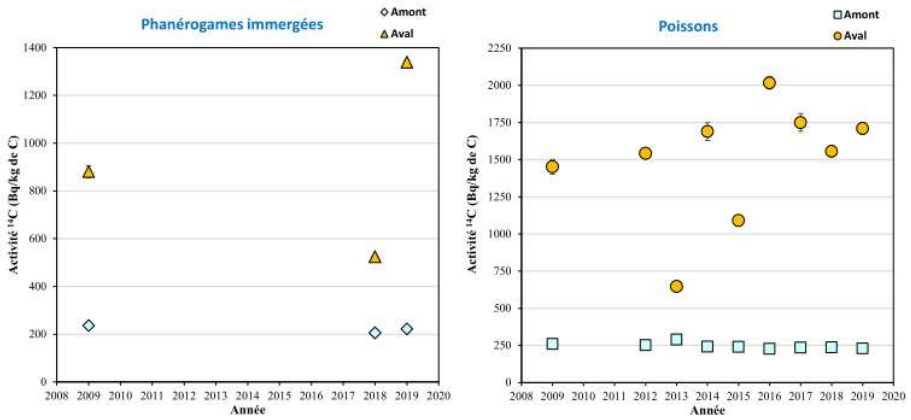


Figure 9-14. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Civaux de 2009 à 2019.

9.3.2.2.3. Nickel 63 et Fer 55

En 2019, les analyses de ^{63}Ni montrent une activité inférieure au seuil de décision dans les sédiments et dans les mousses aquatiques prélevées à l'amont. En revanche, l'activité est de 2,51±0,75 Bq.kg^{-1} sec dans les mousses aquatiques prélevées à l'aval (Tableau 9-28, page 338). Cette activité est cohérente avec le résultat obtenu en 2018. Ils témoignent de l'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Civaux sur le milieu aquatique environnant pour ce radionucléide.

Dans ces échantillons, les activités du ^{55}Fe sont inférieures aux seuils de décision à l'amont et à l'aval (Tableau 9-29, page 338).

9.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Civaux

Le suivi radioécologique établi en 2019 montre que le niveau de radioactivité naturelle demeure similaire à celui mesuré avant la mise en fonctionnement de l'installation de Civaux.

Dans **le milieu terrestre**, la radioactivité d'origine artificielle est liée à la présence du ^{137}Cs. Le ^{137}Cs provient principalement des retombées des anciens essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. En 2019, les analyses de ^{14}C réalisées sont cohérentes aux incertitudes de mesure près avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle. Dans la continuité des années antérieures, les activités en ^{3}H (libre et organiquement lié) sont cohérentes avec les valeurs attendues en dehors de tout apport industriel local.

En 2019, le ^{137}Cs est présent dans tous les compartiments **du milieu aquatique** aussi bien en amont qu'en aval de l'installation. Aucune influence des rejets d'effluents liquides n'est mise en évidence pour ce radionucléide. Le ^{137}Cs provient de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. En 2019, la présence de traces de ^{60}Co et de ^{54}Mn à l'aval de l'installation souligne le marquage du milieu récepteur par les rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Civaux de façon cohérente aux résultats des suivis radioécologiques antérieurs. Les analyses de ^{3}H (libre et organiquement lié), de ^{14}C et de ^{63}Ni montrent l'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Civaux sur le milieu aquatique environnant. Enfin, la recherche spécifique du ^{55}Fe montre que ce radionucléide n'est pas détecté dans l'environnement aquatique de l'installation.

LISTE DES FIGURES

Figure 9-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Civaux. 280

Figure 9-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. de Civaux. 284

Figure 9-3. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Civaux lors des études menées depuis l'état de référence, de 1991/1997, au suivi radioécologique de 2019. 286

Figure 9-4. Activités en tritium libre détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Civaux de 2009 à 2019. 287

Figure 9-5. Activités en tritium organiquement lié détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Civaux de 2009 à 2019. 288

Figure 9-6. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Civaux de 2009 à 2019. 289

Figure 9-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. de Civaux. 293

Figure 9-8. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors des études menées depuis l'état de référence, de 1991/1997, au suivi radioécologique de 2019. 295

Figure 9-9. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les phanérogames (toutes fractions confondues) prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors des études menées depuis l'état de référence, de 1991/1997, au suivi radioécologique de 2019. 296

Figure 9-10. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les mousses aquatiques prélevées dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors des études menées depuis l'état de référence, de 1991/1997, au suivi radioécologique de 2019. 297

Figure 9-11. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors des études menées depuis l'état de référence, de 1991/1997, au suivi radioécologique de 2019. 298

Figure 9-12. Activités en tritium libre détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Civaux de 2009 à 2019. 299

Figure 9-13. Activités en tritium organiquement lié détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Civaux de 2009 à 2019. 300

Figure 9-14. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Civaux de 2009 à 2019. 300

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 9-1 (1/2). Identification des échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019. 282

Tableau 9-2. Identification des échantillons prélevés dans le milieu aquatique de l'environnement du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019. 292

Tableau 9-3. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ dans les sols prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ sec ; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$). 307

Tableau 9-4. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ dans les mousses prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2009 à 2019 ($Bq.kg^{-1}$ sec). 308

Tableau 9-5. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les salades prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ sec ; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$). 309

Tableau 9-6. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les herbes prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ sec ; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$). 310

Tableau 9-7. Activités du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les herbes trimestrielles prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2015 à 2019 (^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$). 311

Tableau 9-8. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les laits prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2009 à 2019 ($Bq.L^{-1}$). 312

Tableau 9-9 (1/2). Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019. 313

Tableau 9-10 (1/4). Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019. 315

Tableau 9-11. Teneurs en iode stable des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019. 319

Tableau 9-12. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019. 319

Tableau 9-13. Activités du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019. 320

Tableau 9-14. Activités du ^{14}C des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019..... 320

Tableau 9-15. Activités du ^{55}Fe des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019..... 320

Tableau 9-16 (1/2). Granulométrie et teneur en matières organiques des échantillons de sols prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019. 321

Tableau 9-17. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ et du ^{3}H libre dans les eaux prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2009 à 2019 ($Bq.L^{-1}$). 323

Tableau 9-18. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ sec ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$). 324

Tableau 9-19. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ et du ^{3}H libre dans les phanérogames prélevées dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ sec ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$). 325

Tableau 9-20. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ et du ^{3}H libre dans les mousses aquatiques prélevées dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ sec ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$)..... 326

Tableau 9-21. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ frais ; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$). 327

Tableau 9-22 (1/2). Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019..... 329

Tableau 9-23 (1/4). Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019..... 331

Tableau 9-24. Teneurs en iode stable dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019. 335

Tableau 9-25. Activités du tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019. 335

Tableau 9-26. Activités du tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019. 336

Tableau 9-27. Activités du ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019. 337

Tableau 9-28. Activités du ^{63}Ni dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019. 338

Tableau 9-29. Activités du ^{55}Fe dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019. 338

Tableau 9-30. Granulométrie et teneur en matières organiques des échantillons de sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019. 338

Tableau 9-3. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les sols prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $Bq.kg^{-1}$ sec ; ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de carbone ; ^{3}H : $Bq.L^{-1}$).

Année de prélèvement	juin 2009	juin 2010	avril 2011	mai 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	mai 2016	juin/nov. 2017	avril/mai 2018
Distance par rapport au site	5,5 et 12,5 km	8,5 et 12,5 km	8,5 et 12,5 km	8,5 et 12,5 km	8,5 et 12,5 km	8,5 et 12,5 km	8,1 et 12,5 km	8,1 et 12,5 km	1,0 et 12,5 km	1,0 et 12,5 km
Emetteurs γ d'origine artificielle										
^{134}Cs	-	-	2,5 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	4,0-5,3 (4/4)	3,7-9,1 (2/2)	7,6 (2/2)	7,9-9,7 (2/2)	5,7-11 (2/2)	4,8-11 (2/2)	5,1-6,3 (2/2)	5,9-6,6 (2/2)	3,1-5,8 (2/2)	2,33-6,26 (10/10)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β										
^{14}C	241-244 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}H libre	0,84 (1/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}H organiquement lié	0,12-0,17 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 9-4. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ dans les mousses prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2009 à 2019 ($Bq.kg^{-1}$ sec).

Année de prélèvement	juin 2010	avril 2011	mai 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	mai 2016	juin 2017	juin 2018	avril 2019
Distance par rapport au site	1,8 et 16,8 km	1,8 et 16,8 km	1,8 et 16,8 km	1,8 et 16,8 km	1,8 et 16,8 km	1,8 et 16,8 km	1,8 et 16,8 km	1,8 et 16,8 km	1,8 km	1,8 et 16,8 km
Emetteurs γ d'origine artificielle										
^{134}Cs	-	1,6 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	1,7-4,5 (2/2)	1,1-4,8 (2/2)	9,1 (1/2)	0,90-9,0 (2/2)	8,1 (1/2)	2,5-7,6 (2/2)	4,4 (1/2)	5,3 (1/2)	5,0 (1/1)	4,56 (1/2)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{131}I	-	23-25 (2/2)	-	-	-	-	-	-	-	-

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 9-5. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les salades prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	août 2009	juin 2010	juin 2011	sept. 2012	août 2013	sept. 2014	juin 2015	juil. 2016	juin 2017	juin 2018	juin 2019
Distance par rapport au site	5,5 et 23,8 km	6,1 et 23,8 km	6,1 et 23,8 km	6,1 et 23,8 km	6,1 et 23,8 km	6,1 et 23,8 km	6,1 et 23,8 km	6,1 et 23,8 km	6,1 et 23,8 km	6,1 et 23,8 km	6,1 et 23,8 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	1,4 (1/2)	0,65-0,68 (2/2)	0,25-0,69 (2/2)	0,17-0,22 (2/2)	0,31 (1/2)	0,39 (1/2)	0,50-0,64 (2/2)	0,21-0,46 (2/2)	0,16-0,23 (2/2)	0,21-0,23 (2/2)	0,12-0,38 (2/2)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β											
^{14}C	240 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	223-228 (2/2)	231-238 (2/2)	239-240 (2/2)	227-235 (2/2)	221-224 (2/2)
^{3}H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	0,9 (1/1)	1,5 (1/1)	2,1 (1/1)	1,65 (1/1)
^{3}H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	1,5 (1/1)	-	-	-

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 9-6. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les herbes prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	juin 2010	avril 2011	mai 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	mai 2016	juil./nov. 2017	avril 2018	avril 2019
Distance par rapport au site	8,5 km	8,5 km	8,5 km	8,5 km	8,5 km	8,1 km	8,1 km	1,0 et 8,1 km	1,0 km	1,0 km
Emetteurs γ d'origine artificielle										
^{134}Cs	-	0,12 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	-	0,22 (1/2)	-	-	0,11 (1/1)	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β										
^{14}C	n.a.	n.a.	245 (1/1)	240 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	229 (1/1)	231 (1/1)	n.a.	n.a.
^{3}H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,9 (1/1)	1,0 (1/1)	0,8-3,4 (2/2)	1,1 (1/1)	1,79 (1/1)
^{3}H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,8-1,0 (2/2)	-	0,91 (1/1)

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 9-7. Activités du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les herbes trimestrielles prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2015 à 2019 (^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

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	avril 2018	juil. 2018	oct. 2018	janv. 2019
Distance par rapport au site	8,1 km	8,1 km	8,1 km	8,1 km	8,1 km	8,1 km	8,1 km	8,1 km	8,1 km	8,1 km	8,1 km	8,1 km	1 km	1 km	1 km	1 km
Emetteurs β																
^{14}C	228 (1/1)	226 (1/1)	234 (1/1)	228 (1/1)	227 (1/1)	236 (1/1)	229 (1/1)	223 (1/1)	233 (1/1)	237 (1/1)	237 (1/1)	246 (1/1)	257 (1/1)	217 (1/1)	238 (1/1)	233 (1/1)
^{3}H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,1 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}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. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 9-8. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les laits prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	juin 2010	avril 2011	mai 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	mai 2016	juin 2017	mai 2018
Distance par rapport au site	8,5 km	8,5 km	8,5 km	8,5 km	8,5 km	8,1 km	8,1 km	8,1 km	8,1 km
Emetteurs γ d'origine artificielle									
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,13 (1/1)	0,0076 (1/1)	-	-	0,011 (1/1)	0,0082 (1/1)	-	-	0,0088 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β									
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	240 (1/1)	230,0 (1/1)
^{3}H libre	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{3}H organiquement lié	n.a.	n.a.	1,4 (1/1)	1,8 (1/1)	0,72 (1/1)	-	-	-	-

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 9-9 (1/2). Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Hors vents	Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs γ d'origine naturelle — Activité Bq.kg^{-1} sec (sols, végétaux), Bq.L^{-1} (lait)					
							^{40}K	Famille de ^{232}Th	Famille de ^{238}U			^{7}Be
								^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Bonnes	Mousse terrestre	Mousse *Rhytidiadelphus triquetrus*	Entier	08/04/19	09/04/19	Frais	97 ± 18	< 2,1	< 7,1	n.a.	92 ± 19	128 ± 16
Cubord (Le Peu)	Mousse terrestre	Mousse *Rhytidiadelphus triquetrus*	Entier	08/04/19	09/04/19	Frais	118 ± 19	8,1 ± 2,1	< 6,1	n.a.	183 ± 29	314 ± 36
Roches Prémarie	Production agricole	Pommes	Entier	21/10/19	23/03/20	Cendres	207 ± 30	< 0,058	< 0,14	n.a.	0,32 ± 0,25	1,27 ± 0,68
Bonnes La Frolle	Production agricole	Pommes	Entier	21/10/19	27/12/19	Cendres	340 ± 49	0,65 ± 0,13	< 0,24	n.a.	< 0,37	< 0,98
Bignoux	Production agricole	Blé	Entier	22/07/19	31/10/19	Cendres	162 ± 23	0,31 ± 0,10	< 0,21	n.a.	< 0,29	1,72 ± 0,61
Chapelle-Viviers	Production agricole	Blé	Entier	23/07/19	09/08/19	Cendres	159 ± 23	0,42 ± 0,11	< 0,19	n.a.	< 0,28	1,39 ± 0,26
Bignoux	Production agricole	Salade Laitue *Lactuca sativa L.*	Feuilles	24/06/19	12/07/19	Cendres	1710 ± 240	1,49 ± 0,45	< 0,99	n.a.	14,0 ± 2,7	212 ± 24
Chapelle-Viviers	Production agricole	Salade Laitue *Lactuca sativa L.*	Feuilles	24/06/19	12/07/19	Cendres	1260 ± 180	< 0,34	< 0,86	n.a.	10,5 ± 2,2	128 ± 14
Valdivienne La Roussalière	Production agricole	Viande de bison	Entier	21/10/19	10/12/19	Cendres	108 ± 15	< 0,070	< 0,16	n.a.	< 0,22	< 0,24
Sillars	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	10/04/19	23/04/19	Cendres	1070 ± 150	0,69 ± 0,20	< 0,58	n.a.	6,1 ± 1,4	111 ± 12
Station AS1	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	09/04/19	19/04/19	Cendres	880 ± 130	< 0,20	< 0,61	n.a.	4,7 ± 1,2	94 ± 11

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

Tableau 9-9 (2/2). Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Hors vents	Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs γ d'origine naturelle — Activité Bq.kg^{-1} sec (sols, végétaux), Bq.L^{-1} (lait)					
							^{40}K	Famille de ^{232}Th	Famille de ^{238}U			^{7}Be
								^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Sillars	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	10/04/19	28/04/19	Sec	252 ± 36	45,9 ± 6,0	n.a.	28 ± 14	n.a.	2,1 ± 1,5
Sillars	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 5 - 15 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	10/04/19	30/04/19	Sec	279 ± 40	55,5 ± 7,2	n.a.	45 ± 18	n.a.	< 1,5
Sillars	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 15 - 30 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	10/04/19	02/05/19	Sec	267 ± 38	59,9 ± 7,8	n.a.	59 ± 17	n.a.	< 1,6
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	09/04/19	23/04/19	Sec	720 ± 103	43,4 ± 5,7	n.a.	29 ± 18	n.a.	< 1,5
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 5 - 15 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	09/04/19	30/04/19	Sec	752 ± 108	44,4 ± 5,8	n.a.	46 ± 18	n.a.	< 1,5
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 15 - 30 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	09/04/19	02/05/19	Sec	785 ± 112	47,5 ± 6,2	n.a.	36 ± 18	n.a.	< 1,6
Bignoux	Sol cultivé	Sol de céréale *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	22/07/19	07/08/19	Sec	261 ± 27	56,6 ± 4,7	n.a.	53,3 ± 9,3	n.a.	4,68 ± 0,87
Chauvigny	Sol cultivé	Sol de céréale *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	22/07/19	112/08/19	Sec	413 ± 59	58,1 ± 7,6	n.a.	49 ± 18	n.a.	2,14 ± 0,84
Bignoux	Sol cultivé	Sol de salade *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	24/06/19	10/07/19	Sec	161 ± 23	53,8 ± 7,0	n.a.	48 ± 15	n.a.	2,71 ± 0,78
Chapelle-Viviers	Sol cultivé	Sol de salade *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	24/06/19	08/07/19	Sec	84 ± 12	11,2 ± 1,5	n.a.	< 11	n.a.	3,8 ± 1,2
Sillars	Lait	Lait de vache	Entier	10/04/19	20/05/19	Cendres	44,8 ± 6,4	< 0,016	< 0,040	n.a.	< 0,061	< 0,044
Fontprévoir	Lait	Lait de vache	Entier	09/04/19	10/05/19	Cendres	45,9 ± 6,6	< 0,015	< 0,036	n.a.	< 0,059	< 0,035

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

Tableau 9-10 (1/4). Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Hors vents | Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs γ d'origine artificielle						
							Activité Bq.kg^{-1} sec (sols, végétaux), Bq.kg^{-1} frais (viande), Bq.L^{-1} (lait)						
							^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{131}I
Bonnes	Mousse terrestre	Mousse *Rhytidiadelphus triquetrus*	Entier	08/04/19	09/04/19	Frais	< 0,66	< 0,58	< 0,51	< 0,54	< 0,65	< 0,54	< 0,64
Cubord (Le Peu)	Mousse terrestre	Mousse *Rhytidiadelphus triquetrus*	Entier	08/04/19	09/04/19	Frais	< 0,46	**4,58 ± 0,77**	< 0,36	< 0,42	< 0,50	< 0,38	< 0,43
Roches Prémarie	Production agricole	Pommes	Entier	21/10/19	23/03/20	Cendres	< 0,014	< 0,012	< 0,057	< 0,017	< 0,022	< 0,018	n.a.
Bonnes La Frolle	Production agricole	Pommes	Entier	21/10/19	27/12/19	Cendres	< 0,022	< 0,022	< 0,041	< 0,029	< 0,030	< 0,026	n.a.
Bignoux	Production agricole	Blé	Entier	22/07/19	31/10/19	Cendres	< 0,025	< 0,022	< 0,055	< 0,027	< 0,036	< 0,026	n.a.
Chapelle-Viviers	Production agricole	Blé	Entier	23/07/19	09/08/19	Cendres	< 0,022	< 0,020	< 0,024	< 0,027	< 0,027	< 0,022	n.a.
Bignoux	Production agricole	Salade Laitue *Lactuca sativa L.*	Feuilles	24/06/19	12/07/19	Cendres	< 0,083	**0,38 ± 0,10**	< 0,11	< 0,12	< 0,11	< 0,092	n.a.
Chapelle-Viviers	Production agricole	Salade Laitue *Lactuca sativa L.*	Feuilles	24/06/19	12/07/19	Cendres	< 0,075	**0,120 ± 0,080**	< 0,090	< 0,10	< 0,091	< 0,082	n.a.
Valdivienne La Roussalière	Production agricole	Viande de bison	Entier	21/10/19	10/12/19	Cendres	< 0,020	**0,049 ± 0,020**	< 0,027	< 0,022	< 0,027	< 0,019	n.a.
Sillars	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	10/04/19	23/04/19	Cendres	< 0,038	< 0,040	< 0,044	< 0,053	< 0,048	< 0,041	n.a.
Sillars	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	10/04/19	11/04/19	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 1,0
Station AS1	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	09/04/19	19/04/19	Cendres	< 0,042	< 0,044	< 0,047	< 0,057	< 0,052	< 0,044	n.a.
Station AS1	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	09/04/19	10/04/19	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 1,2

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

Tableau 9-10 (2/4). Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Hors vents | Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs γ d'origine artificielle						
							Activité Bq.kg^{-1} sec (sols, végétaux), Bq.L^{-1} (lait)						
							^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{131}I
Sillars	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	10/04/19	28/04/19	Sec	< 0,13	**6,00 ± 0,69**	< 0,13	< 0,12	< 0,17	< 0,15	n.a.
Sillars	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 5 - 15 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	10/04/19	30/04/19	Sec	< 0,15	**6,26 ± 0,72**	< 0,15	< 0,12	< 0,17	< 0,18	n.a.
Sillars	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 15 - 30 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	10/04/19	02/05/19	Sec	< 0,15	**6,09 ± 0,70**	< 0,15	< 0,12	< 0,18	< 0,17	n.a.
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	09/04/19	23/04/19	Sec	< 0,15	**2,33 ± 0,29**	< 0,15	< 0,15	< 0,18	< 0,17	n.a.
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 5 - 15 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	09/04/19	30/04/19	Sec	< 0,14	**3,05 ± 0,36**	< 0,15	< 0,14	< 0,18	< 0,17	n.a.
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 15 - 30 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	09/04/19	02/05/19	Sec	< 0,15	**4,44 ± 0,52**	< 0,16	< 0,15	< 0,19	< 0,18	n.a.
Bignoux	Sol cultivé	Sol de céréale *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	22/07/19	07/08/19	Sec	< 0,14	**3,90 ± 0,25**	< 0,13	< 0,12	< 0,17	< 0,16	n.a.
Chauvigny	Sol cultivé	Sol de céréale *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	22/07/19	12/08/19	Sec	< 0,15	**3,43 ± 0,41**	< 0,15	< 0,14	< 0,19	< 0,18	n.a.
Bignoux	Sol cultivé	Sol de salade *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	24/06/19	10/07/19	Sec	< 0,14	**4,73 ± 0,55**	< 0,13	< 0,11	< 0,16	< 0,15	n.a.
Chapelle-Viviers	Sol cultivé	Sol de salade *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	24/06/19	08/07/19	Sec	< 0,11	**3,75 ± 0,45**	< 0,10	< 0,098	< 0,12	< 0,11	n.a.
Sillars	Lait	Lait de vache	Entier	10/04/19	20/05/19	Cendres	< 0,0040	**0,0075 ± 0,0041**	< 0,0056	< 0,0048	< 0,0049	< 0,0043	n.a.
Sillars	Lait	Lait de vache	Entier	10/04/19	11/04/19	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 0,15
Fontprévoir	Lait	Lait de vache	Entier	09/04/19	10/05/19	Cendres	< 0,0036	**0,0088 ± 0,0038**	< 0,0047	< 0,0045	< 0,0043	< 0,0038	n.a.
Fontprévoir	Lait	Lait de vache	Entier	09/04/19	10/04/19	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 0,11

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

Tableau 9-10 (3/4). Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Hors vents	Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs γ d'origine artificielle					
							Activité Bq.kg^{-1} sec (sols, végétaux), Bq.kg^{-1} frais (viande), Bq.L^{-1} (lait)					
							^{124}Sb	^{125}Sb	^{154}Eu	^{57}Co	^{106}Rh	^{241}Am
Bonnes	Mousse terrestre	Mousse *Rhytidiadelphus triquetrus*	Entier	08/04/19	09/04/19	Frais	< 0,63	< 1,5	< 0,86	< 0,36	< 4,8	< 0,98
Cubord (Le Peu)	Mousse terrestre	Mousse *Rhytidiadelphus triquetrus*	Entier	08/04/19	09/04/19	Frais	< 0,44	< 1,2	< 0,64	< 0,26	< 3,8	< 0,86
Roches Prémarie	Production agricole	Pommes	Entier	21/10/19	23/03/20	Cendres	< 0,069	< 0,033	< 0,016	< 0,0094	< 0,13	< 0,020
Bonnes La Frolle	Production agricole	Pommes	Entier	21/10/19	27/12/19	Cendres	< 0,043	< 0,053	< 0,026	< 0,013	< 0,19	< 0,034
Bignoux	Production agricole	Blé	Entier	22/07/19	31/10/19	Cendres	< 0,069	< 0,057	< 0,025	< 0,012	< 0,18	< 0,028
Chapelle-Viviers	Production agricole	Blé	Entier	23/07/19	09/08/19	Cendres	< 0,025	< 0,052	< 0,023	< 0,0095	< 0,14	< 0,027
Bignoux	Production agricole	Salade Laitue *Lactuca sativa L.*	Feuilles	24/06/19	12/07/19	Cendres	< 0,096	< 0,21	< 0,095	< 0,050	< 0,70	< 0,16
Chapelle-Viviers	Production agricole	Salade Laitue *Lactuca sativa L.*	Feuilles	24/06/19	12/07/19	Cendres	< 0,087	< 0,18	< 0,095	< 0,040	< 0,63	< 0,13
Valdivienne La Roussalière	Production agricole	Viande de bison	Entier	21/10/19	10/12/19	Cendres	< 0,033	< 0,048	< 0,020	< 0,0092	< 0,16	< 0,022
Sillars	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	10/04/19	23/04/19	Cendres	< 0,037	< 0,098	< 0,060	< 0,026	< 0,33	< 0,093
Station AS1	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	09/04/19	19/04/19	Cendres	< 0,043	< 0,11	< 0,064	< 0,027	< 0,34	< 0,092

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

Tableau 9-10 (4/4). Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Hors vents	Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs γ d'origine artificielle					
							Activité Bq.kg^{-1} sec (sols, végétaux, fruits, viande), Bq.L^{-1} (lait)					
							^{124}Sb	^{125}Sb	^{154}Eu	^{57}Co	^{106}Rh	^{241}Am
Sillars	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	10/04/19	28/04/19	Sec	< 0,15	< 0,40	< 0,30	< 0,13	< 1,1	< 0,45
Sillars	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 5 - 15 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	10/04/19	30/04/19	Sec	< 0,18	< 0,66	< 0,31	< 0,14	< 1,3	< 0,47
Sillars	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 15 - 30 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	10/04/19	02/05/19	Sec	< 0,18	< 0,45	< 0,36	< 0,16	< 1,3	< 0,54
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	09/04/19	23/04/19	Sec	< 0,17	< 0,44	< 0,31	< 0,14	< 1,1	< 0,47
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 5 - 15 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	09/04/19	30/04/19	Sec	< 0,17	< 0,42	< 0,33	< 0,15	< 1,0	< 0,52
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie *Horizon 15 - 30 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	09/04/19	02/05/19	Sec	< 0,18	< 0,44	< 0,33	< 0,15	< 1,1	< 0,52
Bignoux	Sol cultivé	Sol de céréale *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	22/07/19	07/08/19	Sec	< 0,16	< 0,41	< 0,33	< 0,14	< 1,2	< 0,51
Chauvigny	Sol cultivé	Sol de céréale *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	22/07/19	12/08/19	Sec	< 0,18	< 0,44	< 0,34	< 0,15	< 1,3	< 0,52
Bignoux	Sol cultivé	Sol de salade *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	24/06/19	10/07/19	Sec	< 0,16	< 0,40	< 0,31	< 0,14	< 1,2	< 0,49
Chapelle-Viviers	Sol cultivé	Sol de salade *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	24/06/19	08/07/19	Sec	< 0,12	< 0,29	< 0,18	< 0,079	< 0,92	< 0,25
Sillars	Lait	Lait de vache	Entier	10/04/19	20/05/19	Cendres	< 0,0060	< 0,0092	< 0,0046	< 0,0021	< 0,024	< 0,0055
Fontprévoir	Lait	Lait de vache	Entier	09/04/19	10/05/19	Cendres	< 0,0048	< 0,0083	< 0,0043	< 0,0019	< 0,024	< 0,0052

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

Hors vents | Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{127}I mg.kg^{-1} frais (mousses, herbes) mg.L^{-1} (laits)
Bonnes	Mousse terrestre	Mousse *Rhytidiadelphus triquetrus*	Entier	08/04/19	22/10/19	Lyophilisée	< 33
Cubord (Le Peu)	Mousse terrestre	Mousse *Rhytidiadelphus triquetrus*	Entier	08/04/19	22/10/19	Lyophilisée	< 38
Sillars	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	10/04/19	22/10/19	Lyophilisée	< 10
Station AS1	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	09/04/19	22/10/19	Lyophilisée	< 12
Sillars	Lait	Lait de vache	Entier	10/04/19	22/11/19	Lyophilisée	< 6,6
Fontprévoir	Lait	Lait de vache	Entier	09/04/19	22/11/19	Lyophilisée	< 6,4

Tableau 9-11. Teneurs en iode stable des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{3}H libre Bq.L^{-1}	^{3}H libre Bq.kg^{-1} frais (végétaux) Bq.L^{-1} de lait
Chapelle-Viviers	Production agricole	Salade Laitue *Lactuca sativa L.*	Feuilles	24/06/19	24/09/19	Eau de lyophilisation	1,65 ± 0,62	1,45 ± 0,54
Station AS1	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	09/04/19	16/07/19	Eau de lyophilisation	1,79 ± 0,60	1,36 ± 0,45
Fontprévoir	Lait	Lait de vache	Entier	09/04/19	18/07/19	Eau de lyophilisation	< 0,51	< 0,43

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

Tableau 9-12. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Hors vents | Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{3}H organiquement lié		
							Bq.L $^{-1}$ d'eau de combustion	Bq.kg $^{-1}$ sec (végétaux) Bq.L $^{-1}$ (lait)	Bq.kg $^{-1}$ MO
Chapelle-Viviers	Production agricole	Salade Laitue *Lactuca sativa L.*	Feuilles	24/06/19	10/08/19	Lyophilisée	< 0,52	< 0,034	< 0,32
Station AS1	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	09/04/19	03/06/19	Lyophilisée	0,91 ± 0,57	0,121 ± 0,079	0,55 ± 0,36
Fontprévoir	Lait	Lait de vache	Entier	09/04/19	28/05/19	Lyophilisée	< 0,50	< 0,047	< 0,39

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

Tableau 9-13. Activités du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Hors vents | Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{14}C		C tot	^{13}C/^{12}C	PMC
							Bq.kg $^{-1}$ de C	Bq.kg $^{-1}$ frais (végétaux) Bq.L $^{-1}$ de lait	g.kg $^{-1}$ frais (végétaux) g.L $^{-1}$ de lait	‰	%
Bignoux	Production agricole	Salade Laitue *Lactuca sativa L.*	Feuilles	24/06/19	15/11/19	Lyophilisée	224,0 ± 8,0	6,30 ± 0,22	28	-29,95	100
Chapelle-Viviers	Production agricole	Salade Laitue *Lactuca sativa L.*	Feuilles	24/06/19	20/11/19	Lyophilisée	221,0 ± 8,0	11,35 ± 0,41	51	-30,97	99
Fontprévoir	Lait	Lait de vache	Entier	09/04/19	09/10/19	Lyophilisée	230,0 ± 9,0	14,79 ± 0,58	64	-20,73	101

Tableau 9-14. Activités du ^{14}C des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{55}Fe
							Bq.kg $^{-1}$ sec
Chauvigny	Sol cultivé	Sol de céréale *Horizon 0 - 20 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	22/07/19	25/03/20	Calciné	< 27

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

Tableau 9-15. Activités du ^{55}Fe des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Hors vents	Sous les vents

Station	Nature	Date de prélèvement	Analyses	%
Bignoux	Sol de céréale *Horizon 0 - 5 cm*	22/07/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	17,90
			Limons fins	19,90
			Limons grossiers	22,10
			Sables fins	14,00
			Sables grossiers	26,10
			Teneur en matières organiques	2,15
Chauvigny	Sol de céréale *Horizon 0 - 5 cm*	22/07/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	18,50
			Limons fins	35,20
			Limons grossiers	25,80
			Sables fins	6,90
			Sables grossiers	13,60
			Teneur en matières organiques	1,92
Bignoux	Sol de salade *Horizon 0 - 5 cm*	24/06/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	27,70
			Limons fins	15,30
			Limons grossiers	14,50
			Sables fins	16,00
			Sables grossiers	26,50
			Teneur en matières organiques	3,55
Chapelle-Viviers	Sol de salade *Horizon 0 - 5 cm*	24/06/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	16,20
			Limons fins	36,60
			Limons grossiers	16,90
			Sables fins	12,10
			Sables grossiers	18,30
			Teneur en matières organiques	5,30

Tableau 9-16 (1/2). Granulométrie et teneur en matières organiques des échantillons de sols prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Hors vents	Sous les vents

Station	Nature	Date de prélèvement	Analyses	%
Sillars	Sol de prairie *Horizon 0 - 5 cm*	10/04/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	43,30
			Limons fins	24,10
			Limons grossiers	16,80
			Sables fins	8,00
			Sables grossiers	8,00
			Teneur en matières organiques	13,64
Sillars	Sol de paririe *Horizon 5 - 15 cm*	10/04/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	14,50
			Limons fins	10,40
			Limons grossiers	7,80
			Sables fins	16,10
			Sables grossiers	51,30
			Teneur en matières organiques	2,98
Sillars	Sol de paririe *Horizon 15 - 30 cm*	10/04/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	13,80
			Limons fins	11,10
			Limons grossiers	8,70
			Sables fins	18,60
			Sables grossiers	47,80
			Teneur en matières organiques	1,94
Station AS1	Sol de prairie *Horizon 0 - 5 cm*	09/04/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	14,30
			Limons fins	10,20
			Limons grossiers	7,50
			Sables fins	12,30
			Sables grossiers	55,70
			Teneur en matières organiques	4,90
Station AS1	Sol de paririe *Horizon 5 - 15 cm*	09/04/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	38,50
			Limons fins	13,80
			Limons grossiers	5,90
			Sables fins	8,50
			Sables grossiers	33,30
			Teneur en matières organiques	6,12
Station AS1	Sol de paririe *Horizon 15 - 30 cm*	09/04/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	36,40
			Limons fins	14,10
			Limons grossiers	5,60
			Sables fins	9,20
			Sables grossiers	34,70
			Teneur en matières organiques	3,03

Tableau 9-16 (2/2). Granulométrie et teneur en matières organiques des échantillons de sols prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Tableau 9-17. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ et du ^{3}H libre dans les eaux prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	juin 2010	avril 2011	fév./mai 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	mai 2016	juin 2017	mai/oct. 2018	juil. 2019
Distance par rapport au site	5,9 km	5,9 km	5,9 km	5,9 km	5,9 km	5,9 km	5,9 km	5,9 km	5,9 et 10 km	2,7 à 10 km
Emetteurs γ d'origine artificielle										
^{134}Cs	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{137}Cs	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{58}Co	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{60}Co	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{110m}Ag	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{54}Mn	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Emetteurs β										
^{3}H libre	0,59 (1/1)	-	-	-	0,90 (1/1)	-	-	-	53 (1/2)	36,1 (1/4)

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 9-18. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de C ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	juil. 2010		sept. 2011		juil. 2012		août 2013		août 2014		juin 2015		juil. 2016		sept. 2017		oct. 2018		août 2019	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																				
^{134}Cs	-	-	-	3,3 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26 (1/2)	-	-
^{137}Cs	10 (1/1)	9,3-15 (2/2)	11 (1/1)	12-17 (2/2)	7,4 (1/1)	8,4-12 (2/2)	10 (1/1)	9,0-10 (2/2)	10 (1/1)	8,7-9,4 (2/2)	7,8 (1/1)	8,8-9,8 (2/2)	6,6 (1/1)	7,1-8,6 (2/2)	7,7 (1/1)	9,0-9,3 (2/2)	4,9 (1/1)	5,9-6,8 (2/2)	5,92 (1/1)	7,70-8,23 (2/2)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	0,30-0,62 (2/2)	-	0,27-0,42 (2/2)	-	4,1-8,0 (2/2)	-	1,0-1,1 (2/2)	-	0,41-0,79 (2/2)	-	0,35-1,0 (2/2)	-	-	-	0,44-0,87 (2/2)
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	0,31 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β																				
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	222,3 (1/1)	377,8 (1/1)
^{3}H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}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.	n.a.	-	2,54 (1/1)

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 9-19. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les phanérogames prélevées dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de C ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	juil. 2009		juil. 2010		avril 2011		juil. 2012		juin 2013		août 2014		sept. 2015		juil. 2016		sept. 2017		oct. 2018		juin 2019	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																						
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12 (1/2)	-	-	-	-
^{137}Cs	0,48 (1/1)	0,31-0,44 (2/2)	1,2 (1/1)	0,43-0,58 (2/2)	0,59 (1/1)	0,30-0,37 (2/2)	0,42 (1/1)	0,18-0,25 (2/2)	0,21 (1/1)	0,20-0,39 (2/2)	0,33 (1/1)	0,26-0,28 (2/2)	0,75 (1/1)	0,41-0,55 (2/2)	0,37 (1/1)	0,13-0,20 (2/2)	0,62 (1/1)	0,58-0,97 (2/2)	0,45 (1/1)	0,20-0,24 (2/2)	0,446 (1/1)	0,273-0,353 (2/2)
^{58}Co	-	0,070 (1/2)	-	-	-	-	-	0,082 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14 (1/2)	-	-
^{60}Co	-	0,11 (1/2)	-	0,19 (1/2)	-	-	-	0,43-0,81 (2/2)	-	0,21 (1/2)	-	1,4-1,6 (2/2)	-	0,22-0,33 (2/2)	-	-	-	0,16 (2/2)	-	0,11 (1/2)	-	-
^{110m}Ag	-	0,24 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14 (1/2)	-	0,10 (1/2)	-	-	-	-	-	0,090 (1/2)	-	-
^{131}I	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
Emetteurs β																						
^{14}C	237 (1/1)	881 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	206 (1/1)	524 (1/1)	222,0 (1/1)	1338,8 (1/1)
^{3}H libre	-	17-45 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1,1 (1/1)	n.a.	n.a.	0,9 (1/1)	55 (1/1)	-	41,0 (1/1)
^{3}H organiquement lié	1,2 (1/1)	13-25 (2/2)	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.	-	19 (1/1)	-	18,1 (1/1)

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 9-20. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ et du ^{3}H libre dans les mousses aquatiques prélevées dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	sept. 2010		sept. 2011		sept. 2012		sept. 2013		sept. 2014		sept. 2015		sept. 2016		sept. 2017		oct. 2018		juil. 2019	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																				
^{134}Cs	-	-	-	0,25 (1/1)	-	-	-	-	-	0,37 (1/1)	-	-	-	0,23 (1/1)	-	-	n.a.	n.a.	-	-
^{137}Cs	5,3 (1/1)	4,0 (1/1)	7,1 (1/1)	5,7 (1/1)	3,6 (1/1)	2,3 (1/1)	2,0 (1/1)	2,0 (1/1)	1,4 (1/1)	1,8 (1/1)	3,8 (1/1)	2,4 (1/1)	3,4 (1/1)	1,5 (1/1)	4,3 (1/1)	2,4 (1/1)	n.a.	n.a.	2,02 (1/1)	1,86 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-
^{60}Co	-	-	-	0,79 (1/1)	-	0,35 (1/1)	-	0,27 (1/1)	-	5,4 (1/1)	-	1,1 (1/1)	-	0,32 (1/1)	-	0,60 (1/1)	n.a.	n.a.	-	0,256 (1/1)
^{110m}Ag	-	-	-	0,59 (1/1)	-	-	-	-	-	0,79 (1/1)	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-
^{54}Mn	-	0,39 (1/1)	-	1,2 (1/1)	-	1,9 (1/1)	-	0,21 (1/1)	-	1,8 (1/1)	-	-	-	0,52 (1/1)	-	-	n.a.	n.a.	-	0,100 (1/1)
^{131}I	4,0 (1/1)	4,2 (1/1)	-	-	-	-	-	-	2,2 (1/1)	2,8 (1/1)	-	2,1 (1/1)	-	-	-	-	1,9 (1/1)	-	-	-
Emetteurs β																				
^{3}H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}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.	n.a.	n.a.	n.a.

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 9-21. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} frais ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^{3}H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	oct. 2009		juil. 2010		oct. 2011		juin 2012		sept. 2013		sept. 2014		sept. 2015		sept. 2016		sept. 2017		sept. 2018		nov. 2019	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																						
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,49 (1/1)	0,31 (1/1)	0,25 (1/1)	0,21 (1/1)	0,26 (1/1)	0,27 (1/1)	0,23 (1/1)	0,31 (1/1)	0,30 (1/1)	0,10 (1/1)	0,18 (1/1)	0,15 (1/1)	0,13 (1/1)	0,20 (1/1)	0,16 (1/1)	0,14 (1/1)	0,17 (1/1)	0,16 (1/1)	0,11 (1/1)	0,15 (1/1)	0,121 (1/1)	0,238 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β																						
^{14}C	261 (1/1)	1452 (1/1)	-	-	-	-	252 (1/1)	1543 (1/1)	291 (1/1)	647 (1/1)	234 (1/1)	1690 (1/1)	241 (1/1)	1091 (1/1)	227 (1/1)	2017 (1/1)	236 (1/1)	1750 (1/1)	238 (1/1)	1557 (1/1)	230,0 (1/1)	1710 (1/1)
^{3}H libre	1,0 (1/2)	3,9-31 (2/2)	0,79 (1/1)	3,9 (1/1)	-	0,96 (1//1)	1,1 (1/1)	3,1 (1/1)	0,64 (1/1)	-	-	28 (1/1)	-	-	-	40 (1/1)	0,8 (1/1)	0,9 (1/1)	-	-	n.a.	n.a.
^{3}H organiquement lié	2,7 (1/1)	11 (1/1)	-	-	-	-	-	12 (1/1)	1,4 (1/1)	12 (1/1)	0,93 (1/1)	18 (1/1)	1,3 (1/1)	9,6 (1/1)	1,2 (1/1)	17 (1/1)	4,4 (1/1)	10 (1/1)	-	5,6 (1/1)	-	10,6 (1/1)

« n.a. » : non analysé ; « - » : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 9-22 (1/2). Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

							Emetteurs γ d'origine naturelle					
							Activité Bq.kg $^{-1}$ sec (sédiments, végétaux), Bq.kg $^{-1}$ frais (poissons)					
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{40}K	Famille de ^{232}Th	Famille de ^{238}U			^{7}Be
								^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Monas Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/07/19	08/08/19	Sec	525 ± 75	57,3 ± 7,5	n.a.	81 ± 28	n.a.	47,4 ± 6,0
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/07/19	19/08/19	Sec	486 ± 70	64,6 ± 8,4	n.a.	80 ± 24	n.a.	59,7 ± 7,0
Vieilles Ecluses Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/07/19	14/08/19	Sec	494 ± 71	64,8 ± 8,5	n.a.	100 ± 29	n.a.	88 ± 10
Monas Rive gauche	Phanérogame immergée	Renoncule *Ranunculus aquatica*	Entier	26/06/19	29/07/19	Cendres	1130 ± 160	87 ± 11	8,3 ± 4,0	n.a.	8,2 ± 2,7	47,0 ± 5,3
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Phanérogame immergée	Renoncule *Ranunculus aquatica*	Entier	26/06/19	05/08/19	Cendres	1160 ± 170	105 ± 14	53 ± 30	n.a.	156 ± 45	68,9 ± 7,8
Vieilles Ecluses Rive droite	Phanérogame immergée	Renoncule *Ranunculus aquatica*	Entier	26/06/19	19/07/19	Cendres	1150 ± 170	121 ± 16	14 ± 5	n.a.	9,0 ± 3,0	62,8 ± 7,1

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

Tableau 9-22 (2/2). Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

							Emetteurs γ d'origine naturelle					
							Activité Bq.kg $^{-1}$ sec (sédiments, végétaux), Bq.kg $^{-1}$ frais (poissons)					
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{40}K	Famille de ^{232}Th	Famille de ^{238}U			^{7}Be
								^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Chapelle St-Sylvain Gué de la Biche	Mousse aquatique	Mousse *Fontinalis antipyretica Hedw.*	Entier	23/07/19	02/09/19	Cendres	310 ± 44	354 ± 46	139 ± 21	n.a.	43,4 ± 9,0	327 ± 37
Vieilles Ecluses Au milieu du seuil	Mousse aquatique	Mousse *Fontinalis antipyretica Hedw.*	Entier	23/07/19	02/09/19	Cendres	308 ± 44	239 ± 31	72 ± 11	n.a.	38,6 ± 9,0	279 ± 31
Le Pont Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	18/11/19	20/12/19	Cendres	96 ± 14	< 0,068	< 0,15	n.a.	< 0,21	< 0,18
Salles-en-Toulon (Ile des Dessous) Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	19/11/19	20/01/20	Cendres	156 ± 22	< 0,13	< 0,30	n.a.	< 0,42	< 0,57
Le Pont Rives gauche et droite	Fèces de faune sauvage	Fèces de ragondin	Entier	25/06/19	28/06/19	Cendres	450 ± 68	17,5 ± 5,1	9,5 ± 5,1	n.a.	61 ± 15	186 ± 23
Vieilles Ecluses Rive droite	Fèces de faune sauvage	Fèces de ragondin	Entier	25/06/19	28/06/19	Cendres	376 ± 58	15,3 ± 5,2	< 9,2	n.a.	31 ± 12	125 ± 17

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

Tableau 9-23 (1/4). Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs γ d'origine artificielle — Activité Bq.kg⁻¹ sec (sédiments, végétaux), Bq.kg⁻¹ frais (poissons)						
							^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{131}I
Monas Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/07/19	08/08/19	Sec	< 0,22	**5,92 ± 0,70**	< 0,22	< 0,22	< 0,26	< 0,26	n.a.
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/07/19	19/08/19	Sec	< 0,20	**7,70 ± 0,89**	< 0,20	**0,44 ± 0,13**	< 0,27	< 0,23	n.a.
Vieilles Ecluses Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/07/19	14/08/19	Sec	< 0,27	**8,23 ± 0,96**	< 0,24	**0,87 ± 0,27**	< 0,28	< 0,27	n.a.
Monas Rive gauche	Phanérogame immergée	Renoncule *Ranunculus aquatica*	Entier	26/06/19	29/07/19	Cendres	< 0,097	**0,446 ± 0,070**	< 0,11	< 0,099	< 0,12	< 0,12	n.a.
Monas Rive gauche	Phanérogame immergée	Renoncule Ranunculus aquatica	Entier	26/06/19	29/07/19	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 1,7
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Phanérogame immergée	Renoncule *Ranunculus aquatica*	Entier	26/06/19	05/08/19	Cendres	< 0,11	**0,353 ± 0,068**	< 0,14	< 0,11	< 0,14	< 0,23	n.a.
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Phanérogame immergée	Renoncule Ranunculus aquatica	Entier	26/06/19	29/07/19	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 2,4
Vieilles Ecluses Rive droite	Phanérogame immergée	Renoncule *Ranunculus aquatica*	Entier	26/06/19	19/07/19	Cendres	< 0,10	**0,273 ± 0,060**	< 0,12	< 0,11	< 0,13	< 0,23	n.a.

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

Tableau 9-23 (2/4). Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs γ d'origine artificielle — Activité Bq.kg⁻¹ sec (sédiments, végétaux), Bq.kg⁻¹ frais (poissons)						
							^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{131}I
Chapelle St-Sylvain Gué de la Biche	Mousse aquatique	Mousse *Fontinalis antipyretica Hedw.*	Entier	23/07/19	02/09/19	Cendres	< 0,25	**2,02 ± 0,27**	< 0,32	< 0,25	< 0,34	< 0,34	n.a.
Chapelle St-Sylvain Gué de la Biche	Mousse aquatique	Mousse *Fontinalis antipyretica Hedw.*	Entier	23/07/19	25/07/19	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 1,9
Vieilles Ecluses Au milieu du seuil	Mousse aquatique	Mousse *Fontinalis antipyretica Hedw.*	Entier	23/07/19	09/08/19	Cendres	< 0,18	**1,86 ± 0,24**	< 0,19	**0,256 ± 0,096**	< 0,23	**0,100 ± 0,050**	n.a.
Vieilles Ecluses Au milieu du seuil	Mousse aquatique	Mousse *Fontinalis antipyretica Hedw.*	Entier	23/07/19	09/08/19	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 1,7
Le Pont Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	18/11/19	20/12/19	Cendres	< 0,019	**0,121 ± 0,023**	< 0,021	< 0,021	< 0,024	< 0,018	n.a.
Salles-en-Toulon (Ile des Dessous) Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	19/11/19	20/01/20	Cendres	< 0,038	**0,238 ± 0,047**	< 0,061	< 0,043	< 0,052	< 0,038	n.a.
Le Pont Rives gauche et droite	Fèces de faune sauvage	Fèces de ragondin	Entier	25/06/19	28/06/19	Cendres	< 0,90	**1,64 ± 0,95**	< 0,72	< 0,38	< 0,90	< 0,74	n.a.
Vieilles Ecluses Rive droite	Fèces de faune sauvage	Fèces de ragondin	Entier	25/06/19	28/09/19	Cendres	< 1,0	**1,47 ± 0,94**	< 0,81	< 0,90	< 1,0	< 0,82	n.a.

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

Tableau 9-23 (3/4). Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs γ d'origine artificielle					
							Activité Bq.kg $^{-1}$ sec (sédiments, végétaux), Bq.kg $^{-1}$ frais (poissons)					
							^{124}Sb	^{125}Sb	^{154}Eu	^{57}Co	^{106}Rh	^{241}Am
Monas Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/07/19	08/08/19	Sec	< 0,25	< 0,62	< 0,38	< 0,17	< 2,0	< 0,56
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/07/19	19/08/19	Sec	< 0,27	< 0,57	< 0,36	< 0,15	< 1,7	< 0,43
Vieilles Ecluses Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/07/19	14/08/19	Sec	< 0,28	< 0,67	< 0,42	< 0,19	< 2,0	< 0,67
Monas Rive gauche	Phanérogame immergée	Renoncule *Ranunculus aquatica*	Entier	26/06/19	29/07/19	Cendres	< 0,12	< 0,26	< 0,15	< 0,067	< 0,59	< 0,24
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Phanérogame immergée	Renoncule *Ranunculus aquatica*	Entier	26/06/19	05/08/19	Cendres	< 0,16	< 0,31	< 0,27	< 0,12	< 0,77	< 2,0
Vieilles Ecluses Rive droite	Phanérogame immergée	Renoncule *Ranunculus aquatica*	Entier	26/06/19	19/07/19	Cendres	< 0,14	< 0,30	< 0,18	< 0,077	< 0,90	< 0,27

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

Tableau 9-23 (4/4). Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs γ d'origine artificielle					
							Activité Bq.kg $^{-1}$ sec (sédiments, végétaux), Bq.kg $^{-1}$ frais (poissons)					
							^{124}Sb	^{125}Sb	^{154}Eu	^{57}Co	^{106}Rh	^{241}Am
Chapelle St-Sylvain Gué de la Biche	Mousse aquatique	Mousse *Fontinalis antipyretica Hedw.*	Entier	23/07/19	02/09/19	Cendres	< 0,39	< 0,78	< 0,46	< 0,21	< 2,2	< 0,66
Vieilles Ecluses Au milieu du seuil	Mousse aquatique	Mousse *Fontinalis antipyretica Hedw.*	Entier	23/07/19	09/08/19	Cendres	< 0,22	< 0,55	< 0,33	< 0,14	< 0,96	< 0,49
Le Pont Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	18/11/19	20/12/19	Cendres	< 0,025	< 0,044	< 0,019	< 0,0081	< 0,15	< 0,020
Salles-en-Toulon (Ile des Dessous) Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	19/11/19	20/01/20	Cendres	< 0,073	< 0,087	< 0,037	< 0,017	< 0,28	< 0,041
Le Pont Rives gauche et droite	Fèces de faune sauvage	Fèces de ragondin	Entier	25/06/19	28/06/19	Cendres	< 0,89	< 2,0	< 0,92	< 0,37	< 7,0	< 0,97
Vieilles Ecluses Rive droite	Fèces de faune sauvage	Fèces de ragondin	Entier	25/06/19	28/09/19	Cendres	< 1,0	< 2,4	< 1,1	< 0,45	< 7,0	< 0,95

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

Amont | Aval | Aval lointain

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{127}I mg.kg^{-1} frais
Chapelle St-Sylvain Gué de la Biche	Mousse aquatique	Mousse *Fontinalis antipyretica Hedw.*	Entier	23/07/19	22/10/19	Lyophilisée	< 6,9
Vieilles Ecluses Au milieu du seuil	Mousse aquatique	Mousse *Fontinalis antipyretica Hedw.*	Entier	23/07/19	22/10/19	Lyophilisée	< 5,6
Monas Rive gauche	Phanérogame immergée	Renoncule *Ranunculus aquatica*	Entier	26/06/19	22/10/19	Lyophilisée	< 4,7
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Phanérogame immergée	Renoncule *Ranunculus aquatica*	Entier	26/06/19	22/10/19	Lyophilisée	< 4,2

Tableau 9-24. Teneurs en iode stable dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont | Aval

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{3}H libre Bq.L^{-1}	^{3}H libre Bq.kg^{-1} frais
Monas Rive gauche	Phanérogame immergée	Renoncule *Ranunculus aquatica*	Entier	26/06/19	13/10/19	Eau de lyophilisation	< 0,71	< 0,64
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Phanérogame immergée	Renoncule *Ranunculus aquatica*	Entier	26/06/19	17/10/19	Eau de lyophilisation	41,0 ± 4,0	37,6 ± 3,7
St-Martin-la-Rivière	Eau	Eau de boisson	Entier	12/04/19	04/09/19	Entier	< 0,52	-
Chauvigny	Eau	Eau d'irrigation	Entier	22/07/19	06/09/19	Entier	< 0,56	-
Le Pont Rives gauche et droite	Eau	Eau de rivière	Entier	25/06/19	08/08/19	Entier	< 0,45	-
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Eau	Eau de rivière	Entier	25/06/19	09/08/19	Entier	36,1 ± 6,5	-

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

Tableau 9-25. Activités du tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval

							^{3}H organiquement lié		
Station	**Nature**	**Espèce**	**Fraction**	**Date de prélèvement**	**Date de mesure**	**Qualité**	**Bq.L $^{-1}$ d'eau de combustion**	**Bq.kg $^{-1}$ sec (sédiments) Bq.kg $^{-1}$ frais (végétaux, poissons)**	**Bq.kg $^{-1}$ MO**
Monas Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/07/19	25/09/19	Eau de combustion	< 0,55	< 0,043	< 0,26
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/07/19	01/10/19	Eau de combustion	2,54 ± 0,72	0,30 ± 0,13	1,52 ± 0,64
Monas Rive gauche	Phanérogame immergée	Renoncule *Ranunculus aquatica*	Entier	26/06/19	13/10/19	Eau de combustion	< 0,56	< 0,024	< 0,29
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Phanérogame immergée	Renoncule *Ranunculus aquatica*	Entier	26/06/19	12/10/19	Eau de combustion	18,1 ± 3,3	0,68 ± 0,16	9,4 ± 2,2
Le Pont Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	18/11/19	06/01/20	Eau de combustion	< 0,58	< 0,090	< 0,43
Salles-en-Toulon (Ile des Dessous) Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	19/11/19	20/01/20	Eau de combustion	10,6 ± 2,0	1,85 ± 0,40	7,8 ± 1,7

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

Tableau 9-26. Activités du tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{14}C		C tot	$^{13}C/^{12}C$	PMC
							Bq.kg $^{-1}$ de C	Bq.kg $^{-1}$ sec (sédiments) Bq.kg $^{-1}$ frais (végétaux, poissons) Bq.L $^{-1}$ (eaux)	g.kg $^{-1}$ sec (sédiments) g.kg $^{-1}$ frais (végétaux, poissons) g.L $^{-1}$ (eaux)	‰	%
Monas Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/07/19	25/03/20	Lyophilisée	222,3 ± 1,3	11,9 ± 1,0	54	-28,43	93
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/07/19	25/03/20	Lyophilisée	377,8 ± 2,2	27,7 ± 1,0	73	-28,97	159
Monas Rive gauche	Phanérogame immergée	Renoncule *Ranunculus aquatica*	Entier	26/06/19	25/03/20	Lyophilisée	222,0 ± 1,5	8,251 ± 0,056	37	-24,36	93
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Phanérogame immergée	Renoncule *Ranunculus aquatica*	Entier	26/06/19	25/03/20	Lyophilisée	1338,8 ± 7,2	45,80 ± 0,25	34	-28,15	563
Le Pont Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	18/11/19	01/08/20	Lyophilisée	230,0 ± 8,0	26,19 ± 0,91	114	-24,89	97
Salles-en-Toulon (Ile des Dessous) Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune *Cyprinus carpio*	Muscle	19/11/19	05/08/20	Lyophilisée	1710 ± 40	255,5 ± 6,0	149	-25,68	719
Le Pont Rives gauche et droite	Eau	Eau de rivière	Entier	25/06/19	25/10/19	Entier	225,3 ± 1,0	0,003988 ± 0,000018	0,0177	-27,86	95
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Eau	Eau de rivière	Entier	25/06/19	25/10/19	Entier	564,7 ± 2,0	0,009318 ± 0,000033	0,0165	-27,06	237

Tableau 9-27. Activités du ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

							^{63}Ni
Station	**Nature**	**Espèce**	**Fraction**	**Date de prélèvement**	**Date de mesure**	**Qualité**	**Bq.kg $^{-1}$ sec**
Monas Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/07/19	25/11/19	Eau de lyophilisation	< 1,3
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/07/19	25/11/19	Eau de lyophilisation	< 1,2
Chapelle St-Sylvain Gué de la Biche	Mousse aquatique	Mousse *Fontinalis antipyretica Hedw.*	Entier	23/07/19	08/01/21	Eau de lyophilisation	< 0,47
Vieilles Ecluses Au milieu du seuil	Mousse aquatique	Mousse *Fontinalis antipyretica Hedw.*	Entier	23/07/19	08/01/21	Eau de lyophilisation	2,51 ± 0,75

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

Tableau 9-28. Activités du ^{63}Ni dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

							^{55}Fe
Station	**Nature**	**Espèce**	**Fraction**	**Date de prélèvement**	**Date de mesure**	**Qualité**	**Bq.kg $^{-1}$ sec**
Monas Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/07/19	24/03/20	Eau de lyophilisation	< 10
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/07/19	09/03/20	Eau de lyophilisation	< 13
Chapelle St-Sylvain Gué de la Biche	Mousse aquatique	Mousse *Fontinalis antipyretica Hedw.*	Entier	23/07/19	21/03/20	Eau de lyophilisation	< 26
Vieilles Ecluses Au milieu du seuil	Mousse aquatique	Mousse *Fontinalis antipyretica Hedw.*	Entier	23/07/19	06/03/20	Eau de lyophilisation	< 20

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

Tableau 9-29. Activités du ^{55}Fe dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Amont	Aval	Aval lointain

Station	Nature	Date de prélèvement	Analyses	%
Monas Rive gauche	Sédiment	23/07/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	18,10
			Limons fins	15,90
			Limons grossiers	9,70
			Sables fins	41,30
			Sables grossiers	16,80
			Teneur en matières organiques	13,60
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Sédiment	24/07/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	27,60
			Limons fins	27,60
			Limons grossiers	15,10
			Sables fins	30,20
			Sables grossiers	2,10
			Teneur en matières organiques	16,00
Vieilles Ecluses Rive droite	Sédiment	24/07/19	**Granulométrie 5 fractions**	
			Argile	29,90
			Limons fins	26,90
			Limons grossiers	12,10
			Sables fins	27,80
			Sables grossiers	5,90
			Teneur en matières organiques	19,00

Tableau 9-30. Granulométrie et teneur en matières organiques des échantillons de sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2019.

Bibliographie

[1] Electricité de France. Site internet : https://www.edf.fr/centrale-nucleaire-civaux.

[2] EDF. Dossier de presse. La centrale nucléaire de Civaux, une production au cœur de la région Poitou-Charentes. Avril 2012.

[3] IRSN. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017. Rapport de mission 2018, 353 p., 2018.

[4] 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.

[5] Gontier G. et Siclet F. Le tritium organique dans les écosystèmes d'eau douce : évolution à long terme dans l'environnement des centres nucléaires de production d'électricité français. Radioprotection, Vol. 46, n°4, 457-491, 2011.

[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.

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

- Année 2019 -

Bassin de la Loire

Belleville-sur-Loire

Dampierre-en-Burly

Saint-Laurent-des-Eaux

Chinon-Avoine

Civaux

10. Synthèse des résultats au niveau du bassin de la Loire

Le suivi radioécologique des C.N.P.E. français a pour but de quantifier et de distinguer la radioactivité liée aux rejets d'effluents radioactifs atmosphériques et liquides de ces installations nucléaires de la radioactivité naturelle locale et de celle liée aux apports exogènes (essais aériens nucléaires, accidents de Tchernobyl et de Fukushima, rejets de centres hospitaliers…). Ces études consistent donc à suivre l'incidence spatiale et temporelle du fonctionnement normal des C.N.P.E. en déterminant des variations de radioactivité en termes de qualité (radionucléides détectés) et de quantité (niveaux d'activité) dans l'environnement des installations considérées.

Dans ce but, il s'agit de choisir des stations de prélèvement et des matrices permettant de détecter et de distinguer ces différentes contributions. En l'occurrence, dans le milieu terrestre, les prélèvements s'orientent principalement vers des mousses terrestres, des productions agricoles (salades), des sols et des herbes de prairie, du lait et de l'eau de boisson. Dans le milieu aquatique, les échantillons prélevés sont des sédiments, des végétaux aquatiques (phanérogames et mousses aquatiques) et des poissons. Les campagnes de prélèvements se sont déroulées d'avril à décembre 2019.

Dans toutes les matrices prélevées, hormis les eaux de boisson, les analyses portent sur la mesure des radionucléides quantifiables par spectrométrie gamma (^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{58}Co, ^{60}Co, ^{110m}Ag, ^{54}Mn, ^{131}I…) et, depuis 2000, la détermination du tritium libre dans le lait et les eaux de boisson. Depuis 2010, le programme d'analyses du suivi radioécologique annuel a progressivement intégré des mesures de tritium organiquement lié (lait sous les vents dominants et poissons) et de carbone 14 (herbe de pâturage sous les vents dominants et poissons). Ces analyses sont réalisées dans l'environnement des C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly et de Chinon-Avoine depuis 2010, du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux depuis 2011 et des C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire et de Civaux depuis 2012. Depuis 2015, des analyses réglementaires de tritium (libre et organiquement lié) et de carbone 14, publiées dans la décision ASN n°2013-DC-0360 modifiée par la décision ASN n°2016-DC-0569 (« Décision environnement »), ont été intégrées au suivi radioécologique annuel. Cette évolution se traduit, suivant le C.N.P.E. considéré, par la réalisation dans le milieu terrestre de mesures de ^{14}C dans les salades (ZHV et/ou ZSV), les herbes (ZHV) et les laits (ZHV), de mesures de l'activité du tritium libre dans les salades et les herbes de pâturage récoltées sous les vents dominants ainsi que les laits (ZHV) et de mesures de tritium organiquement lié dans les salades prélevées sous les vents dominants. Dans le milieu aquatique, le tritium libre est également mesuré dans les végétaux aquatiques prélevés à l'amont et à l'aval.

Les paragraphes suivants décrivent les résultats de mesure de la radioactivité artificielle, du carbone 14 et du tritium obtenus en 2019 dans les milieux terrestre et aquatique de l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Loire.

10.1 Radioécologie du milieu terrestre en 2019

La Figure 10-1 (page 346) présente les activités des radionucléides artificiels émetteurs gamma détectés en 2019 (>SD) dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre des C.N.P.E. du bassin de la Loire. Les activités sont exprimées en $Bq.kg^{-1}$ sec pour les sols et les végétaux (mousses, salades, herbes…) et en $Bq.L^{-1}$ pour les laits et les eaux. Les données sont représentées en fonction des stations de prélèvements, hors des vents dominants ou sous les vents dominants.

En 2019, la radioactivité d'origine artificielle est due à la présence de ^{137}Cs dans l'ensemble des matrices du milieu terrestre. Il est observé dans 37 des 47 échantillons (79%) prélevés aussi bien dans les zones hors des vents dominants que dans les zones soumises aux vents dominants. L'occurrence de détection et les niveaux d'activité atteints ne sont donc pas corrélés à la position du point de prélèvement vis-à-vis des rejets d'effluents radioactifs atmosphériques des C.N.P.E. Ces observations indiquent que la présence de ^{137}Cs en 2019 provient principalement de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl.

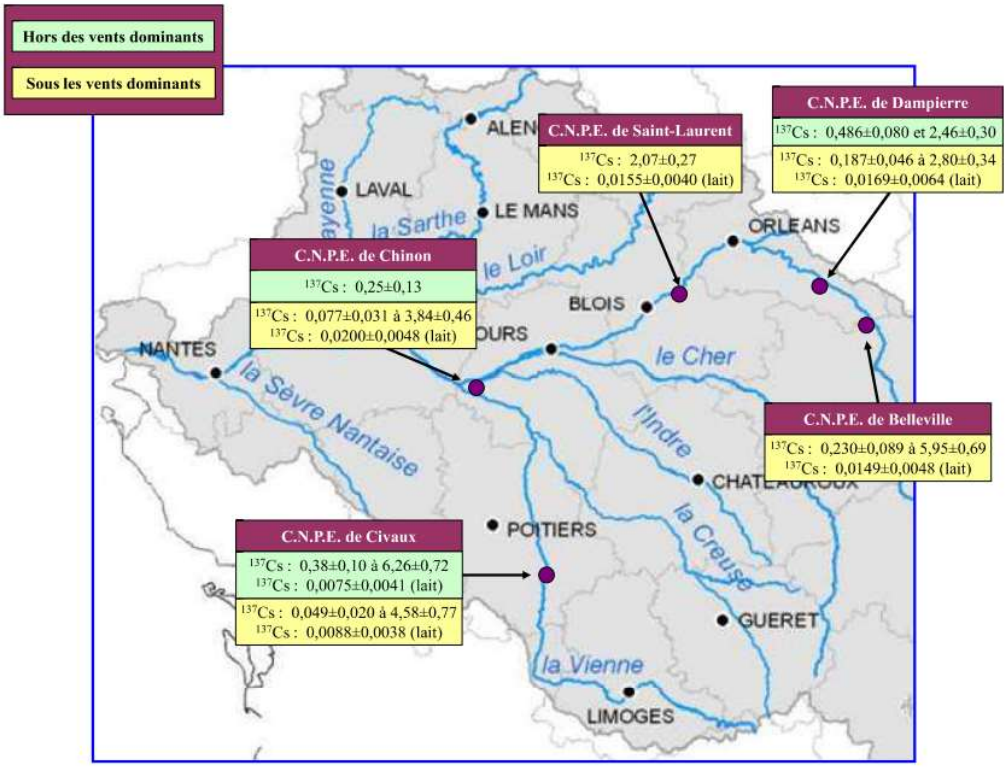


Figure 10-1. Synthèse des activités des radionucléides artificiels émetteurs gamma détectés dans les échantillons prélevés en 2019 dans l'environnement terrestre des C.N.P.E. du bassin de la Loire.

La Figure 10-2 (page 347) présente les activités spécifiques en ^{14}C mesurées de 2012 à 2018 dans l'environnement terrestre des C.N.P.E. du bassin de la Loire dans les herbes de pâturage prélevées au niveau des stations situées sous les vents dominants. Les activités sont exprimées en $Bq.kg^{-1}$ de carbone.

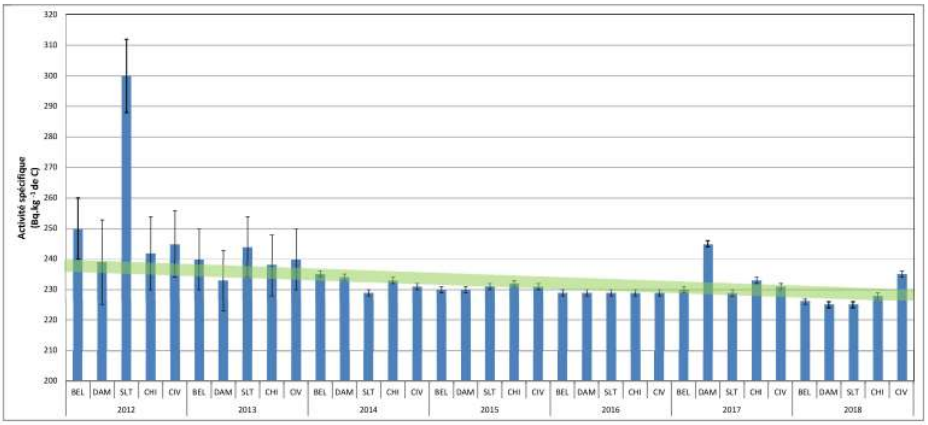


Figure 10-2. Activités spécifiques en ^{14}C mesurées dans les herbes de pâturage prélevées dans l'environnement terrestre des C.N.P.E. du bassin de la Loire de 2012 à 2018. Le bandeau vert représente le bruit de fond ambiant hors influence industrielle (227 $Bq.kg^{-1}$ de C).

En 2019, les analyses de ^{14}C réalisées dans les salades, les herbes de pâturage et/ou les laits montrent des activités cohérentes avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle proche de 227 $Bq.kg^{-1}$ de carbone en 2019 [1]. Ponctuellement, les activités mesurées dans les salades et les herbes prélevées sous les vents dominants sont supérieures de quelques becquerels au bruit de fond ambiant hors influence industrielle. Ce marquage ponctuel est lié aux rejets d'effluents atmosphériques des C.N.P.E.

Les analyses de ^{3}H, libre et organiquement lié, réalisées en 2019 sur les salades, les herbes et les laits prélevés sous les vents dominants dans l'environnement des cinq C.N.P.E. montrent des activités cohérentes avec les niveaux attendus hors influence industrielle locale [1-3].

Enfin, dans l'environnement des C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux et de Chinon-Avoine, les résultats d'analyse du ^{90}Sr et des émetteurs alphas (^{238}Pu, $^{239+240}Pu$ et ^{241}Am) dans les mousses terrestres et/ou les sols non cultivés prélevés sous les vents dominants montrent des activités cohérentes avec les niveaux observés habituellement en lien avec les retombées atmosphériques des essais aériens nucléaires [4,5]. Dans ces échantillons, les analyses de ^{55}Fe montrent des activités inférieures aux seuils de décision à l'exception de l'activité mesurée dans la mousse terrestre prélevée à Huismes (ZSV) dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine.

10.2 Radioécologie du milieu aquatique en 2019

Les Figure 10-3 (page 348), Figure 10-4 (page 349) et Figure 10-5 (page 350) présentent les activités des radionucléides artificiels émetteurs gamma, du ^{14}C, du ^{3}H libre et/ou du ^{3}H organiquement lié détectés (>SD) en 2019, respectivement dans les sédiments, les végétaux aquatiques et les poissons, sur l'ensemble du bassin de la Loire. Les activités des radionucléides artificiels sont exprimées en $Bq.kg^{-1}$ sec pour les sédiments et les végétaux aquatiques et en $Bq.kg^{-1}$ frais pour les poissons, le ^{14}C en $Bq.kg^{-1}$ de carbone et le ^{3}H en $Bq.L^{-1}$ d'eau de lyophilisation dans le cas de la fraction libre et en $Bq.L^{-1}$ d'eau de combustion dans le cas de la fraction organiquement liée. Les activités sont représentées en fonction des stations de prélèvements, amont, aval et aval lointain.

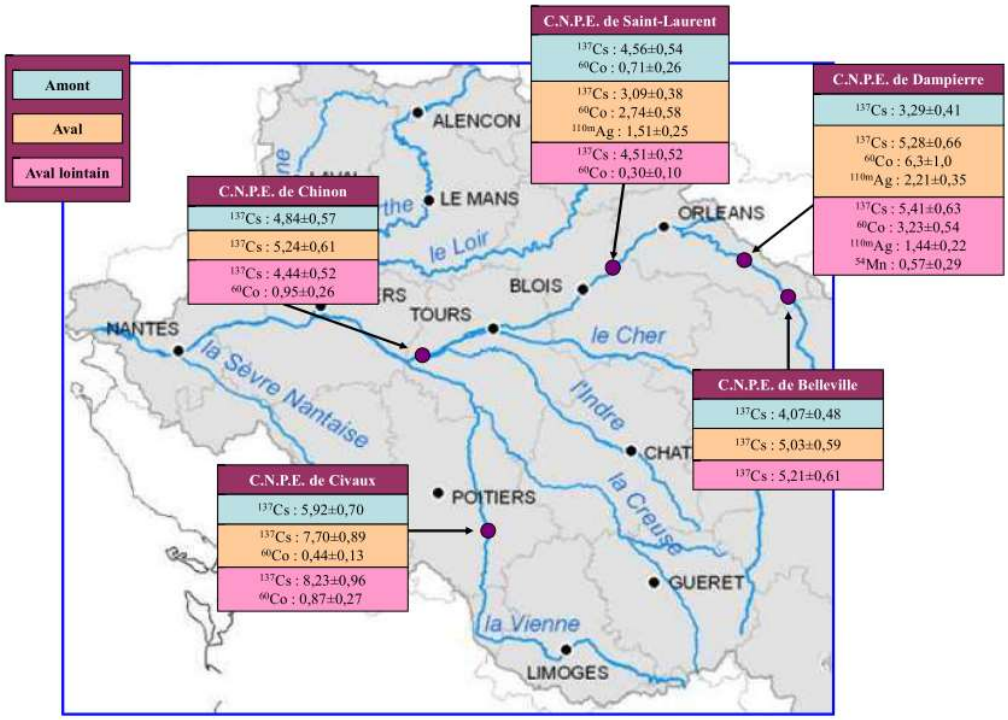


Figure 10-3. Synthèse des activités des radionucléides artificiels détectés dans les sédiments prélevés en 2019 dans l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Loire ($Bq.kg^{-1}$ sec).

En tête du bassin de la Loire, à l'amont des C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire et de Civaux, la radioactivité d'origine artificielle est caractérisée uniquement par la présence de ^{137}Cs.

Le ^{137}Cs est détecté dans tous les échantillons de sédiments (15/15) et de végétaux (14/14) prélevés en 2019 dans le milieu aquatique dans l'ensemble du bassin. Dans les sédiments, les activités du ^{137}Cs montrent que les valeurs sont comprises entre 3 et 8 Bq.kg^{-1} sec équivalentes aux incertitudes de mesure près sur l'ensemble de la Loire de l'amont de Belleville-sur-Loire à l'aval de Chinon-Avoine. Les variations d'activité observées sont liées aux différences de granulométrie et de teneur en matières organiques des échantillons. En 2019, la présence de ^{137}Cs provient principalement des retombées des anciens essais aériens nucléaires et de celles de l'accident de Tchernobyl. Seules les activités mesurées dans les myriophylles prélevées à l'aval des C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux et de Chinon-Avoine témoignent d'une contribution spécifique de leurs rejets d'effluents pour ce radionucléide.

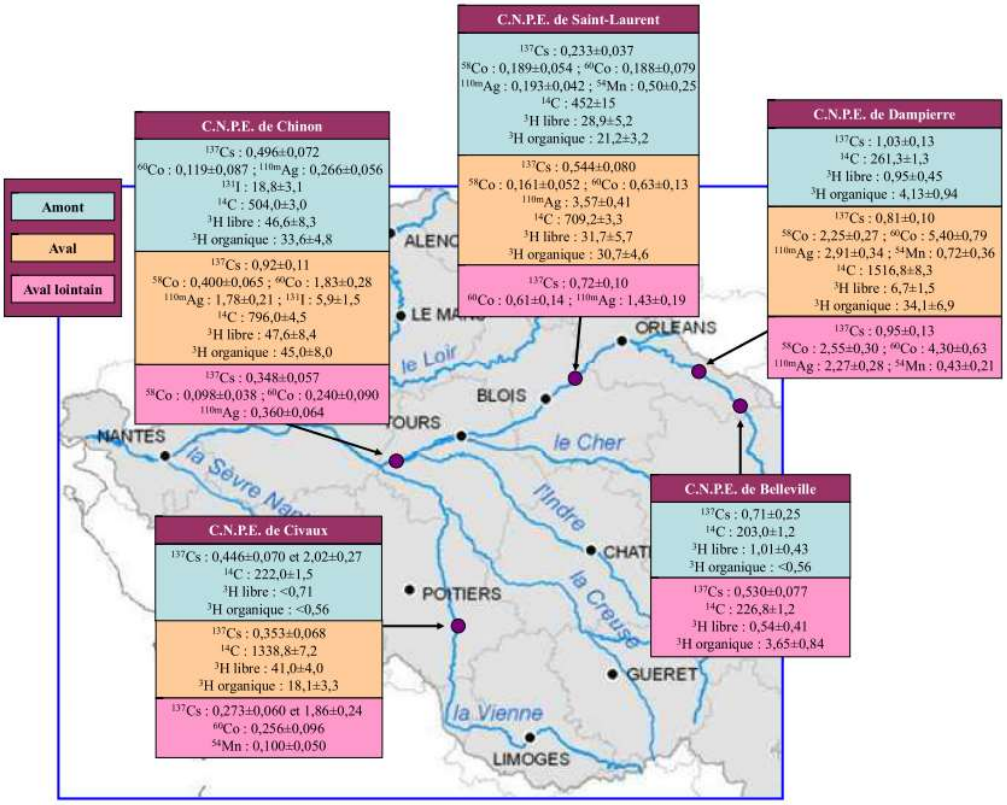


Figure 10-4. Synthèse des activités des radionucléides artificiels, du ^{14}C et du ^{3}H détectés dans les phanérogames et les mousses aquatiques prélevés en 2019 dans l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Loire.

En 2019, l'influence des rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. du bassin de la Loire dans le milieu aquatique est en revanche établie par la détection de traces de ^{58}Co, de ^{60}Co, d'^{110m}Ag et de ^{54}Mn.

Aucun radionucléide d'origine artificielle autre que le ^{137}Cs n'est détecté à l'amont du bassin de la Loire. Le ^{60}Co est détecté à l'aval de tous les C.N.P.E., à l'exception du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire, ainsi qu'à l'amont des C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux et de Chinon-Avoine (8/14 sédiments et 8/14 végétaux). En 2019, le ^{58}Co est également mesuré à l'aval des C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly, de Saint-Laurent-des-Eaux et de Chinon-Avoine ainsi qu'à l'amont du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux (6/14 végétaux). L'^{110m}Ag est détecté à l'amont et à l'aval des C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux et de Chinon-Avoine ainsi qu'à l'aval du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly (3/14 sédiments et 8/14 végétaux). Enfin, le ^{54}Mn est quantifié à l'aval du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly ainsi qu'à l'amont du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux (1/14 sédiments et 3/14 végétaux).

Enfin, l'^{131}I a été détecté dans 2 échantillons sur les 10 analysés. Il est détecté à l'amont et à l'aval du C.N.P.E. de Chinon-Avoine. En cohérence avec les études antérieures, ces détections sont probablement liées aux activités de médecine nucléaire des centres hospitaliers situés en amont sur la Loire en particulier au niveau de l'agglomération de Tours.

La Figure 10-5 (page 350) présente les activités des radionucléides artificiels émetteurs gamma, du ^{14}C, du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié détectés en 2019 (>SD) dans les poissons sur l'ensemble du bassin de la Loire. Les activités des radionucléides artificiels sont exprimées en Bq.kg^{-1} frais, le ^{14}C en Bq.kg^{-1} de carbone et le ^{3}H en Bq.L^{-1} d'eau de lyophilisation dans le cas de la fraction libre et en Bq.L^{-1} d'eau de combustion dans le cas de la fraction organiquement liée.

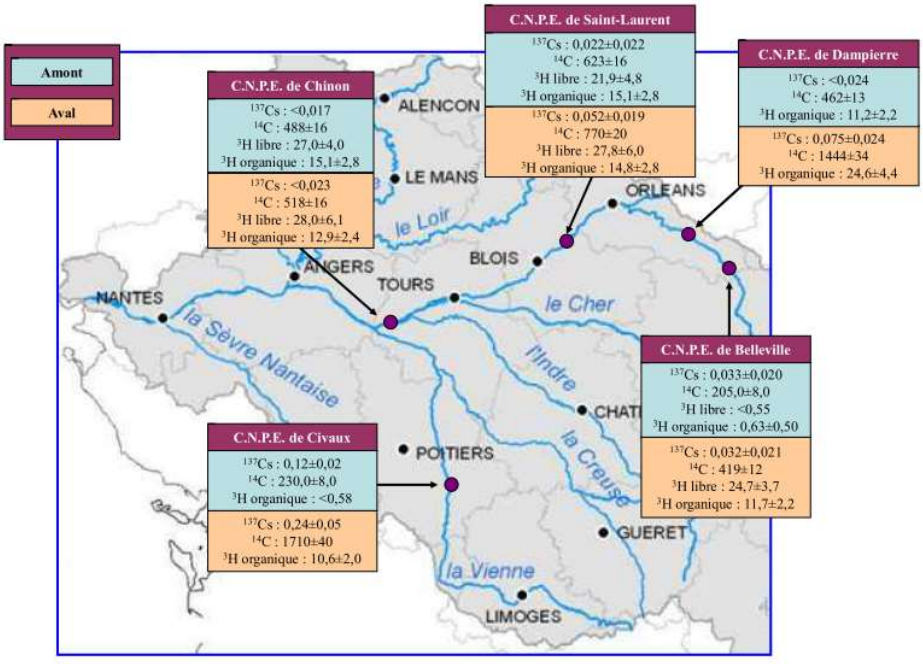


Figure 10-5. Synthèse des activités des radionucléides artificiels, du ^{14}C et du ^{3}H détectés dans les poissons prélevés en 2019 dans l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Loire.

Le ^{137}Cs est détecté dans 7 des 10 échantillons de poissons analysés en 2019. Les activités mesurées en aval des C.N.P.E. sont comparables aux observations réalisées en amont. Aucun autre radionucléide émetteur gamma d'origine artificielle n'a été détecté.

Dans les poissons, le ^{3}H libre a été systématiquement mesuré de 2008 à 2017 et des analyses de ^{3}H organiquement lié ont progressivement été intégrées au suivi radioécologique annuel depuis 2010. Par ailleurs, ces deux radionucléides sont mesurés dans la flore aquatique depuis 2018. La Figure 10-6 (page 352) et la Figure 10-7 (page 353) présentent respectivement les activités du tritium libre et du tritium organiquement lié mesurées dans les chairs de poissons pêchés dans l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Loire. Les activités sont exprimées en $Bq.L^{-1}$ d'eau de lyophilisation pour le ^{3}H libre et en $Bq.L^{-1}$ d'eau de combustion pour le ^{3}H organiquement lié.

Le ^{3}H libre est régulièrement détecté dans les végétaux aquatiques et les poissons. Il possède une double origine à la fois naturelle et artificielle. A l'amont du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire, l'activité mesurée en 2019 est inférieure au seuil de décision et cohérente avec la valeur ambiante hors influence industrielle [1]. Les résultats montrent des augmentations significatives à l'aval de ce C.N.P.E. ainsi qu'à l'aval et à l'amont des C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux et de Chinon-Avoine. Ces augmentations d'activité sont liées à la simultanéité des prélèvements avec les rejets de bâches KER réalisés par les C.N.P.E. En effet, la détection de ^{3}H libre dans les matrices aquatiques dépend fortement de la concomitance de ces rejets et des prélèvements en raison de la dilution et du transfert rapide du ^{3}H au sein de ces milieux récepteurs [6]. Les résultats obtenus en 2019 dans les végétaux aquatiques confirment ce constat.

Dans les eaux de boisson, le ^{3}H libre est détecté dans un seul échantillon sur les sept prélevés. En 2019, les niveaux d'activité mesurés sont inférieurs aux seuils de décision à l'exception de l'activité mesurée dans l'eau de boisson de Saumur. La présence de ^{3}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 $Bq.L^{-1}$ en fonction de la concomitance du prélèvement avec une période de rejet ou non. Ce marquage temporaire en tritium libre est à relier aux rejets d'effluents liquides tritiés du C.N.P.E. de Chinon-Avoine. Pour rappel, la valeur-guide dans l'eau potable recommandée par l'OMS est de 10000 $Bq.L^{-1}$. La réglementation européenne relative à l'eau potable appliquée par la France fixe par ailleurs une référence de qualité de 100 $Bq.L^{-1}$, au-delà de laquelle des investigations complémentaires doivent être menées pour rechercher la présence de radionucléides artificiels.

Les analyses de ^{3}H organiquement lié ont été progressivement intégrées au suivi radioécologique annuel depuis 2010 dans les poissons et depuis 2018 dans la flore aquatique. En tête du bassin de la Loire, à l'amont des C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire et de Civaux, les activités détectées sont inférieures aux seuils de décision ou cohérentes avec la valeur ambiante hors influence industrielle [6]. A l'aval, les analyses montrent une augmentation à l'aval de chaque C.N.P.E. Les valeurs mesurées sont comprises entre 11 et 25 $Bq.L^{-1}$ d'eau de combustion dans les poissons et entre 3,7 et 45 $Bq.L^{-1}$ d'eau de combustion dans les végétaux aquatiques.

Ces résultats confirment l'influence des rejets de tritium des C.N.P.E. du bassin de la Loire sur le milieu aquatique environnant.

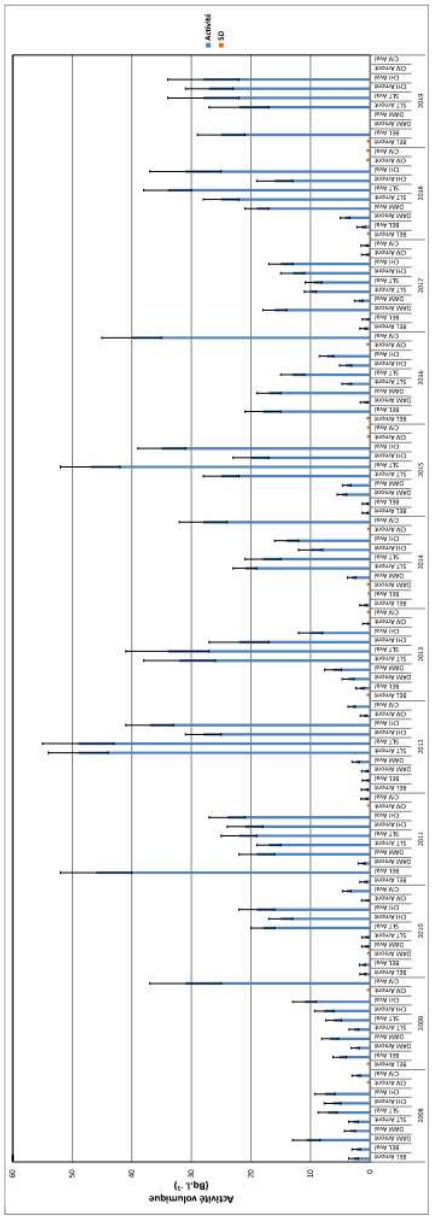


Figure 10-6. Activités volumiques du ^{3}H libre mesurées dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique des C.N.P.E. du bassin de la Loire.

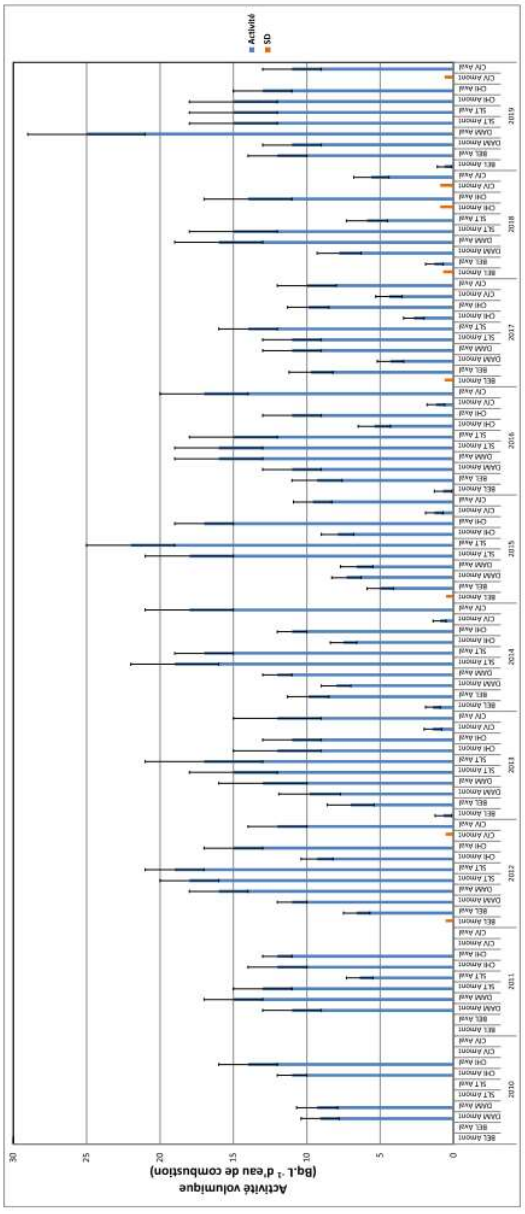


Figure 10-7. Activités volumiques du ^{3}H organiquement lié mesurées dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique des C.N.P.E. du bassin de la Loire.

Depuis 2010, les analyses de ^{14}C sont progressivement réalisées sur les poissons prélevés dans l'environnement aquatique des cinq C.N.P.E. implantés dans le bassin de la Loire ainsi que dans les végétaux aquatiques depuis 2018. Il possède une double origine à la fois naturelle et artificielle. La Figure 10-8 (page 355) présente les activités spécifiques en ^{14}C mesurées dans les poissons pêchés dans l'environnement aquatique des C.N.P.E. du bassin de la Loire depuis 2010.

En tête du bassin de la Loire, à l'amont du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire, les analyses montrent des activités cohérentes aux incertitudes de mesures près avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle, de l'ordre de 200-220 $Bq.kg^{-1}$ de carbone [1] (Figure 10-8). Dans la continuité des années passées, à l'exception des C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly en 2016, de Saint-Laurent-des-Eaux en 2012 et 2013 et de Chinon-Avoine en 2013 et en 2017 où le marquage lié aux rejets d'effluents liquides des installations situés en amont sur la Loire masquait la contribution spécifique de ces C.N.P.E., les activités mesurées en 2019 sont systématiquement supérieures à l'aval des installations à l'exception du C.N.P.E. de Chinon-Avoine. L'ensemble de ces résultats est cohérent avec les constats des dernières études radioécologiques décennales. Ils témoignent de l'influence des rejets d'effluents liquides en ^{14}C des C.N.P.E. du bassin de la Loire sur le milieu aquatique environnant. Comme en 2018, les résultats obtenus en 2019 dans les végétaux aquatiques confirment ce constat.

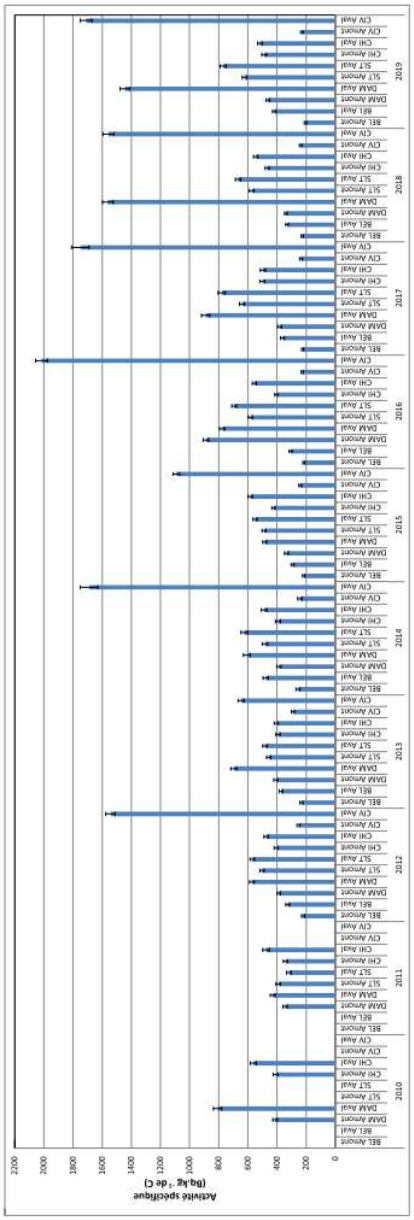


Figure 10-8. Activités spécifiques en ^{14}C mesurées depuis 2010 dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique des C.N.P.E. du bassin de la Loire.

En 2019, les analyses de ^{63}Ni dans les végétaux aquatiques montrent des activités inférieures aux seuils de décision à l'amont et à l'aval de tous les C.N.P.E. à l'exception de l'activité mesurée à l'aval du C.N.P.E. de Civaux qui témoigne de l'influence des rejets d'effluents liquides de l'installation.

Dans ces échantillons, les analyses de ^{55}Fe montrent des activités inférieures aux seuils de décision à l'amont et à l'aval de tous les C.N.P.E. Aucune influence des rejets d'effluents liquides de ^{55}Fe n'est mise en évidence en 2019.

Bibliographie

[1] IRSN. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017. Rapport de mission 2018, 353 p., 2018.

[2] Ménager M.T., Garnier-Laplace J. et Goyffon M. Toxicologie nucléaire environnementale et humaine. 748p, Editions Tec&Doc, Lavoisier, 2009.

[3] IRSN. Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement. Rapport IRSN/PRP-ENV/SERIS/2017-00004, 74 p., 2017.

[4] IRSN : Fiche radionucléide – Strontium 90 et environnement. https://www.irsn.fr/Strontium90.pdf.

[5] IRSN. Fiche radionucléide – Plutonium et environnement. http://www.irsn.fr/Plutonium.pdf.

[6] Gontier G. et Siclet F. Le tritium organique dans les écosystèmes d'eau douce : évolution à long terme dans l'environnement des centres nucléaires de production d'électricité français. Radioprotection, Vol. 46, n°4, 457-491, 2011.

11. Annexes

11.1. Choix des stations de prélèvements

D'une manière générale, dans le milieu terrestre, l'étude porte sur une zone comprise dans un rayon de 1 à 30 km autour de l'installation. Dans cette zone, le choix des stations est effectué à partir de la rose des vents locale. Les secteurs sous les vents dominants définissent les zones de prélèvement potentiellement influencées (ZSV) par les rejets d'effluents atmosphériques du C.N.P.E. et les secteurs non exposés aux vents dominants constituent les zones de référence non influencées (ZHV).

Dans le milieu aquatique, une démarche similaire conduit à définir les zones de prélèvements en fonction de la dispersion des effluents liquides qui dépend de plusieurs paramètres dont les conditions de débit (crue, étiage), la distance à l'ouvrage de rejet, les arrivées d'affluents, les échanges éventuels avec la nappe phréatique ou encore la qualité physico-chimique de l'eau. Trois zones de prélèvements sont ainsi définies : l'amont de l'installation, l'aval proche de l'ouvrage de rejet et l'aval lointain de l'installation. La localisation précise des stations de prélèvements situées à l'aval de l'installation est déterminée préférentiellement par rapport à la zone de mélange complet des effluents liquides qui se situe à l'endroit où l'effluent est réparti uniformément dans la section du cours d'eau.

11.2. Choix des matrices prélevées

Dans le cadre du suivi radioécologique de l'environnement terrestre et aquatique des C.N.P.E. français, le choix des indicateurs physiques et/ou biologiques doit permettre d'évaluer l'impact des rejets d'effluents atmosphériques et liquides sur l'environnement et sur la population. En l'occurrence, l'échantillonnage concerne les milieux d'accumulation (sols et sédiments), des bioindicateurs (mousses, lichens, champignons, organismes filtreurs…) ainsi que des produits alimentaires et l'eau potable.

Pour les bioindicateurs, animal ou végétal, le choix se porte sur des échantillons disponibles dans la zone géographique considérée et en quantité suffisante au cours du temps. Il s'agit d'indicateurs constitués d'une espèce végétale, fongique ou animale ou d'un groupe d'espèces ou groupement végétal dont la présence (ou l'état) renseigne sur certaines caractéristiques écologiques de l'environnement (physico-chimiques, microclimatiques, biologiques et fonctionnelle) ou sur l'incidence de certaines pratiques.

Les niveaux de radioactivité du milieu terrestre sont généralement caractérisés à l'aide de bryophytes (mousses), de feuilles de lierre, de champignons et de végétaux herbacés (pâtures, prairies…). En particulier, les mousses sont souvent utilisées comme indicateurs des dépôts de particules atmosphériques. Ces bioindicateurs n'ont ni appareil conducteur développé ni racine et l'apport atmosphérique est donc la source principale en eau, nutriments et contaminants. Des prélèvements de lait, de productions agricoles (légumes, céréales, fruits, fromages…), d'herbe de pâture et d'eau potable permettent d'évaluer les transferts de radionucléides à la chaîne alimentaire. Les salades figurent parmi les matrices les plus sensibles aux dépôts atmosphériques. La mesure dans l'herbe permet d'évaluer l'activité des radionucléides déposés également par voie atmosphérique au cours du cycle végétatif ainsi que ceux incorporés par voie racinaire. Dans le cas où les animaux sont nourris pour partie avec ces fourrages locaux, le lait est un indicateur qui possède une représentativité spatiale étendue (surface sur laquelle les fourrages ont été produits). Les prélèvements de sols (sols cultivés, sols non cultivés…) fournissent des indications sur les milieux d'accumulation, l'historique des apports anciens et des données pour l'analyse des phénomènes de transfert des sols aux plantes. Enfin, les natures ou espèces 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.

Dans le milieu aquatique, le choix des bioindicateurs s'oriente généralement sur des bryophytes, sur des phanérogames semi-aquatiques de type baldingère, et sur des phanérogames immergées comme les myriophylles, les cératophylles, les renoncules ou les potamots. De même que les bryophytes terrestres, les bryophytes aquatiques présentent une grande surface d'échange avec le milieu ambiant.

Dans les phanérogames, les analyses sont représentatives des niveaux d'activité dans l'eau au cours des semaines précédant le prélèvement. De façon identique aux sols dans le milieu terrestre, les prélèvements de sédiments sont représentatifs des milieux d'accumulation. Ils intègrent les dernières phases de dépôt du milieu aquatique et ils sont représentatifs des derniers mois. Les poissons et les mollusques sont également retenus comme des bioindicateurs des niveaux de radioactivité du milieu aquatique. Dans le cas des poissons, il est préférable de choisir des espèces sédentaires afin de distinguer, si possible, l'amont de l'aval de l'installation, de tenir compte de leur régime alimentaire (herbivore, carnivore…) et de s'orienter, éventuellement, sur le prélèvement de certaines espèces de poissons consommées localement. Les analyses témoignent des radionucléides assimilés par ces organismes au cours de leur vie. De façon identique aux prélèvements réalisés dans le milieu terrestre, les espèces des échantillons prélevés en amont et en aval sont, si possible, identiques.

11.3. Choix des analyses

Le choix des analyses à effectuer est guidé par les radionucléides recherchés, qui relèvent à la fois des éléments radioactifs naturellement présents dans l'environnement et des radionucléides artificiels rejetés par les C.N.P.E. d'EDF ou issus d'autres activités industrielles ou médicales.

Dans le cadre des suivis radioécologiques annuels, les analyses portent sur la mesure des radionucléides quantifiables par spectrométrie gamma (^{210}Pb, ^{40}K, ^{228}Ac, ^{234}Th/^{234m}Pa, ^{7}Be pour les naturels et ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{58}Co, ^{60}Co, ^{110m}Ag, ^{54}Mn et ^{131}I pour les artificiels) et la détermination du tritium et du ^{14}C sur certains compartiments de l'environnement. Les périodes physiques de ces radionucléides sont fournies dans le Tableau 11-1 (page 361). Parmi les émetteurs gamma, l'^{131}I est spécifiquement recherché dans les milieux terrestre et aquatique depuis 1997 ; il s'agit d'un élément volatil de courte période (8,02 jours) qui nécessite donc des modalités de mesures propres. Le tritium est quantifié depuis 2000 dans le lait et l'eau de boisson, certains végétaux aquatiques jusqu'en 2007 et les poissons depuis 2008.

Depuis 2010, le programme d'analyses du suivi radioécologique annuel des C.N.P.E. du bassin de la Loire a été progressivement élargi aux mesures de tritium organique et de carbone 14. Cette évolution se traduisait par la réalisation dans le milieu terrestre d'une mesure de ^{14}C sur l'herbe récoltée sous les vents dominants et d'une mesure de l'activité du tritium organique sur le lait collecté dans l'exploitation agricole située sous les vents dominants. Dans le milieu aquatique, ces deux types de mesure portaient sur les poissons pêchés à l'amont et à l'aval du C.N.P.E. Les mesures de tritium organique étaient ciblées sur les échantillons sur lesquels étaient déjà menées des analyses de tritium libre.

Depuis 2015, des analyses réglementaires de tritium (libre et organiquement lié) et de carbone 14, publiées dans la décision ASN n°2013-DC-0360 (« Décision environnement »), ont été intégrées au suivi radioécologique annuel.

L'ensemble des analyses est réalisé à bas seuil afin d'atteindre des limites de détection de l'ordre de 0,1 Bq.kg^{-1} sec en spectrométrie gamma, de 1 Bq.L^{-1} pour les analyses de tritium libre et de 1 Bq.L^{-1} d'eau de combustion dans le cas de la mesure du tritium organiquement lié. Dans le cas des analyses de carbone 14, la méthode basée sur la synthèse de benzène permet d'obtenir des incertitudes inférieures à 15%.

Tous les échantillons prélevés sont traités et conservés au laboratoire. En revanche, seuls les échantillons du milieu terrestre issus des zones influencées sont systématiquement analysés. Ainsi, certains prélèvements issus des zones non soumises aux vents dominants ne sont analysés qu'en cas de découverte d'activité significativement supérieure au seuil de décision dans les échantillons issus des zones sous les vents dominants.

Les sols et les sédiments font l'objet d'une mesure de granulométrie et de teneur en matières organiques (TMO). En effet, la fixation de certains radionucléides dans les sols et sédiments dépend fortement de ces paramètres. Ainsi, dans le but de comparer les activités de ^{137}Cs mesurées dans les sédiments et les terres, elles doivent être normalisées en fonction de ces deux paramètres. Il s'agit de s'affranchir des hétérogénéités liées à la granulométrie et à la teneur en matières organiques en ramenant les échantillons à un échantillon de référence de granulométrie définie.

Lors des états radioécologiques de référence et de leurs actualisations décennales, des mesures complémentaires sont réalisées portant sur le dosage des radionucléides émetteurs alpha et sur d'autres émetteurs bêta que le tritium.

Radionucléide	Elément	Type de rayonnement mesuré	Période radioactive
^{234m}Pa	Protactinium	γ	1,159 min
^{228}Ac	Actinium	γ	6,15 h
^{131}I	Iode	γ	8,0233 j
^{234}Th	Thorium	γ	24,10 j
^{7}Be	Beryllium	γ	53,22 j
^{58}Co	Cobalt	γ	70,85 j
^{110m}Ag	Argent	γ	249,78 j
^{54}Mn	Manganèse	γ	312,19 j
^{134}Cs	Césium	γ	2,0644 a
^{60}Co	Cobalt	γ	5,2711 a
^{3}H	Tritium	β	12,312 a
^{210}Pb	Plomb	γ	22,23 a
^{137}Cs	Césium	γ	30,05 a
^{14}C	Carbone	β	5700 a
^{40}K	Potassium	γ	$1{,}2504.10^{9}$ a

Tableau 11-1. Périodes radioactives des radionucléides d'origine naturelle et artificielle mesurés dans le cadre des suivis radioécologiques annuels.

11.4. Conservation des échantillons et échantillothèque

Immédiatement après la fin du prélèvement, les échantillons conditionnés sont placés dans des glacières avec des blocs préalablement réfrigérés en quantité suffisante pour permettre une conservation au frais pendant toute la durée du transport vers le laboratoire. L'acheminement des échantillons au laboratoire est effectué au maximum sous 24 heures après la fin du prélèvement.

A leur arrivée au laboratoire, les échantillons sont réceptionnés et contrôlés. Selon le plan d'analyses dont ils doivent faire l'objet, les échantillons sont traités immédiatement, en particulier dans le cas des mesures en frais, ou stockés en attendant leur traitement pour analyse. Les sols et les sédiments sont mis à sécher à une température maximale de 40°C ou conservés à une température inférieure ou égale à 4°C. Les végétaux sont soit conservés au réfrigérateur pour des durées n'excédant pas 48 heures, soit congelés après nettoyage. Les céréales sont conservées à température ambiante dans un endroit propre et sec. Les poissons sont soit directement conditionnés pour la lyophilisation soit congelés.

Ces conditions de conservation des échantillons sont définies dans les normes NF M 60 780-3 pour les bioindicateurs, NF ISO 18589-2 pour les sols, et ISO 5667-3 pour les eaux.

A l'issue des mesures, les échantillons archivés au laboratoire et les géométries de comptage sont conservés dans un local propre et sec jusqu'à la remise des rapports complets définitifs du suivi annuel considéré, soit en juin de l'année N+1. Les fractions d'échantillons traités non utilisées dans le processus analytique sont conditionnées soit dans des flacons hermétiquement clos soit dans des sacs plastiques soudés et conservés dans un local propre et sec. Les échantillons d'eau sont conservés au frais. Les bioindicateurs sont conservés soit au congélateur (matière fraîche) soit dans un local propre et sec après traitement (séchage et flaconnage hermétique).

EDF a souhaité constituer une banque d'échantillons destinée à recueillir pour 10 ans les prélèvements issus des différentes études radioécologiques conduites dans l'environnement des C.N.P.E. du territoire français. Cette banque est gérée par l'IRSN. L'objectif est de pouvoir, si nécessaire, effectuer dans le temps des analyses supplémentaires. La qualité de l'échantillon, la quantité à archiver et le conditionnement sont choisis de manière à pouvoir caractériser ultérieurement le plus grand nombre de radionucléides. Les échantillons sont principalement archivés sous forme lyophilisée afin d'assurer une conservation optimale, hormis les poissons qui sont conservés en cendres.

Les échantillons concernés sont :

- dans le milieu terrestre, les prélèvements de sols et d'herbes de pâturage/prairie réalisés dans les zones hors et sous les vents dominants,

- dans le milieu aquatique, les prélèvements amont et aval de sédiments, de végétaux aquatiques, en priorité les immergés, et des poissons (géométries comptées en spectrométrie gamma).

11.5. Méthodes de prélèvements sur le terrain

Chaque station de prélèvement fait l'objet d'une identification détaillée regroupant les éléments nécessaires à la réalisation du prélèvement (nature, espèce, fraction, localisation, coordonnées GPS…). Chaque échantillon est accompagné d'une fiche de prélèvement qui regroupe toutes les informations pour assurer la traçabilité du prélèvement. Tous les échantillons sont conditionnés dans des sacs plastiques référencés, hermétiquement fermés et immédiatement placés en glacière réfrigérée.

11.5.1. Milieu terrestre

11.5.1.1. Sol cultivé et sol non cultivé

Les sols sont collectés à la tarière à main de diamètre 10 cm. Pour les sols de productions agricoles (qui font l'objet de labour), l'échantillon est constitué de l'horizon 0-20 cm de sol et pour les sols non cultivés seuls les 5 premiers cm sont échantillonnés (hors mat de prairie).

La quantité requise est de 5 à 6 kg par prélèvement. Les prélèvements élémentaires constitutifs de chaque lot sont réalisés de façon à couvrir de manière aléatoire la parcelle concernée.

Photo 1. Prélèvement de sol cultivé (sol de maïs)

11.5.1.2. Mousse terrestre, production agricole et pâture/herbe/luzerne

La quantité de végétal ou de fraction de végétal à prélever est déterminée en fonction des rapports « masse fraîche/masse sèche » et « masse sèche/masse cendres » de l'échantillon et des quantités nécessaires à la réalisation des mesures.

Mousse terrestre : Les mousses sont prélevées à la main et font l'objet d'un tri immédiat lors du prélèvement (espèce non recherchée, bois mort, feuilles, terre…) afin de constituer un lot homogène de produit frais.

Photo 2. Eurhynchium striatum

Photo 3. Rhytidiadelphus triquetrus

Production agricole : Les prélèvements sont effectués auprès du producteur. Les quantités sont variables suivant la matrice, environ 8 à 10 kg de salades ou encore 4 à 5 kg de céréales.

Photo 4. Prélèvement de légumes (salades)

Herbe : Le prélèvement d'environ 10 kg est effectué aux ciseaux ou à la serpe. Seule la partie potentiellement consommée par le bétail est prélevée.

11.5.1.3. Lait

Le lait est récupéré auprès des agriculteurs locaux. La quantité requise est de 10 litres frais. Le lait est conditionné dans des flacons inertes.

11.5.1.4. Eau

Pour les eaux de consommation, une purge de l'installation (robinet) de quelques minutes est réalisée avant le prélèvement conformément à la norme ISO 5667. La quantité prélevée est de 1 litre conditionné dans un flacon inerte rincé préalablement 3 fois avec la même eau que celle du prélèvement.

11.5.2. Milieu aquatique

11.5.2.1. Sédiment

Les sédiments sont prélevés à la pelle ou à l'aide d'une benne de prélèvement, de type « Benne Van Veen ». La quantité ciblée est de 8 à 10 kg de sédiment. L'échantillon est ensuite conditionné en doubles sacs plastiques.

11.5.2.2. Flore aquatique

De la même manière que les végétaux terrestres, la quantité de végétal ou de fraction de végétal à prélever est déterminée en fonction du rapport « masse fraîche/masse de cendres » de l'échantillon et de la quantité nécessaire pour faire la mesure.

Les natures de végétaux aquatiques définies dans le plan d'échantillonnage sont : des phanérogames semi-aquatiques (baldingère, carex, jussie rampante), des phanérogames immergées (renoncule, myriophylle et cératophylle) et des mousses aquatiques. Les parties immergées sont préférentiellement ciblées et les prélèvements sont effectués aux ciseaux, à la serpe, ou à la main. Les végétaux sont soigneusement triés, rincés dans l'eau du fleuve et égouttés lors du prélèvement. La quantité requise est d'environ 10 kg.

Photo 5. Myriophylle

11.5.2.3. Poisson

Les captures sont réalisées par pêche électrique avec le bureau d'études AQUASCOP (www.aquascop.fr). Les prélèvements sont effectués avec un appareil de pêche électrique muni d'une anode de diamètre 350 mm et d'un groupe électrogène de 8 kW. L'objectif est de constituer un lot homogène, d'environ 10 kg, identique en amont et en aval de l'installation.

Un tri immédiat de l'espèce ciblée est effectué et pour chaque espèce pêchée, les individus sont regroupés en lots de caractéristiques biométriques homogènes. A l'issue du prélèvement les poissons sont pesés, puis éviscérés sur place. Les autres espèces capturées sont remises à l'eau sur le lieu de capture à l'exception des espèces susceptibles d'occasionner des déséquilibres biologiques (poisson chat, perche soleil et écrevisses exotiques).

Photo 6. Matériel utilisé pour les pêches électriques

11.6. Préparation et conditionnement des échantillons

La préparation et le conditionnement des échantillons dépendent des analyses à effectuer. Toutes les informations nécessaires au calcul des rapports masse fraîche/masse sèche et masse sèche/masse cendres sont enregistrées au cours des différentes étapes de traitement. Dans l'attente des mesures, les géométries de comptage sont conservées au dessiccateur afin de prévenir toute reprise en eau. Ces différentes opérations sont conduites dans le respect des normes mentionnées précédemment.

Dans le cas des sols et des sédiments, une fraction d'échantillon frais est conditionnée, référencée et envoyée à INOVALYS pour mesure de la teneur en matières organiques et de la granulométrie par sédimentation (méthode de la pipette).

Dans le cas des analyses de carbone 14, une fraction d'échantillon (30 g) est conditionnée, référencée et envoyée à LABRADOR ou au CDRC pour la mesure de carbone 14 par la technique de synthèse de benzène (salades, herbes, poissons). En parallèle, une fraction d'échantillon (10 g) est conditionnée, référencée et envoyée à la plateforme PLATIN pour la mesure de la teneur en carbone (Ctot) et du rapport isotopique $^{13}C/^{12}C$.

11.6.1. Milieu terrestre

11.6.1.1. Sol cultivé et sol non cultivé

Ces échantillons sont débarrassés des corps étrangers (racines, résidus…). Le reste de l'échantillon est disposé dans des récipients destinés à assurer un pré-séchage à une température inférieure à 40°C (jusqu'à obtention d'un séchage apparent). Les échantillons sont ensuite émottés puis mis à sécher à l'étuve à une température de 102°C jusqu'à l'obtention d'une masse constante. Après séchage, l'échantillon est tamisé à 2 mm et les deux fractions obtenues sont enregistrées. Seule la fraction inférieure à 2 mm est analysée.

11.6.1.2. Mousse terrestre, production agricole et pâture/herbe/luzerne

Dans le cas de la recherche de radionucléides de période radioactive courte (8,02 jours pour l'isotope 131 de l'iode), les mesures sont effectuées dès réception des échantillons à l'état frais. Les échantillons sont nettoyés des corps étrangers (terres, résidus divers…) puis conditionnés dans la géométrie de comptage adaptée au volume d'échantillon disponible. A l'issue de la mesure, l'échantillon est séché afin de déterminer la teneur en eau et de ramener l'activité en $Bq.kg^{-1}$ frais à une activité exprimée en $Bq.kg^{-1}$ sec.

Pour les autres mesures par spectrométrie gamma, les échantillons sont nettoyés des corps étrangers (terres, résidus divers…). Ils sont ensuite soit séchés à l'étuve (102°C) jusqu'à l'obtention d'une masse constante, soit lyophilisés.

La lyophilisation est utilisée en prévision des mesures de tritium libre, de tritium organiquement lié et de ^{14}C ainsi que pour la constitution de la banque d'échantillons. Après cette phase de séchage (étuve ou lyophilisation), une fraction de l'échantillon est placée dans des béchers en verre puis calcinée.

L'échantillon est calciné selon les cycles suivants :

- 20 à 200°C en 6 heures,
- palier de 6 heures à 200°C,
- montée en température de 200 à 300°C en 6 heures,
- palier de 6 heures à 300°C,
- montée en température de 300 à 480°C en 6 heures,
- palier de 26 heures à 480°C.

Les températures des paliers à 200°C, 300°C et 480°C sont conservées d'une matrice à l'autre mais les durées des montées en température et/ou des paliers peuvent être adaptées afin d'obtenir des cendres blanches. A l'issue de la calcination, l'échantillon est conservé au dessiccateur à température ambiante en attente de mesure en spectrométrie gamma.

11.6.1.3. Lait

Une lyophilisation est effectuée afin de récupérer l'eau (^{3}H libre). Une fraction de l'échantillon lyophilisé est calcinée suivant le protocole cité précédemment pour la mesure en spectrométrie gamma, le reste est conservé au dessiccateur.

Photo 7. Lyophilisateur

11.6.1.4. Eau

Les eaux de consommation font l'objet d'une mesure directe en scintillation liquide selon la norme NF ISO 9698.

11.6.2. Milieu aquatique

11.6.2.1. Sédiment

Le traitement des sédiments est identique à celui des sols.

11.6.2.2. Flore aquatique

Dans le cas de la recherche de radionucléides de période radioactive courte (^{131}I), le protocole de préparation et de mesurage est identique à celui appliqué dans le cas des végétaux terrestres.

Pour les autres mesures, les échantillons sont égouttés puis nettoyés des corps étrangers (terres, résidus divers…). Ils sont ensuite soit séchés à l'étuve jusqu'à l'obtention d'une masse constante (102°C pour au moins 48 heures) soit lyophilisés. Une fraction de l'échantillon sec est calcinée et le reste du produit est conservé au dessiccateur.

11.6.2.3. Poisson

Les poissons éviscérés font l'objet d'une dissection complète (retrait des têtes, des arêtes, des nageoires, de la peau…) permettant de constituer un échantillon à partir de la masse musculaire.

Ces échantillons sont lyophilisés et l'eau issue de la lyophilisation est conservée en vue de la mesure du tritium libre. Une fraction de l'échantillon lyophilisé est conservée au dessiccateur, le reste de l'échantillon est ensuite calciné.

11.7. Techniques d'analyses

11.7.1. Emetteurs gamma (solides)

La détermination des émetteurs gamma est effectuée selon la norme NF ISO 18589-3. Cette norme est applicable aux sols et par extension aux mesures effectuées sur les échantillons solides (bio-indicateurs).

La spectrométrie gamma permet de mesurer l'émission de photons gamma dans le domaine de 20 keV à 2 MeV, avec une résolution en énergie suffisante pour permettre l'observation de structures particulières dans le spectre en énergie. Les transitions nucléaires entre les niveaux d'énergie d'un noyau excité donnent naissance à des raies spectrales à des énergies de quelques dizaines de keV à quelques MeV qui permettent d'identifier le noyau émetteur. La taille des pics obtenus pour chaque raie caractéristique d'un élément est corrélée à l'activité du radionucléide présent dans l'échantillon mesuré. Cette technique nécessite un étalonnage en énergie (permettant d'identifier les radionucléides) et un étalonnage en efficacité permettant de quantifier l'activité présente de chaque élément. Par ailleurs, pour les radionucléides de faible énergie, des phénomènes d'auto atténuation sont induits par la densité de la matrice de l'échantillon, ceci peut donc conduire à un écart de l'activité réellement présente, aussi, des corrections d'atténuation sont effectuées en fonction de la densité apparente de l'échantillon.

Cette technique permet d'identifier et de quantifier à la fois des radionucléides d'origine naturelle tels que le ^{40}K, l'^{228}Ac de la chaîne naturelle du ^{232}Th, le ^{234}Th, le ^{234m}Pa, le ^{210}Pb de la chaîne naturelle de l'^{238}U et d'origine artificielle, notamment le ^{134}Cs, le ^{137}Cs, le ^{57}Co, le ^{58}Co, le ^{60}Co, l'^{110m}Ag, le ^{54}Mn et l'^{131}I.

Photo 8. Chaîne de spectrométrie gamma

Les échantillons sont mesurés dans une géométrie donnée sur un détecteur germanium hyper pur à bas bruit de fond. Les temps de comptage sont adaptés en fonction de l'efficacité des géométries utilisées et des prises d'essai afin d'obtenir une limite de détection de l'ordre de 0,1 $Bq.kg^{-1}$ sec en ^{58}Co et ^{137}Cs sur les végétaux.

11.7.2. Tritium libre (eau de boisson, eau issue de la lyophilisation)

La mesure est effectuée selon la norme NF ISO 9698. Le principe de la mesure consiste à mélanger une prise d'essai avec un liquide scintillant et à procéder à la mesure en scintillation liquide. Les électrons émis par le tritium réagissent avec le liquide scintillant et donnent naissance à des photons détectés à l'aide de détecteurs appropriés. En fonction du nombre d'événements enregistrés, du mouvement propre et de l'efficacité de détection, l'activité de la prise d'essai peut être déterminée.

En cas de présence d'émetteurs bêta indésirables, une distillation est effectuée. Le temps de comptage est de 2400 min afin d'atteindre une limite de détection de 1 $Bq.L^{-1}$.

Photo 9. Appareil à scintillation liquide

11.7.3. Tritium lié (« pyroxydiser »)

Dans un premier temps, l'analyse du Tritium Organiquement Lié (TOL) nécessite de le séparer du tritium libre. En l'occurrence, la lyophilisation permet d'extraire l'eau des matrices biologiques (végétales ou animales) sans détériorer l'échantillon. Ensuite, l'échantillon sec issu de la lyophilisation est broyé et conditionné pour une combustion dans un four tubulaire. Il subit d'abord une dégradation par pyrolyse sous flux d'argon puis par combustion sous flux d'un mélange d'argon et d'oxygène.

Photo 10. Pyroxydiser

Les gaz sont ensuite oxydés sous flux d'oxygène à haute température pour éliminer les molécules organiques résiduelles. Les gaz s'échappent par une extrémité du four et passent dans un piège froid qui recueille la vapeur d'eau. La valeur du taux d'hydrogène de l'échantillon permet d'adapter la prise d'essai et de calculer le rendement de la transformation en eau.

Enfin, comme dans le cas du tritium libre, le principe de la mesure consiste à mélanger une prise d'essai avec un liquide scintillant et à procéder à la mesure en scintillation liquide. La meilleure limite de détection (≈ 1 $Bq.L^{-1}$ d'eau de combustion) est obtenue pour un temps de comptage de 2400 min et un volume d'eau de 10 ml.

11.7.4. Carbone 14 (synthèse de benzène)

La mesure du ^{14}C est basée sur la synthèse de benzène formé à partir du carbone présent dans l'échantillon. Quatre étapes principales mènent à la formation de benzène. Le carbone est d'abord extrait de l'échantillon dans une bombe à combustion sous forme de gaz carbonique. Ce CO_2 est ensuite transformé en carbure de lithium, qui, par hydrolyse, produit de l'acétylène. Une catalyse permet enfin de polymériser l'acétylène en benzène.

Photo 11. Synthèse de benzène

La mesure s'effectue par scintillation liquide. Le résultat s'exprime en $Bq.kg^{-1}$ de carbone et l'incertitude est de l'ordre de quelques pourcents. Les activités en ^{14}C mesurées dans diverses matrices peuvent être corrigées du fractionnement isotopique $^{13}C/^{12}C$. Des fractionnements isotopiques se produisent dans la nature, soit au cours des processus d'assimilations biologiques du carbone, soit au cours des processus physico-chimiques tel que la dissolution du gaz carbonique dans l'eau de mer. Il s'ensuit des enrichissements ou des appauvrissements d'un isotope par rapport aux autres. Le ^{12}C est l'isotope stable majoritaire. Il représente 98,89% du carbone sur Terre. Le ^{13}C est également un isotope stable. En moyenne, la proportion est faible (1,11%). On observe que cette proportion varie modestement et est mesurée par le $\delta^{13}C$. Celui-ci représente la déviation du rapport isotopique $^{13}C/^{12}C$ par rapport à un standard international. Ce standard correspond au rapport calculé sur la calcite d'un rostre de bélemnite de la formation géologique de Pee Dee en Caroline du Sud. Ce rapport de référence (R_{PDB}) est de 0,011238. Comme ces variations sont extrêmement faibles, cette déviation est mesurée non en % mais en ‰.

$$\delta^{13}C = \frac{^{13}C/^{12}C_{échantillon} - {}^{13}C/^{12}C_{référence}}{^{13}C/^{12}C_{référence}} x1000$$

Ainsi, lorsqu'un échantillon est enrichi en ^{13}C par rapport au standard, son $\delta^{13}C$ est positif. Lorsque l'échantillon est appauvri en ^{13}C par rapport au standard, le $\delta^{13}C$ est négatif.

11.7.5. Granulométrie et teneur en matières organiques des sols et sédiments

Ces analyses sont confiées à INOVALYS à Nantes. Les mesures de granulométrie sont réalisées selon la norme NF X 31-107, basée sur la vitesse de sédimentation (méthode de la pipette). La teneur en matières organiques est calculée à partir du pourcentage de carbone organique total obtenu par combustion sèche (NF X 31-409).

11.7.6. Identification des espèces

L'identification des espèces de bryophytes et de phanérogames est réalisée par nos soins et elle s'appuie, si nécessaire, sur le laboratoire Ecologie et Santé des Ecosystèmes de l'UMR INRA-Agrocampus Ouest. Les espèces de poissons sont identifiées au moment des pêches avec les équipes en charge des opérations.

11.8. Expression des résultats

A l'issue des mesures, 4 paramètres sont calculés :

- l'activité mesurée
- l'incertitude associée à cette activité, et à défaut de l'obtention de ces deux valeurs,
- le seuil de décision : « Limite à partir de laquelle, au risque α près, une grandeur observée est considérée comme vraie. Cette limite correspond au risque dit de première espèce, c'est-à-dire au risque α d'affirmer la présence de la grandeur vraie recherchée alors qu'elle n'est pas présente. Il est généralement conseillé de prendre $\alpha = 2,5$ %. »
- la limite de détection : « Valeur de la grandeur à mesurer qui a une probabilité donnée $(1 - \beta)$ d'être détectée, c'est-à-dire de donner un résultat corrigé supérieur au seuil de décision. Le risque β correspond à affirmer l'absence de la grandeur vraie recherchée, alors qu'elle est présente. Il est généralement conseillé de prendre $\beta = 2,5$ %. »

En 2009, l'ASN a demandé de transmettre les résultats de mesure inférieurs au seuil de décision sous la forme « <SD », en cohérence à la création du Réseau National de Mesure de la radioactivité de l'Environnement (http://www.mesure-radioactivite.fr, Décision n°2008-DC-0099). En conséquence, depuis 2009, dès lors que l'activité mesurée est inférieure au seuil de décision, le résultat publié est « < seuil de décision ». Lorsque l'activité mesurée est supérieure au seuil de décision, le résultat publié est l'activité mesurée accompagnée de son incertitude. En revanche, les données antérieures à 2009 sont présentées en fonction de la limite de détection (LD).

Lors de toute mesure physique d'une grandeur, il existe toujours un écart entre la valeur vraie et le résultat de la mesure. Cet écart est plus ou moins important selon la méthode de mesure retenue, la qualité des instruments et les opérateurs. Aussi, une incertitude élargie est associée à chaque résultat de mesure de radioactivité permettant de définir un intervalle de confiance de 95%.

L'incertitude associée à chaque mesure publiée correspond à la somme quadratique des incertitudes propres à chacun des paramètres élémentaires pouvant influencer le résultat. Le facteur d'élargissement est pris à k=2. Le Tableau 11-2 (page 371) présente pour chaque technique de mesure les différents paramètres d'incertitude pris en compte issus soit de l'application des normes de référence soit de l'expérience capitalisée par le laboratoire.

Mesure	Normes associées	Paramètres d'incertitude	Commentaire
Mesure du tritium	NF ISO 9698	Comptage, Temps, Efficacité de détection, Volume	L'incertitude liée au temps de comptage est habituellement négligée
Mesure des émetteurs gamma	NF ISO 18589-3	Comptage, Temps, Masse, Facteur de correction d'auto atténuation, Emission du radionucléide à la raie étudiée, Facteur de correction de décroissance, Efficacité associée à la raie et à la géométrie de mesure	
Mesure du carbone 14	NF M 60 812-2	Comptage, Temps, Masse, Efficacité de détection	

Tableau 11-2. Paramètres pris en compte dans le calcul des incertitudes de mesures.

11.9. Liste des laboratoires d'analyse

Les partenaires associés dans le cadre de la réalisation des mesures liées au suivi radioécologique de 2019 sont les suivants : le Laboratoire de Physique Subatomique et des Technologies Associées (SUBATECH) pour les mesures de spectrométrie gamma et de tritium (libre et organiquement lié), le Laboratoire Radiologique Environnement et Expertises (LABRADOR) et le Centre de Datation par le Radiocarbone (CDRC) pour les analyses de carbone 14 (^{14}C) par synthèse de benzène, le Plateau d'Isotopie de Normandie (PLATIN) pour la détermination des teneurs en carbone total et du rapport isotopique $^{13}C/^{12}C$, l'Institut Départemental d'Analyse et de Conseil de Loire-Atlantique (INOVALYS) pour les mesures de granulométrie et de teneurs en matières organiques des sols et des sédiments et EUROFINS pour les mesures d'hydrogène, d'iode et de calcium.

11.9.1. SUBATECH

Le laboratoire SUBATECH est une Unité Mixte de Recherche (UMR6457) qui regroupe des agents du CNRS (par son Institut National de Physique Nucléaire et Physique des Particules – IN2P3), de l'Université de Nantes et de l'Ecole des Mines de Nantes (détail sur le site de SUBATECH www-subatech.in2p3.fr).

Les axes de recherche du laboratoire relèvent, d'une part, de la physique nucléaire fondamentale et, d'autre part, de la radiochimie. Les thématiques des recherches conduites à SUBATECH sont réalisées dans le cadre de programmes pluriannuels et quasiment toujours menées au sein de collaborations internationales.

Les activités de recherche du groupe de radiochimie sont dédiées aux questions fondamentales et appliquées en lien avec le comportement des substances radioactives dans l'environnement, dans le cycle électronucléaire et pour les applications médicales.

La recherche en radiochimie est centrée sur les études relatives aux processus chimiques mis en jeu lors du stockage des déchets issus du cycle électronucléaire. De nouvelles activités ont été développées dans le cadre de la construction d'un cyclotron à Nantes portant sur un volet « radio-médical », où le laboratoire intervient en appui auprès du Centre Hospitalier Universitaire (CHU) de Nantes en partenariat avec l'Institut de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM), sur la production de noyaux émetteurs alpha ou bêta pour la médecine nucléaire et la recherche médicale en immunothérapie.

Le second volet des activités conduites en radiochimie à SUBATECH concerne les mesures de radioactivité à bas seuil réalisées par le groupe SMART (Service de Mesure et d'Analyse de Radioactivité et des éléments Traces), dont l'objectif est de répondre aux demandes de la société civile pour effectuer toute analyse de radioactivité dans l'environnement. Ce service regroupe une vingtaine de collaborateurs. Il dispose d'équipements de haute technologie permettant de réaliser tous types de mesures à bas niveau sur un grand nombre de matrices.

Le groupe SMART de SUBATECH a mis en place une démarche d'Assurance Qualité conformément aux exigences de la norme ISO 17025. Cette organisation qualité est accréditée par le Comité Français d'Accréditation (COFRAC, n° d'accréditation 1-0910) depuis le 1er décembre 1998 au titre du programme 135 sur plusieurs catégories de techniques et de matrices (détail sur le site du COFRAC www.cofrac.fr). Par ailleurs, SUBATECH dispose de plusieurs agréments délivrés par l'Autorité de Sûreté Nucléaire pour la réalisation de mesures de radioactivité de l'environnement (détail sur le site de l'ASN www.asn.fr).

11.9.2. LABRADOR

Le Service LABRADOR est le service technique de l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon (IPNL - UMR5822 : CNRS/IN2P3 et Université Claude Bernard de Lyon) dédié à la métrologie de la radioactivité. Créé en 2003, il est aujourd'hui reconnu grâce à son accréditation COFRAC (n° d'accréditation 1-1577) et aux nombreux agréments ministériels. Il offre un panel de prestations à divers partenaires publics et privés.

Le laboratoire LABRADOR regroupe 3 ingénieurs et 1 technicien (détail sur le site de l'IPNL : www.ipnl.in2p3.fr).

11.9.3. CENTRE DE DATATION PAR LE RADIOCARBONE

Le CDRC est actuellement le seul laboratoire qui effectue des mesures de routine en radiocarbone pour la Communauté Scientifique Française. Spécialisé dans la datation des sites archéologiques, il contribue également aux recherches sur le quaternaire récent et fait parfois des expertises à caractère industriel.

Il est implanté au sein de l'Université Claude Bernard basée à Villeurbanne (69) et emploie 6 personnes (détail sur le site de l'Université Claude Bernard Lyon 1 : http://carbon14.univ-lyon1.fr).

11.9.4. PLATIN

Cette plateforme de l'UMR INRA EVA 950 et de la Structure Fédérative 4206 ICORE (Interactions Cellules Organismes Environnement) est fonctionnelle depuis 1993 et réunit des équipements de spectrométrie de masse. Au sein de l'Université de Caen Basse-Normandie, ce plateau technique réalise des activités de prestations de service et d'études (détail sur le site d'ICORE : http://icore.unicaen.fr/plateformes/platin).

11.9.5. INOVALYS

INOVALYS est un regroupement de trois laboratoires départementaux : Loire-Atlantique, Maine-et-Loire et Sarthe. Les domaines de mesure d'INOVALYS portent sur l'environnement, l'agroalimentaire et la santé. L'ensemble des activités est conduit sous Assurance Qualité et est accrédité par le COFRAC (n° d'accréditation 1-5753 pour INOVALYS Nantes).

INOVALYS regroupe environ 300 collaborateurs dont les trois quarts sont des ingénieurs, pharmaciens, vétérinaires ou techniciens hautement qualifiés (détail sur le site d'INOVALYS : www.inovalys.fr).

11.9.6. EUROFINS

EUROFINS est un groupe de laboratoires d'analyses spécialisé dans l'agroalimentaire, la pharmacie, l'environnement et la biologie médicale. Fondé en 1987 à Nantes, EUROFINS regroupe 800 laboratoires dans 47 pays pour un effectif de 47000 personnes (détail sur le site d'EUROFINS https://www.eurofins.com).

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 11-1. Périodes radioactives des radionucléides d'origine naturelle et artificielle mesurés dans le cadre des suivis radioécologiques annuels. 361

Tableau 11-2. Paramètres pris en compte dans le calcul des incertitudes de mesures..... 371

12. Glossaire

A

ACRO
Association pour le contrôle de la radioactivité dans l'Ouest.

Activation
Processus par lequel des noyaux atomiques sont rendus radioactifs sous l'action d'un flux de neutrons ou d'autres particules.

Activité
Nombre de désintégrations spontanées de noyaux atomiques par unité de temps. L'unité d'activité est le becquerel (Bq).

Activité spécifique
Activité d'un radionucléide exprimée en Bq/kg de l'élément chimique correspondant. Dans ce rapport, elle est utilisée pour le carbone-14 pour lequel des résultats de mesures sont exprimés en Bq/kg de carbone.

AIEA
Agence internationale de l'énergie atomique.

Alpha (symbole α)
Rayonnement composé de noyaux d'hélium 4, fortement ionisant mais très peu pénétrant. Une simple feuille de papier est suffisante pour arrêter sa propagation.

ANDRA
Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs.

Argent 110 métastable (^{110m}Ag)
Seul isotope radioactif de l'argent (Ag, numéro atomique 47) détecté dans l'environnement. C'est un produit d'activation de l'isotope stable 109 avec une période radioactive de 249 jours.

ASN
Autorité de sureté nucléaire.

Atome
Constituant de base de la matière. Il est composé d'un noyau (neutrons + protons) autour duquel gravitent des électrons.

Autorisation de rejet
Elle fixe, pour chaque installation, les limites des rejets d'effluents liquides et/ou gazeux et les conditions de leur surveillance. Elle est accordée par arrêté interministériel, après dépôt d'un dossier soumis aux ministères chargés de l'industrie, de la santé et de l'environnement.

B

Becquerel (Bq)
Unité de mesure, légale et internationale, utilisée pour quantifier la radioactivité. Le becquerel (Bq) est égal à une désintégration par seconde.

Bêta (symbole β)
Rayonnement composé d'électrons de charge négative ou positive. Un écran de quelques mètres d'air ou une simple feuille d'aluminium suffit à l'arrêter.

Bêta global
Indice de radioactivité représentatif de l'activité des radionucléides émetteurs beta.

Bruit de fond radiologique de l'environnement
Les activités des différents radionucléides présents dans l'environnement, en dehors de toute influence anthropique actuelle (industrie nucléaire, autres industries, rejets hospitaliers…). Ce bruit de fond résulte d'une part de sources naturelles, et d'autre part de la rémanence d'apports anciens de radionucléides artificiels qui ont concerné l'ensemble du territoire (essais atmosphériques d'armes nucléaires et des retombées de l'accident de Tchernobyl).

C

Carbone 14
Isotope radioactif du carbone. C'est un émetteur de rayonnement β^- de faible énergie avec une période radioactive de 5730 ans. Il a 2 origines : naturelle, source la plus importante (98%) et artificielle, produit par les activités humaines.

Césium (Cs, numéro atomique 55)
Métal rare et toxique dont les caractéristiques chimiques sont comparables à celles du potassium.
Les isotopes 134 et 137 sont des produits de fission radioactifs dont la période radioactive est de 2,2 ans pour le premier et de 30,17 ans pour le second.

C.N.P.E
Centre nucléaire de production d'électricité.

Cobalt (Co, numéro atomique 27)
Métal ferromagnétique qui ne réagit ni avec l'eau ni avec l'air à température ambiante. Les principaux isotopes radioactifs sont le 57, 58 et 60. Le ^{60}Co est un produit d'activation neutronique et présente la période radioactive la plus longue qui est de 5.27 ans.

Combustible nucléaire
Matière fissile constituant la partie active du cœur d'un réacteur. Pour qu'une réaction de fission en chaîne soit possible, l'uranium naturel, mélange comprenant 0,7 % d'uranium-235 – fissile – et 99,3 % d'uranium-238 – non fissile –, a dû être préalablement enrichi a 4 % en uranium-235. Cet uranium est utilisé sous la forme d'oxyde d'uranium, particulièrement stable chimiquement.

Cycle du combustible
Ensemble des opérations industrielles auxquelles est soumis le combustible nucléaire. Ces opérations comprennent notamment l'extraction et le traitement du minerai d'uranium, la conversion, l'enrichissement de l'uranium, la fabrication du combustible, le traitement des combustibles usés, le recyclage des matières fissiles récupérées pour fabriquer de nouveaux combustibles et la gestion des déchets radioactifs.

D

Déchet
Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau produit ou, plus généralement, tout bien abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon car il n'a plus d'utilisation précise.

Démantèlement
Regroupe les opérations visant à évacuer les matières et déchets radioactifs, à retirer les matériels présents, à assainir et à démonter les bâtiments d'une installation nucléaire en fin de vie ou à l'arrêt définitif. C'est un projet industriel de très longue durée avec un examen de sureté à chaque étape afin d'assurer la maitrise des risques des opérations.

Dose efficace
Permet de connaître l'impact d'un rayonnement donné en prenant en compte le type de tissu ou d'organe touché et le type de rayonnement. Elle est calculée en Sievert/an.

E

Eau de combustion
Eau obtenue en brulant la matière sèche en présence d'oxygène et en l'absence d'autres sources d'eau pendant la combustion.

EDF
Électricité de France.

Effluent
Tout gaz ou liquide, qu'il soit radioactif ou non, issu des installations.

Émissaire
Exutoire des effluents rejetés par une installation.

Exposition
L'exposition est le fait d'être exposé aux rayonnements ionisants (exposition externe si la source est située à l'extérieur de l'organisme, exposition interne si la source est située à l'intérieur de l'organisme, etc.).

F

Fission
Éclatement du noyau d'un atome sous l'action de neutrons. Cette réaction est accompagnée d'une émission de neutrons, de rayonnements ionisants et d'un fort dégagement de chaleur. C'est ce dernier qui est utilisé pour créer l'énergie électrique dans une centrale électronucléaire.

G

Gamma (symbole γ)
Rayonnement électromagnétique, très pénétrant mais peu ionisant, émis par la désintégration d'éléments radioactifs. Des écrans de béton ou de plomb permettent de s'en protéger.

Gaz rares
Gaz dépourvus d'affinité chimique et ne donnant aucun composé. Ce sont l'argon, l'hélium, le krypton, le néon, le xénon et le radon. Certains isotopes des gaz rares sont des produits de fission et sont donc radioactifs.

I

Incertitude de mesure
Marge d'imprécision sur la valeur de la mesure d'une grandeur physique.

Iode (I, numéro atomique 53)
Corps simple dont les isotopes radioactifs sont présents dans les produits de fission. Tous les iodes radioactifs (129, 131, 132, 133, etc.) ont une durée de vie courte (ex. l'isotope 131 a une période radioactive de 8,02 jours) à l'exception de l'iode-129 dont la période est de près de 16 millions d'années.

IRSN
Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

Isotopes
Éléments dont les atomes possèdent le même nombre d'électrons et de protons, mais un nombre différent de neutrons. Ils ont le même nom, et les mêmes propriétés chimiques. On connaît actuellement environ 325 isotopes naturels et 1 200 isotopes créés artificiellement.

K

K
Symbole de l'élément potassium. Il est exprimé généralement en mg/L ou mg/kg (milligramme par litre ou par kilogramme). 1 gramme de potassium naturel a une activité (β/γ) de 31 Bq due à la décroissance de l'isotope radioactif naturel de masse 40 (^{40}K).

L

Limite de détection (LD)
La plus petite valeur de la grandeur à mesurer pouvant être détectée, avec une incertitude acceptable, mais non quantifiée dans les conditions expérimentales décrites de la méthode. Les données antérieures à 2009 sont présentées en fonction de la limite de détection.

M

Manganèse 54 (^{54}Mg)
Isotope radioactif du manganèse 55 dont la chimie de l'élément est liée à celle du fer et du cobalt. C'est un Produit d'activation du fer stable des structures des réacteurs nucléaires, émis principalement par voie liquide avec les rejets des installations. Sa période radioactive est de 312.5 jours.

Matrice
Sous-partie d'un compartiment (atmosphérique, terrestre, aquatique continental ou marin).
Exemples : eau de pluie, sol, productions végétales, sédiments, mollusques…

MW
Mégawatt

N

Neutron
Particule fondamentale électriquement neutre qui entre, avec les protons, dans la composition du noyau de l'atome. C'est le neutron qui provoque la réaction de fission des noyaux dont l'énergie est utilisée dans les réacteurs nucléaires.

Noyau
Partie centrale des atomes, de charge positive. Dix mille fois plus petit que l'atome, il en contient pourtant quasiment toute la masse. Le noyau est un assemblage de protons et de neutrons liés par l'interaction forte.

P

Période radioactive (ou demi-vie)
Temps au bout duquel l'activité du radionucléide a diminué de moitié. La période varie d'un radionucléide à l'autre.

Phanérogame
Plante aquatique qui a des organes de fructification apparents dans la fleur et se reproduit par des graines.

Plutonium (Pu, numéro atomique 94)
Élément chimique transuranien, d'origine artificielle. L'isotope le plus connu est le ^{239}Pu, émetteur de rayonnement alpha, avec une période radioactive de 24 110 ans.

R

Radioactivité
Propriété de certains éléments dont les noyaux se désintègrent spontanément pour former d'autres éléments en émettant des rayonnements ionisants.

Radioécologie
Etude des éléments radioactifs dans l'environnement. Elle a pour rôle de détecter la présence de radionucléides dans l'environnement, de rechercher leurs origines et de comprendre leurs processus de transfert et de concentration dans les écosystèmes.

Radionucléide
Isotope radioactif d'un élément.
Exemples : ^{3}H : tritium, isotope radioactif de l'hydrogène ; ^{14}C : carbone-14, isotope radioactif du carbone.

Radioprotection
Ensemble de mesures destinées à assurer la protection sanitaire de la population et des travailleurs au regard de l'exposition aux rayonnements ionisants.

Radon (Rn)
Gaz radioactif omniprésent a la surface de la Terre. Il possède trois isotopes naturels (^{219}Rn, ^{220}Rn, ^{222}Rn) descendants des radioéléments présents dans les sols (^{235}U, ^{232}Th et ^{238}U). Le ^{222}Rn est souvent le plus important à considérer de par sa période radioactive plus longue : 3,8 jours.

Rayonnement
Transfert d'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques (gamma) ou de particules (alpha, beta, neutrons) émis lors de la désintégration de radionucléides.

Rayonnement ionisant
Rayonnement susceptible d'arracher des électrons à la matière.

S

Seuil de décision (SD)
Le seuil de décision est la valeur minimale que doit avoir la mesure d'un échantillon pour que le métrologiste puisse « décider » que cette activité est présente et donc mesurée. En dessous de cette valeur, l'activité de l'échantillon est donc trop faible pour être estimée. Ce seuil de décision dépend de la performance et du rayonnement ambiant autour des moyens métrologiques utilisés.

Sievert (Sv)
Unité légale d'équivalent de dose ou dose efficace qui permet de rendre compte de l'effet biologique produit par une dose absorbée donnée sur un organisme vivant. L'équivalent de dose n'est pas une quantité physique mesurable mais obtenue par le calcul. Elle dépend de l'énergie transmise aux tissus, du type de rayonnement et du tissu traversé.

Significatif (mesure ou résultat significatif)
Résultat de mesure supérieur au seuil de décision.

Spectrométrie
Analyse de l'intensité d'un rayonnement émis par une source en fonction de son niveau d'énergie. Cette méthode permet à la fois d'identifier les radionucléides et de quantifier leur « activité ».

Strontium (Sr, numéro atomique 38)
Élément alcalino-terreux dont certains isotopes sont très abondants dans les produits de fission, en particulier l'isotope 90, qui se fixe dans les tissus osseux et dont la période radioactive est de 28,15 ans.

T

Thorium (Th, numéro atomique 90)
Appartient à la série des actinides, avec une période radioactive de plus de 10^{10} ans. Il est présent dans les chaînes de décroissance radioactive de l'uranium naturel. Le principal isotope est le ^{232}Th, émetteur de rayonnement alpha, qui donne naissance à de nombreux produits de filiation dont ^{228}Ac, émetteur de rayonnement gamma et beta.

Tritium
Isotope de l'hydrogène le moins abondant. C'est un émetteur de rayonnement β^- de très faible énergie avec une période radioactive de 12,3 ans. Il existe sous différentes formes chimiques : eau tritiée (HTO), tritium gazeux (HT) et tritium organiquement lié (TOL). Il est présent en permanence à l'état naturel dans l'environnement, et provient également des activités humaines.

U

Uranium (U, numéro atomique 92)
Élément chimique possédant trois isotopes naturels : l'uranium-234, l'uranium-235 et l'uranium-238. L'uranium-235 est le seul isotope fissile naturel, une qualité qui explique son utilisation comme source d'énergie.

N’imprimez ce document que si vous en avez l’utilité.

EDF SA
22-30, avenue de Wagram
75382 Paris cedex 08
Capital de 1 525 484 813 euros
552 081 317 R.C.S. Paris
www.edf.fr

CNPE de CIVAUX
BP 64
86 320 CIVAUX
05 49 83 50 00

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